

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA

ALESSANDRA PALAZZIN

**Aprendizado motor em crianças e adultos normais:
semelhanças e diferenças**

SÃO PAULO
2007

ALESSANDRA PALAZZIN

Aprendizado motor em crianças e adultos normais: semelhanças e diferenças

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre

Área de Concentração: Neurociências e Comportamento

Orientador: Profa. Dra. Maria Elisa Pimentel Piemonte

SÃO PAULO

2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALESSANDRA PALAZZIN

Aprendizado motor em crianças e adultos normais: semelhanças e diferenças

Dissertação apresentada ao Instituto de
Psicologia da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre

Área de Concentração: Neurociências e
Comportamento

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Ao meu noivo, meu amor, por ser o melhor oompanheiro que eu poderia ter. Pelo força, pela paciência, e por sempre acreditar em mim...

À minha família, por estar ao meu lado em todos os momentos.

À minha querida amiga Marie, por dividir comigo (literalmente!) uma conquista tão importante,

À Profa. Maria Elisa, pela contribuição no meu processo de aprendizado.

Aos meus companheiros de laboratório, pela amizade e por estarem sempre prontos a ajudar.

À todos aqueles que, de alguma forma, me incentivaram...

*"É fazendo que se aprende a fazer aquilo que se deve
aprender a fazer"*

Aristóteles

RESUMO

PALAZZIN, A. **Aprendizado motor em crianças e adultos normais: semelhanças e diferenças.** São Paulo, 2007. 95 pg. Dissertação (Mestrado). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

O aprendizado é a base do comportamento motor humano. Através dele habilidades são adquiridas e aperfeiçoadas com o treino, permitindo uma melhor interação com o meio. Em casos de lesão do sistema nervoso isto se torna ainda mais importante, já que muitas das funções são perdidas e devem ser reaprendidas dentro de um novo contexto. Sendo assim, estudos sobre a aprendizagem podem contribuir muito com a prática clínica, permitindo um aprimoramento dos programas de reabilitação. Apesar do grande interesse nessa área, pouco ainda se sabe sobre esse processo, especialmente durante o desenvolvimento, no qual diferenças estruturais e funcionais (especialmente relacionadas a funções cognitivas) são encontradas. Por ser o aprendizado resultado de modificações nas conexões entre diferentes estruturas cerebrais, e por estas alcançarem a maturidade apenas na segunda década de vida, é plausível supor-se que existam diferenças neste processo entre adultos e crianças. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar se há diferenças no processo de aprendizagem motora entre crianças de 09 e 10 anos e adultos, e assim identificar possíveis aspectos sensoriais, motores e cognitivos que estariam contribuindo para essa diferença. Para tanto foi comparado o desempenho, em termos de velocidade, entre 20 crianças com idade entre 9 e 10 anos (9.6 ± 0.50) e 20 adultos jovens (26.7 ± 3.77) em uma tarefa de oposição de dedos. Foi considerada a capacidade de realizar movimentos independentemente da ordem e de executá-los numa seqüência específica, a qual foi submetida a treinamento (4 blocos de 600 movimentos cada). Cada grupo foi dividido em duas condições de treinamento: com e sem visão, a fim de avaliarmos o quanto informações perceptuais influenciam no processo. Foram realizadas avaliações antes e após o treinamento, além de reavaliações semanais até 28 dias depois do

treinamento. Comparamos ainda o desempenho entre a seqüência treinada e uma seqüência controle, para verificarmos se haveria generalização do aprendizado. Os resultados analisados, por meio da Análise Multivariada para medidas repetidas, demonstraram que ambos os grupos beneficiaram-se do treinamento, com melhora do desempenho para seqüência treinada que se manteve até 28 dias após o treino, evidenciando o aprendizado da tarefa. No entanto, apesar de crianças serem capazes de realizar movimentos de oposição de dedos na mesma velocidade do que os adultos, apresentam prejuízo ao realizá-los numa ordem específica, o que poderia ser explicado por diferenças na formação de modelos internos de movimento mais do que na capacidade de execução da tarefa. Esta hipótese pôde ser confirmada pelas diferenças encontradas na capacidade de generalização do aprendizado, onde crianças apresentaram prejuízo em relação aos adultos. O treinamento com e sem visão não influenciou significativamente no desempenho desta tarefa tanto para adultos quanto para crianças, embora possam existir diferenças na utilização dessa informação para o processo de aprendizagem. Nossos resultados podem ser explicados por diferenças na capacidade de construção e consolidação de modelos internos de movimento, processo no qual a cognição exerce papel fundamental. Na prática clínica, especialmente com crianças, isto levaria a uma maior valorização dos aspectos cognitivos da tarefa, mais do puramente a realização do treinamento motor.

Palavras-chave: Aprendizagem motora; Desenvolvimento infantil; Crianças; Cognição.

ABSTRACT

PALAZZIN, A. **Motor learning in children and adults: what is similar? What is different?**. São Paulo, 2007. 95 pg. Master's Degree Dissertation. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo

The learning process is the base of the human behavior motor. By means of its abilities are acquired and improved by the training, allowing a better interaction with the half. In brain lesion cases this even becomes important, since many functions are conceded and should be relearned inside a new context. Being this way, studies on the learning can contribute a lot for the practice practises, allowing the rehabilitation programs refinement. In spite of the great interest in this area, little still knows about that process, especially during the development, in which structural and functional differences (especially related the cognitive functions) are found. Considering the learning as the result of modifications in the connections between different cerebral structures, and for these reach the maturity just in the life Monday decade, is plausible to suppose that there are differences in this process between adults and children. Being this way, the goal of this study was to investigate there are differences in the process of motive learning between children of 9 and 10 years and adult, and this way, identify possible sensory aspects, motors and cognitive that would be contributing for these possible differences. To reach such goal was compared the performance, by speed, come in 20 children with age between 9 and 10 years (9.6 ± 0.50) and 20 young adults (26.7 ± 3.77) in a fingers opposition task. It was considered the capacity of accomplishing actions regardless of the order and of executing them in a specific sequence, trained by means of 4 blocks of 600 movements, performed in an unique session. Each group was divided into two training terms: With and without vision, in order to evaluate the how much visual information influence in the process. They were performed evaluations before and after the training, besides weekly revaluations up to 28 days after the training. Still compared the performance between trained sequence and a sequence control, to

verify there would be learning generalization. The analyzed results, by means of ANOVA for repeated measures, demonstrated that both groups they benefited of the training, with performance improvement for trained sequence that was kept up to 28 days after the training, evidencing task learning consolidation. However, it verified that the training effect on the ability to speed up of opposition of independent fingers of an order specifies is the same between adults and children, in contrast with the training effect on the ability to speed up of the fingers opposition actions inside an order pre-established, where children they present significantly prejudiced in comparison to adults, particularly the ones that trained without vision. These differences could be explained by deficiencies in the action internal models formation more than in the task execution capacity. This hypothesis could be confirmed by the differences found in the learning generalization capacity, where children presented prejudice regarding the adults. This way, the differences in the learning process between adults and children found in the current study can be explained by differences in the capacity of movement internal models construction and consolidation, process in which the cognition exercises fundamental role. In the clinical practice, especially with children, this would carry to a task cognitive aspects larger valorization, more of the purely the training motor accomplishment.

Words-key: Motive learning; Brain development; Children; Cognition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mão preparada para o teste	p.49
Figura 2. Representação esquemática do experimento	p.50
Figura 3. Representação esquemática da situação de oposição de dedos	p.51
Figura 4. Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição NL	p.53
Figura 5. Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição SV	p.54
Figura 6. Gráfico de movimentos totais por minuto	p.59
Figura 7. Gráfico de movimentos corretos por minuto	p.62
Figura 8. Gráfico de movimentos corretos para ST e SNT	p.67
Figura 9. Gráfico do Índice de Generalização	p.70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Demonstração dos diferentes componentes das seqüências	p.52
Tabela 2. Médias e desvios-padrão dos movimentos totais	p.58
Tabela 3. ANOVA para movimentos totais	p.59
Tabela 4. Pós-teste: efeito de grupo para movimentos totais	p.60
Tabela 5. Pós-teste: efeito de avaliação para movimentos totais	p.60
Tabela 6. Médias e desvios-padrão dos movimentos corretos	p.61
Tabela 7. ANOVA para movimentos corretos	p.62
Tabela 8. Pós-teste: efeito de grupo para movimentos corretos	p.63
Tabela 9. Pós-teste: efeito de avaliação para movimentos corretos	p.63
Tabela 10. Pós-teste: efeito de avaliação* grupo para movimentos corretos	p.64
Tabela 11. Médias e desvios-padrão dos movimentos corretos para ST	p.65
Tabela 12. Médias e desvios-padrão dos movimentos corretos para SNT	p.66
Tabela 13. ANOVA para movimentos corretos ST / STN	p.66
Tabela 14. Pós-teste: efeito de grupo*seqüência para movimentos corretos ST / STN	p.68
Tabela 15. Pós-teste: efeito de seqüência*avaliação para movimentos corretos ST / STN	p.68
Tabela 16. Médias e desvios-padrão do índice de generalização	p.69
Tabela 17. ANOVA para índice de generalização	p.70
Tabela 18. Pós-teste: efeito de grupo para índice de generalização	p.71
Tabela 19. Pós-teste: efeito de grupo*avaliação para índice de generalização	p.71

LISTA DE ABREVIATURAS

AM	-	Aprendizagem Motora
AT	-	Avaliação Antes do Treinamento
BI	-	Bloco
M1	-	Córtex Motor Primário
DT	-	Avaliação Depois do Treinamento
fMRI	-	Imagem por Ressonância Magnética Funcional
GCNL	-	Grupo controle (adultos) com treinamento normal
GCSV	-	Grupo controle (adultos) com treinamento sem visão
GENL	-	Grupo experimental (crianças) com treinamento normal
GESV	-	Grupo experimental (crianças) com treinamento sem visão
HCFMUSP	-	Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
ICMRGlc	-	Índice de metabolismo cerebral pela taxa de consumo de glicose
IG	-	Índice de Generalização
M1	-	Córtex Motor Primário
MC	-	Movimentos Corretos
MT	-	Movimentos Totais
SNC	-	Sistema Nervoso Central
SNT	-	Seqüência não Treinada
ST	-	Seqüência Treinada
TR	-	Tempo de reação
4dDT	-	Reavaliação 4 dias Depois do Treinamento
7dDT	-	Reavaliação 7 dias Depois do Treinamento
14dDT	-	Reavaliação 14 dias Depois do Treinamento
28dDT	-	Reavaliação 28 dias Depois do Treinamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Aprendizagem motora	19
2.1.1 Aquisição e consolidação do aprendizado.....	22
2.1.2 Modelos Internos.....	27
2.2 Aprendizagem motora e desenvolvimento	32
2.1.1 Aprendizagem motora e movimentos seqüenciais.....	43
3 OBJETIVO	46
4 MATERIAIS E MÉTODO	47
4.1 SUJEITOS	47
4.2 LOCAL	47
4.3 MATERIAIS	48
4.4 PROCEDIMENTOS	50
4.4.1 Apresentação da tarefa.....	51
4.4.2 Memorização das seqüências.....	52
4.4.3 Familiarização da tarefa.....	52
4.4.4 Avaliação antes do treinamento.....	52
4.4.5 Treinamento.....	53
4.4.6 Avaliação após o treinamento.....	55
4.4.7 Reavaliação 4 dias após o treinamento (4dDT).....	55
4.4.8 Reavaliação 7 dias após o treinamento (7dDT).....	55
4.4.9 Reavaliação 14 dias após o treinamento (14dDT).....	55
4.4.10 Reavaliação 28 dias após o treinamento (28dDT).....	55
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	56

5 RESULTADOS.....	58
5.1 .AQUISIÇÃO E RETENÇÃO DA TAREFA.....	58
5.1.1 Análise dos Movimentos Totais (MT)	58
5.1.2 Análise do Movimentos Corretos (MC)	61
5.2 GENERALIZAÇÃO DA TAREFA.....	65
5.2.1 Análise dos Movimentos Corretos (MC) para ST e SNT	65
5.2.2 Análise do Índice de Generalização	69
6 DISCUSSÃO.....	73
7 CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS.....	86
ANEXOS.....	92

1. INTRODUÇÃO

O interesse em Aprendizagem Motora (AM) não é recente e reúne pesquisadores de diferentes formações e atuações profissionais. Os primeiros estudos datam do final do século XIX e foram realizados dentro da Psicologia; hoje, o conhecimento nessa área conta com trabalhos desenvolvidos dentro da Educação Física, Fisioterapia, ciências básicas, entre outras (Tani, 2006). Pesquisas sobre aprendizagem motora, tomadas em conjunto com estudos sobre controle motor e desenvolvimento motor, auxiliam no entendimento dos processos subjacentes à performance motora no decorrer da vida (Clark e Oliveira, 2006), por buscarem esclarecer 2 pontos principais: (1) os mecanismos e processos relacionados à aquisição de habilidades motoras e (2) os fatores que afetam essa aquisição (Tani, 2005).

Mais especificamente para a Fisioterapia, o conhecimento sobre aprendizado motor fornece bases neurofisiológicas que sustentam a intervenção terapêutica. Um dos grandes desafios dentro da prática clínica, especialmente na área de reabilitação neurológica, é proporcionar ao paciente uma experiência de aprendizagem a mais adequada possível, de modo que potencialize a aquisição de determinada tarefa ou função motora. Isso inclui, dentre outras coisas, uma terapia direcionada para cada paciente, de acordo com seu comprometimento e suas capacidades sensório-motoras e cognitivas. Quando consideramos o grande número de crianças que necessitam de tratamento de disfunções sensório-motoras decorrentes de lesões cerebrais, isto se torna ainda mais importante, pois exige uma diferenciação na abordagem relacionada à idade, ou seja, de acordo com o

respectivo desenvolvimento e amadurecimento cerebral. Como demonstrado em diversos trabalhos, diferenças estruturais e maturacionais observadas durante o desenvolvimento, estão relacionadas a diferentes capacidades funcionais que, portanto, podem influenciar na aquisição de novas habilidades motoras. Nesse sentido, faz-se necessária a investigação sobre como ocorre a aprendizagem durante o desenvolvimento.

Apesar dos avanços realizados, pouco ainda se sabe sobre como ocorre o aprendizado de uma habilidade motora durante o desenvolvimento. Dentre os trabalhos existentes, muitos apenas buscam identificar diferenças estruturais (maturação, volumes corticais, áreas de ativação), que justifiquem as mudanças funcionais ocorridas durante a infância, porém não permitem uma caracterização do processo de aprendizagem e quais fatores o influenciam.

Com a proposta de abordar este ponto em particular, realizamos um estudo que comparasse o desempenho entre diferentes idades numa tarefa de movimentos de oposição de dedos. A comparação de crianças em relação aos adultos nos permite ter uma referência de desempenho e máxima capacidade funcional, uma vez que indivíduos nesta faixa etária atingiram a maturidade cerebral. Outro fator importante a ser considerado é que a maioria dos estudos sobre aprendizagem baseia-se no comportamento motor de adultos e, portanto, o processo para esse grupo é mais conhecido. A idade do grupo de crianças (9-10 anos) foi escolhida baseando-se nos estudos sobre desenvolvimento cerebral (período no qual há intensa produção sináptica, o que contribui para a plasticidade cerebral) e estudos comportamentais, que demonstram diferenças funcionais importantes entre adultos e crianças, principalmente relacionadas a funções cognitivas. Como veremos mais

adiante, tais funções têm estreita relação com a ação (von Hofsten, 2004, von Hofsten, 2007).

A escolha da tarefa (movimentos seqüenciais de oposição de dedos) foi baseada na sua grande relevância para atividades do cotidiano, uma vez que, a maioria dos movimentos que realizamos diariamente, envolve componentes seqüenciais. Estudos demonstram que esse tipo de habilidade está envolvida não apenas em atos motores, mas também em funções como linguagem e raciocínio lógico (HIKOSAKA et al., 1999). Além disso, a utilização desta metodologia em diversos trabalhos, em associação com estudos de imagem (KARNI, 1995; KARNI, 1997; KARNI, 1998), mostrou correlação dos dados obtidos por imagem com dados comportamentais, ou seja, mudança no desempenho. Isto demonstra sua eficiência na investigação na aquisição de novas habilidades assim como nos permite inferir que, se houveram mudanças comportamentais, estas estão relacionadas a mudanças estruturais das conexões cerebrais, e que, portanto, houve aprendizado. Por fim é uma tarefa genérica o suficiente que permite que tanto crianças como adultos consigam realizar com pouco treinamento, por se tratarem de movimentos simples de oposição de dedos, e específica o suficiente de modo que a experiência prévia não tenha interferência significativa.

A investigação do processo de aprendizagem motora foi realizada em um nível comportamental, pelo qual inferimos a ocorrência de tal processo pela modificação do desempenho dos sujeitos. Essa análise baseou-se na idéia de que a aprendizagem motora é um processo implícito e que, portanto, necessita de repetição para ser consolidado, ou seja, para que as mudanças sinápticas temporárias desencadeadas pelo treino, tornem-se permanentes. Como resultado

deste processo há a formação de modelos internos do movimento, uma “idéia geral” do movimento que pode ser aplicada a diferentes situações pela adaptação da relação entre seus subcomponentes. Sendo assim, o conceito de modelo interno nos permite explicar o aprendizado de uma tarefa independentemente do efetor ou mesmo apenas pela prática mental, sugerindo que funções cognitivas (mais do que puramente motoras) estariam envolvidas na aquisição de uma habilidade motora. Do ponto de vista comportamental, a existência destes modelos pode ser evidenciada pela melhora do desempenho que se mantém mesmo sem treino adicional, e pela capacidade de generalização para tarefa similar.

A partir do que foi proposto, algumas hipóteses podem ser levantadas sobre o comportamento que podemos encontrar para adultos e crianças nesta tarefa: (1) os dois grupos teriam desempenho semelhante. Logo, as possíveis diferenças funcionais ou anatômicas entre os grupos não interfeririam na aquisição da tarefa; (2) os dois grupos apresentariam comportamento diferente. E a partir da análise dos diferentes aspectos que poderiam influenciar no comportamento (motores – capacidade de executar movimentos de oposição de dedos independentemente da seqüência, perceptuais/sensoriais – influência da condição de treinamento, e/ou cognitivos – capacidade de generalização da tarefa) poderíamos inferir a qual deles as diferenças poderiam ser atribuídas.

A hipótese de que haveria diferenças na aprendizagem entre crianças e adultos nos parece mais plausível, uma vez que existam, conhecidamente, diferenças funcionais importantes entre essas idades.

A relevância deste trabalho sustenta-se no fato de que não foram encontrados trabalhos que se propusessem a caracterizar a aprendizagem motora em crianças utilizando esta tarefa.

Acreditamos que os nossos resultados podem contribuir significativamente não apenas para a prática clínica, pela otimização da intervenção terapêutica, como também para o campo da neurociência, fornecendo informações importantes sobre como o processo de maturação interfere no desenvolvimento, ou ainda, qual seria a influência das experiências sobre o processo de maturação cerebral.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 APRENDIZAGEM MOTORA

Todas as funções cerebrais são produto de interações entre processos genéticos e do desenvolvimento, de um lado, e do aprendizado, do outro (KANDEL, 1997). A partir do aprendizado adquirimos conhecimento sobre o mundo e sobre como interagir com ele da forma mais eficiente possível (SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2003).

Podemos definir aprendizagem motora como o conjunto de processos neurais associados com o treino e repetição de ações relativamente invariantes, levando a mudanças relativamente permanentes na capacidade dos indivíduos executarem determinada tarefa. Isto é possível devido às modificações das redes neurais responsáveis pelas respostas motoras, possibilitando um desempenho mais eficaz na tarefa treinada. Esse processo pode ser inferido por meio da observação do desempenho, caracterizado, nas fases iniciais, por imprecisão de movimentos, lentidão e maior número de erros evoluindo para máxima certeza de alcance da meta, mínimo gasto de energia e menor tempo de movimento nos estágios finais do aprendizado (SHIMIDT e WRISBERG, 2001; SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2003).

A aprendizagem motora é um sub-módulo da memória implícita (ou processual), caracterizada por um sistema de aprendizado lento, necessitando, portanto, de repetição (prática) para ser consolidada. Por não poder ser acessada

conscientemente, na prática é inferida apenas indiretamente, pela melhora do desempenho. Esse tipo de aprendizado, referente a habilidades motoras e perceptuais, leva a um conhecimento relacionado a características particulares do contexto de aprendizagem (tarefa) e, por isso, é considerado mais específico. Em contrapartida está a memória explícita, relacionada a um sistema de aprendizagem rápida, na qual apenas uma exposição ao evento é suficiente para que seja incorporado. O conhecimento adquirido (fatos, pessoas e lugares) pode ser descrito verbalmente (e, por isso, esse tipo de memória também recebe o nome de declarativa), manipulado de forma consciente, e é relativamente flexível, de modo que pode ser aplicado em situações diferentes da que foi aprendida. (WILLINGHAM et al., 1989; KANDEL, 1997; THOMAS e NELSON, 2001; SCHUMWAY-COOK e WOOLACOTT, 2003). Apesar de serem dois sistemas de memória distintos, não apenas funcionalmente como também anatomicamente (a memória declarativa está relacionada ao hipocampo, lobo temporal medial e diencéfalo e a memória processual está relacionada principalmente ao córtex motor, estriado e cerebelo), sabe-se que existe uma relação de interdependência entre eles (WILLINGHAM et al., 1989).

Willingham (1998), em sua teoria neuropsicológica para o aprendizado motor (COBALT), foi um dos primeiros a propor que, apesar de o aprendizado motor ser descrito basicamente como um processo implícito, existiria a participação de mecanismos conscientes durante a aprendizagem. Sua teoria, baseada na idéia de que a aprendizagem deriva diretamente dos processos de controle motor (*control-based learning theory*), descreve dois mecanismos que sustentariam o aprendizado motor: o primeiro, diz respeito especificamente à tarefa (que inclui processos de

integração perceptuo-motora, seqüenciamento e recrutamento muscular no tempo e no espaço) e, o segundo, está relacionado à melhora da performance (pela seleção mais eficiente dos objetivos e/ou do seqüenciamento). Segundo Willingham, este último contaria com uma via consciente de ativação, contrariando a idéia de que o aprendizado motor seria exclusivamente implícito.

Sob esse ponto de vista, muitas experiências de aprendizado conteriam elementos implícitos e explícitos de aprendizagem. Floyer-Lea e Matthews (2004) fazem um paralelo entre as fases da aprendizagem e o padrão de atividade cerebral: na fase inicial, que demandaria maior atenção, esse padrão seria correspondente ao encontrado em tarefas que exigem aprendizado motor mais explícito, enquanto que na fase mais automática, a atividade cerebral seria semelhante ao de tarefas mais implícitas. Poldrack et al. (2001), relaciona o processamento em paralelo dos componentes implícitos e explícitos, não às fases da aprendizagem, mas à demanda da tarefa. Segundo o autor, quando a tarefa exigir regras flexíveis, o sistema preferencialmente ativado seria o declarativo e, quando o aprendizado seguir regras específicas envolvendo respostas associativas rápidas e automáticas entre estímulo e resposta, o sistema preferencialmente ativado seria o implícito. Essa característica refletiria mecanismos adaptativos que teriam como função otimizar o aprendizado (WILLINGHAM, 1998; POLDRACK et al, 2001).

2.1.1 Aquisição e consolidação do aprendizado

Com intuito de investigar como ocorreria a aquisição e retenção do aprendizado, Hikosaka et al (1995), treinaram macacos na tarefa de pressionar botões sequencialmente. Os animais deveriam descobrir, por tentativa e erro, a seqüência correta (predeterminada), na qual os botões (dentre os vários possíveis) deveriam ser apertados. No decorrer do experimento eram apresentadas tanto seqüências previamente aprendidas quanto seqüências novas. Foram analisadas a acurácia (numero de tentativas necessárias para atingir 10 tentativas corretas dentro de um bloco de treinamento) e a velocidade (tempo necessário para realizar 10 tentativas corretamente). Contrariamente aos achados em estudos que defendem a especificidade do processo (KARNI, 1995; KARNI et al., 1998; WILLINGHAN et al., 2000), este estudo verificou que, apesar de inicialmente o aprendizado ser específico para a tarefa treinada (observado durante uma única sessão de treinamento), tardiamente o aprendizado pode ser generalizado para tarefas similares (observado pela melhora do desempenho em seqüências inéditas). Os resultados obtidos demonstraram que os macacos tiveram uma melhora rápida do desempenho (especialmente em termos de acurácia) para seqüências específicas com um curto período de treinamento (menos que 5 minutos), que não se mantinha até o próximo dia, mas que melhoraram progressivamente seu desempenho com a prática diária durante 30 dias. Já o aprendizado de seqüências inéditas dentro das mesmas condições de teste apresentou uma melhora lenta, que pôde ser observada apenas depois de vários dias de treinamento com novas seqüências. Segundo os autores, portanto, o processo de aquisição ocorreria em duas fases e existiriam

componentes seletivos e não-seletivos da aprendizagem, embora em diferentes graus e diferentes tempos de curso, dependendo da natureza da tarefa. Em relação à retenção do aprendizado, seis meses após o final do treinamento, não houve alterações significativas na velocidade de execução da seqüência treinada, mas houve piora na sua acurácia. Baseados nessa dissociação, os autores propuseram a existência de dois níveis diferentes de aprendizado: um relacionado com os aspectos motores da tarefa (responsável pela retenção da velocidade para seqüências treinadas), mantida por períodos mais longos de tempo e, outro, aos aspectos de procedimentos da tarefa (responsável pela seleção das respostas), mantida por períodos mais curtos.

Karni et al. (1998), a partir de dados por imagem e de performance na execução de movimentos seqüenciais de dedos, também propuseram que a aprendizagem motora ocorreria em duas fases: (1) aprendizado em curto prazo (*fast learning*), no qual se observa uma melhora rápida do desempenho da seqüência treinada (observada já nos primeiros minutos de prática), seguida por um período de consolidação que se estende por horas após o treinamento e (2) o aprendizado a longo prazo (*slow learning*), caracterizado por uma evolução mais lenta do desempenho pós-treinamento. Segundo este modelo, o aprendizado *rápido* envolveria processos de seleção e estabelecimento de um planejamento adequado para a tarefa, enquanto o aprendizado *lento* refletiria modificações estruturais, estabelecidas no decorrer do tempo de treinamento, que fortaleceriam a conectividade entre neurônios funcionalmente associados, permitindo que sejam recrutados conjuntamente como representação única da tarefa treinada. Desta forma, mesmo a prática limitada seria suficiente para desencadear processos

neurais que tem continuidade após o treinamento e que são a base da consolidação da experiência motora. O tempo do processo, no entanto, estaria relacionado com os mecanismos de plasticidade cerebral, independentemente da tarefa.

Hasband e Lange (2006) também descreveram as fases do aprendizado motor. Durante a fase inicial do aprendizado, os indivíduos, por tentativa e erro, buscam o movimento esperado a partir de uma nova correlação entre a pista sensorial e o correto comando motor. A partir disso, devem decidir o movimento seguinte e, utilizando as informações adquiridas com a retroalimentação - caso haja - guardar a resposta na memória. Sendo assim, o estabelecimento de uma nova associação sensoriomotora arbitrária - necessária durante o aprendizado por tentativa e erro - está relacionada à atenção (na identificação das pistas necessárias), à tomada de decisão e seleção de movimentos, ao processamento do feedback sensorial e à memória operacional. Uma vez encontrado o padrão certo de movimento, um novo mapa sensoriomotor é gerado, porém os estímulos sensoriais ainda devem ser mantidos na memória operacional a fim de serem traduzidos no correto *output* motor. Por estes motivos, nesta fase os movimentos são lentos e imprecisos, sendo a retroalimentação e o processamento atencional de grande importância. Com a prática, os mapas sensoriomotores tornam-se mais fortes, são arquivados na memória de longa-duração e pistas visuais são rapidamente transformadas em uma resposta motora. Como resultado, as ações podem ser desempenhadas com maior velocidade e necessitam de menor processamento sensorial. Já em fases tardias do aprendizado, os movimentos tornam-se automáticos e podem ser realizados com grande rapidez e precisão, permitindo que

as áreas relacionadas à atenção estejam disponíveis para processar outras informações.

Esses ganhos na performance refletem (na realidade, têm como base) mudanças no processamento neural que foram desencadeadas pela prática (KARNI, 1997). Isso pôde ser verificado por vários estudos de imagem que demonstram que diferentes regiões cerebrais são ativadas em diferentes estágios do aprendizado (HIKOSAKA et al, 1999; RAND et al., 2000).

Correlacionando-se então os dados obtidos por estudos de imagem, os quais identificaram as áreas relacionadas ao aprendizado motor, com algumas das funções que as principais regiões envolvidas em cada fase exerceriam no processo de aprendizagem, temos que: na fase inicial da aprendizagem estão envolvidos o córtex pré-frontal (tomada de decisão, seleção de movimentos e processamento atencional), córtex frontal dorso-lateral (associação sensório-motora; memória operacional), área pré-motora suplementar (atividade preparatória para o movimento e aprendizado explícito), córtex pré-motor (processamento espacial), córtex cingulado (processamento da retroalimentação sensorial e atenção para o movimento), região anterior dos núcleos da base (associação sensório-motora com outras regiões) e cerebelo (mudança dos parâmetros do movimento durante a execução). Na fase mais tardia, observa-se a ativação da área motora suplementar (armazenamento de movimentos seqüenciais), região do sulco intraparietal, precuneos, região médio-posterior dos núcleos da base (memória de longa duração – armazenamento e recuperação) e núcleo denteado - cerebelo (automatização do movimento, memória de longa duração). O córtex motor primário e o somatossensorial, assim como o cerebelo e os núcleos da base, estariam envolvidos

em ambos os estágios do aprendizado. (HIROSAKA et al., 1996 ; JUEPTNER et al., 1997; JUEPTNER et al., 1997; DOYON et al., 1998 ; HIROSAKA et al., 1998 ; HALSBAND e LANGE, 2006)

Como foi citado anteriormente, além da melhora do desempenho observada já nos primeiros minutos de treinamento (intra-sessão), há também mudança da performance a longo prazo, mesmo após o término do treinamento, como manifestação da consolidação do processo (KARNI et al., 1998). Não se sabia, no entanto, quanto de prática seria necessário para desencadear essas manifestações tardias. Hauptmann et al. (2005), a partir de um teste de enumeração, propuseram-se a responder essa questão. Como resultado, obtiveram que o processo tardio de aprendizagem (consolidação) está relacionado ao fato de se atingir ou não o “ponto de saturação” durante o treinamento, e não necessariamente à um pré-determinado número de repetições. Como o próprio nome sugere, “ponto de saturação” é aquele a partir do qual não se observa mais melhora do desempenho, mesmo com treinamento adicional. Por outro lado, se o treinamento não atinge tal ponto não são desencadeados os processos de consolidação, e o desempenho pode regredir. Este ponto varia entre os indivíduos e seria específico para cada tarefa.

Os dados sobre aquisição e consolidação da aprendizagem aqui apresentados, em sua grande parte, foram obtidos por estudos realizados em adultos jovens (entre 21 e 50 anos), e, portanto, retratam o comportamento de um cérebro maturo, no qual todas as estruturas participantes já estão desenvolvidas. Não foram encontrados, no entanto, trabalhos semelhantes em crianças, que, por apresentarem-se em desenvolvimento, ainda não atingiram sua máxima capacidade funcional, o que pode refletir em diferenciações no processo.

2.1.2 Modelos Internos

Diversas teorias buscaram explicar o processo de aprendizagem motora, dentre elas a Teoria do Esquema, elaborada por Schmidt em 1975, para aquisição de habilidades discretas (tarefas de curta duração, e com início e fim determinados, tais como: chute, salto, arremesso, etc). Essa teoria baseia-se em dois pressupostos centrais: o conceito de programa motor generalizado e o conceito de esquema.

Programa motor generalizado (PMG) é “uma estrutura abstrata da memória que governa uma dada categoria de movimentos, a qual requer um padrão comum” (SHAPIRO e SCHIMIDT, 1982 apud FREUDENHEIM, 2005). Segundo Schmidt, os programas motores não conteriam, portanto, características específicas dos movimentos, mas a representação da estrutura da ação (*timing relativo* e força relativa) adquirida durante o aprendizado, que pode ser aplicada a diversos contextos (SCHUMWAY-COOK e WOOLACOTT, 2003).

Além do PMG, com a prática, o sujeito desenvolve também regras que permitem com que a ação possa ser executada de acordo com a demanda, o que é conhecido como esquema. Para isso, após executar um movimento, quatro aspectos são armazenados na memória: (1) condições iniciais de movimento (fatores gerais a respeito do sujeito e objeto); (2) parâmetros utilizados no programa motor generalizado; (3) efeito do movimento em termos de conhecimento de resultados; (4) as conseqüências sensoriais do movimento. Essas informações abstratas são armazenadas na forma de um esquema de lembrança (motor), utilizado para selecionar uma resposta específica (produção do movimento), e um esquema de reconhecimento (sensorial) utilizado para avaliar a resposta (correção), ambos

sendo componentes do esquema da resposta motora. Como essas regras são capazes de fornecer diretrizes para um conjunto de variações de respostas, os parâmetros e/ou conseqüências sensoriais de uma situação particular poderiam ser estimadas mesmo que o movimento nunca tenha sido executado anteriormente. O aprendizado seria, portanto, um processo contínuo de atualização desses esquemas e a prática (especialmente se for variada) levaria ao fortalecimento desses esquemas, permitindo a generalização do programa motor (FREUDENHEIM, 2005; SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2003; SCHIMIDT, 2003, CLARK e OLIVEIRA, 2006).

Baseando-se nos mesmos princípios de que haveria uma representação neural dos movimentos, porém elucidando algumas questões pendentes na Teoria do Esquema, um conceito mais recente foi proposto: o conceito de Modelos Internos. Esta teoria explica, dentre outras coisas, como ocorre o aprendizado na ausência da execução do movimento, como por meio da prática mental por imaginação motora, uma vez que não existem as informações intrínsecas ou extrínsecas necessárias para formar o esquema (SHERWOOD e LEE, 2003) Além disso, fornece informações mais consistentes do papel da cognição para o aprendizado.

Imaginação motora pode ser definida como um processo ativo durante o qual a representação específica de uma ação é reproduzida internamente pela memória de trabalho, sem nenhum *output* motor correspondente (DECETY e GRÉZES, 1999). Segundo os resultados obtidos por Jackson et al. (2003), o aprendizado de seqüências motoras após treinamento com imaginação motora (seqüências de 10 elementos de movimentos dos pés - dorsiflexão ou flexão plantar) produziu alterações funcionais encefálicas semelhantes às encontradas após a prática física

da mesma tarefa, com redução significativa do tempo de reação para execução da tarefa pós-prática mental para a seqüência treinada em relação à randômica. Segundo os autores, esse tipo de treinamento estaria mais relacionado a processos não conscientes de preparação/antecipação dos movimentos envolvidos na seqüência motora do que à execução em si. Lacourse et al (2005) sugerem que os dados encontrados quanto ao padrão de atividade cerebral, tanto para tarefas novas quanto aprendidas, fornecem evidência de que as técnicas de prática mental baseadas da imaginação motora seriam eficazes na aquisição de novas habilidades motoras assim como na retenção/reaprendizado de habilidades necessárias aprendidas durante a reabilitação neurológica.

Gentili (2006) investigou se os efeitos positivos da imaginação motora se aplicariam a tarefas mais complexas, que exigissem o controle dinâmico da ação (no caso deste estudo, pela variação da gravidade e da inércia do movimento), e se os indivíduos seriam capazes de generalizar a tarefa para uma situação não treinada. Como resultado, apesar da melhora da performance ter sido maior para o grupo que realizou a prática física, ela foi significativa para ambos os grupos. Já a quantidade de generalização foi igual para os grupos de prática mental e prática física. Segundo o autor, estes dados podem ser explicados dentro do conceito de modelos internos, no qual o processo de imaginação motora seria parte das representações motoras, e estaria relacionado a níveis superiores do sistema nervoso central envolvidos na preparação e predição motoras, o que permite a transferência do que foi aprendido para tarefas similares, desde que contenham o mesmo modelo interno já adquirido. Isto evidencia que os dois tipos de prática compartilhariam mecanismos cognitivos

similares e, mais do que isso, demonstra o importante papel de mecanismos cognitivos no aprendizado sensório-motor.

Um modelo interno é uma representação neural da dinâmica e da cinemática do movimento, através do qual o sistema nervoso é capaz de prever as interações físicas dinâmicas do membro e o meio externo e, a partir disso gerar comandos motores, permitindo, portanto, que se adapte a diversas situações (SHADMEHR, 2004; TIN e POON, 2005). Sendo assim, padrões de generalização seriam característicos dos sistemas neurais que processam modelos internos. A aquisição da memória do modelo interno é apenas o primeiro passo na seqüência de eventos que, pode ou não, resultar numa representação a longo-prazo daquela memória motora. Sendo assim, o modelo interno muda não apenas durante a sessão de treinamento, mas também nas horas subseqüentes. A memória motora parece progredir gradualmente a partir de um estágio frágil para um estágio mais resistente à presença de outra tarefa subseqüente (SHADMEHR, 2004). Além dos dados obtidos com prática mental por imaginação motora, estudos que discutem a existência de representações de uma tarefa independente do efetor são evidências da existência de modelos internos (BAPI et al, 2000; van MIER e PETERSEN, 2006).

Se entendermos a cognição como uma função que nos permite controlar as ações pró-ativamente, por basear-se em regras e representações de eventos (von Hofsten, 2004), fica fácil deduzir porque não podemos pensar em ação sem pensar em cognição e porque a cognição estaria, conseqüentemente, diretamente relacionada à aprendizagem motora.

Nossos movimentos são organizados sob forma de ações e não reações. Isto implica, portanto, em planejamento com um objetivo/alvo definidos. Como evidência

disso, temos os “neurônios espelho”, um grupo específico de neurônios que são ativados quando uma tarefa está sendo executada ou quando observamos outra pessoa realizando a mesma tarefa, desde que essa tarefa esteja sendo realizada dentro de um contexto (objetivo) e não simplesmente pelo movimento em si (VON HOFSTEN, 2004; VON HOFSTEN, 2007). Para planejarmos uma ação devemos ser capazes de extrair as informações mais relevantes sobre o que deve acontecer a seguir, de entender as regras que governam os eventos (ou tarefas), e de representar eventos que não estão diretamente acessíveis aos nossos sentidos (VON HOFSTEN, 2007). Dessa forma a “cognição motora” surge da interação entre percepção e ação, provavelmente mediada por modelos internos, nos permitindo, assim, antecipar as conseqüências das nossas ações (JACKSON e DECETY, 2004). Tal controle prospectivo da ação parece estar presente desde o nascimento: diferentemente do que tradicionalmente se descreve, os movimentos de recém-nascidos não são puramente reflexos. Bebês de aproximadamente 4 meses são capazes de acompanhar um objeto em movimento linear por trás por um aparato, mudando a direção do olhar para onde o objeto deveria aparecer logo antes dele chegar lá (VON HOFSTEN, 2004). No entanto, para cada modo de ação que se desenvolve, novos problemas prospectivos da construção do movimento surgem, e requer tempo para que se descubra modos de se resolvê-lo.

A aprendizagem motora pode ser entendida, então, como o processo de construção dessas representações internas, no qual os aspectos cognitivos teriam grande importância, e que, com o treino, viabiliza um melhor desempenho na tarefa por sermos cada vez mais capazes de controlar nossos movimentos ao invés de corrigi-los.

Nossas “habilidades cognitivas”, da mesma forma que as habilidades motoras, passam por diversas etapas durante o desenvolvimento, permitindo uma capacidade cada vez maior de adaptação ao meio. O primeiro período, que vai do nascimento aos 2 anos, denominado por Piaget como o período *sensório-motor*, capacita o bebê a interagir com pessoas e coisas através de gestos, gritos e movimentos auto-regulados. À medida que cresce, dos 2 aos 7 anos, a criança começa a formar representações do que vê ou pensa; imagens mentais que começam a obedecer certa lógica (*operações*), embora ainda precise da atividade sensório-motora. Esse período é chamado de *pré-operacional*. Dos 7 aos 12 anos (*período das operações concretas*) o raciocínio lógico é mais complexo mas ainda é limitado às experiências concretas. Apenas no último período do desenvolvimento cognitivo de Piaget (*operações formais*), a criança, no início da adolescência, é capaz de trabalhar com raciocínio abstrato, “considerando hipóteses e imaginando o que se seguirá caso elas sejam verdadeiras” (PUKASKI,1986), o que é importante, como vimos anteriormente, no controle antecipatório das ações e movimentos.

2.2 APRENDIZAGEM MOTORA E DESENVOLVIMENTO

Durante o desenvolvimento, o cérebro passa, seqüencialmente, por mudanças anatômicas, funcionais e organizacionais que dão suporte ao complexo comportamento adaptativo característico de um indivíduo maduro normal (CHUGANI et al., 1987). Esse processo, no entanto, não termina ao atingirmos a maturidade cerebral, estendendo-se por toda a vida.

Diversos estudos demonstram haver uma heterocronicidade no desenvolvimento das diversas áreas corticais (HUTTENLOCHER, 1979; GIEBB et al., 1999): áreas cerebrais envolvidas com funções primárias, como sistemas motor e sensorial, maturam primeiro, seguidas pelos córtices temporal e parietal de associação, relacionados com funções básicas de linguagem e atenção espacial. Áreas superiores de associação, como o córtex pré-frontal e córtex temporal lateral, que integram processos sensório-motores e modulam atenção e linguagem, parecem se desenvolver por último. Esse padrão de desenvolvimento ocorreria em paralelo à mudança no recrutamento das áreas corticais (de mais difuso para mais focal), como consequência do aprendizado e do desenvolvimento cognitivo, da mesma forma como foi encontrado em estudos de aprendizado em adultos por curtos períodos de tempo. As conexões corticais tornam-se refinadas com a eliminação das sinapses desnecessárias e com o fortalecimento das sinapses relevantes (PAUS, 2005; CASEY et al., 2005). Essas mudanças na arquitetura cortical e na função, provavelmente, fazem parte de um processo maturacional experiência-dependente, no entanto, ainda não se sabe ao certo como o aprendizado durante o desenvolvimento afeta esse processo (CASEY et al., 2005).

Um dos estudos que demonstra as mudanças cerebrais que ocorrem durante o desenvolvimento foi realizado por Chugani et al. (1987). Com o objetivo de obter uma medida indireta da atividade de diversas regiões do cérebro, os autores estudaram o metabolismo cerebral pela taxa de consumo de glicose (ICMRGlc) em diferentes regiões, do nascimento até a adolescência, em comparação aos valores encontrados em adultos normais. Os principais dados obtidos foram: o ICMRGlc é inicialmente maior no córtex sensório-motor, tálamo, vermis cerebelar e tronco

cerebral. Durante o segundo e terceiro mês esse índice cresce gradualmente no córtex parietal, temporal e calcarino, núcleos da base e córtex cerebelar; aproximadamente aos 6 meses o ICMRGlc aumenta no córtex frontal lateral e por volta dos 8 meses na região medial do córtex frontal e no córtex occipital dorsolateral (área de associação visual). Com um ano de idade, a distribuição anatômica do ICMRGlc é similar à encontrada em adultos, no entanto, os valores absolutos, extremamente baixos ao nascimento, só se igualam aos dos adultos no final dos dois anos. O ICMRGlc continua crescendo, principalmente em estruturas cerebrais corticais, até os 3-4 anos e mantém-se elevado até por volta dos 9 anos, devido a produção em excesso de neurônios, sinapses e espinhas dendríticas, assim como pelo processo de mielinização. A partir daí, começa a declinar até atingir os valores encontrados em adultos por volta da segunda década. Segundo os autores, esses dados estão de acordo com a hipótese de que existiria uma relação entre o aumento do metabolismo e as estruturas anatômicas e o aparecimento das funções correspondentes observadas durante o desenvolvimento. Essas modificações na densidade sináptica e metabolismo durante o desenvolvimento, parecem ter correspondência com as mudanças na substância branca (GIEBB et al., 1999) e cinzenta (PAUS, 2005). A alta produção sináptica, que ocorre por volta dos 9 anos, que supera os valores encontrados para adultos, provavelmente está relacionada à maior plasticidade cerebral encontrada em crianças e, portanto, poderia influenciar no processo de aprendizagem.

Outro estudo que demonstra diferenças na maturação cortical foi realizado por Huttenlocher e Dabholkar (1997), que verificaram como ocorreria a sinaptogênese no córtex cerebral humano. Para tanto, compararam a densidade

sináptica entre duas regiões: córtex auditivo (área sensorial primária) e o córtex pré-frontal (cujo crescimento dendrítico e mielinização ocorre depois das outras áreas corticais). Segundo os dados obtidos, a sinaptogênese se inicia em ambas as regiões no 3º trimestre de gestação, contudo a densidade sináptica aumenta mais rapidamente no córtex auditivo, atingindo o valor máximo aproximadamente 3 meses após o nascimento. O mesmo valor só é alcançado pelo córtex pré-motor não antes dos 15 meses. Após atingir o pico de superprodução sináptica (que excede muito o número de sinapses encontradas nos adultos), há um declínio gradual desse valor, pela eliminação de sinapses não funcionais, primeiramente no córtex auditivo (por volta dos 12 anos) e depois no córtex pré-frontal (que se estende até a metade da adolescência). O período no qual ocorre a sinaptogênese está relacionado ao desenvolvimento dendrítico, mielinização e metabolismo cerebral, o que explica diferenças funcionais encontradas em idades diferentes. Sendo assim, funções executivas mais complexas como julgamento e raciocínio, atribuídas ao córtex pré-frontal desenvolvem-se gradualmente durante a infância e adolescência, provavelmente pela persistência tardia de sinapses excedentes nessa região.

Muitos autores relacionam o desenvolvimento comportamental ao processo de maturação de regiões particulares do cérebro, nos quais o sucesso em certa tarefa em determinada idade é atribuído à maturação da conectividade intraregional. Johnson (2003), no entanto sugere outro ponto de vista ao qual denomina *interactive specialization* (especialização interativa), que considera que o desenvolvimento funcional do cérebro (pelo menos dentro do córtex cerebral) está relacionado não apenas a uma área, mas ao desenvolvimento da interação entre elas. O surgimento de uma nova competência durante a infância estaria associado a mudanças na

atividade de várias outras regiões e não apenas a atividade adicional de uma ou mais regiões específicas. Isso explicaria porque, durante a infância, os padrões de ativação cortical pra alguns testes comportamentais podem ser mais extensos do que aqueles encontrados em adultos. Mais do que isso, o sucesso em uma mesma tarefa poderia ser suportado por diferentes padrões de atividade cortical entre crianças e adultos. O autor ainda sugere que alguns desses processos dinâmicos podem ser também característicos do aprendizado motor e perceptual em adultos.

Apesar dos avanços significativos no campo da neuroimagem pediátrica e da neurobiologia do desenvolvimento, não se sabe aos certo como, de fato, o desenvolvimento de uma ou mais estruturas neuroanatômicas está relacionado ao aparecimento de funções motoras, perceptuais e cognitivas durante a infância; como determinada estrutura se especializa, ou ainda, como se dá o processamento dessas informações dentro do cérebro (CASEY et al., 2000; ANDERSEN et al., 2003; NAGY et al., 2004; CASEY et al., 2005). Questões são levantadas sobre quanto o comportamento está determinado geneticamente e quanto está relacionado à interação com o meio (JOHNSON, 2003). O que se sabe, no entanto, é que as mudanças funcionais observadas no decorrer da infância e da adolescência têm relação com as modificações estruturais que ocorrem paralelamente, e que existem diferenças nessas funções entre crianças de diferentes idades e, principalmente entre crianças e adultos.

Devido ao desenvolvimento fisiológico prolongado do córtex pré-frontal durante a infância (especialmente da área pré-frontal dorsolateral, uma das últimas áreas a maturar), a maior parte das pesquisas que investigam o desenvolvimento concentra-se em estudar funções relacionadas a essa área como, por exemplo,

memória operacional, atenção seletiva e inibição da resposta, que, por sua vez estão relacionadas ao desenvolvimento cognitivo (CASEY et al., 2000).

A memória operacional, ou seja, a habilidade de manter e manipular a informação em tempo real representa um aspecto essencial em processos cognitivos superiores, como linguagem, planejamento e resolução de problemas (THOMAS et al., 1999). Alguns estudos demonstram que, apesar de diferenças de estratégia contribuírem para a melhora do desempenho nesses testes no início da infância, o aumento na capacidade a partir dos 6 anos parece ser linear e está mais relacionada a uma mudança quantitativa na capacidade de reter informações do que à uma mudança de estratégia (KLINGBERG, 2006). Além disso, os adultos parecem ajustar rapidamente a resposta após cometer um erro, enquanto as crianças tendem a permanecer no padrão incorreto de resposta, demonstrando uma diferença comportamental entre crianças entre 8 e 10 anos e adultos no desempenho de tarefas relacionadas à memória operacional (THOMAS et al., 1999).

Outro aspecto que exerce papel fundamental no desenvolvimento cognitivo, emocional e social normal é a atenção (JOHNSON, 2000 apud KONRAD et al., 2005). Segundo Posner e Petersen (1990 apud KONRAD et al., 2005), existiriam diferentes funções atencionais, relacionadas a redes neurais distintas: alerta (atingir e manter o estado de alerta), orientação e reorientação (requerida quando o estímulo ocorre fora do foco de atenção) e controle executivo (resolução de conflitos entre respostas). Segundo Konrad et al. (2005), durante o desenvolvimento, ocorreria uma transição de sistemas funcionalmente imaturos para redes definitivas, refletindo em diferenças qualitativas nas estratégias utilizadas na execução de tarefas atencionais.

Estes estudos fornecem dados interessantes, que podem auxiliar na compreensão do processo de aprendizagem, uma vez que existe estreita relação entre cognição e ação, conforme descrito anteriormente. No entanto, nos possibilitam apenas fazer suposições sobre como tais achados poderiam interferir na aquisição de uma tarefa motora em diferentes idades, não sendo possível identificar mais precisamente essas diferenças.

Pesquisas relacionadas ao desenvolvimento atualmente também têm buscado investigar como os sistemas de memória (implícito e explícito) se manifestam durante o desenvolvimento (DIGIULIO et al., 1994; MEULEMANS et al., 1998; VINTER e PERRUCHE, 2002)

DiGiulio et al. (1994) testaram crianças de 08 e 12 anos em duas tarefas de *priming* e verificaram que o sistema implícito é funcionalmente maduro já nesse período enquanto o sistema declarativo continua em desenvolvimento. Segundo os autores, isso poderia ser justificado pela progressiva maturação do hipocampo, diencéfalo e do córtex temporal ainda durante a infância (NADEL e ZOLA-MORGAN, 1984 apud DIGIULIO et al., 1994), enquanto as áreas cerebrais relacionadas ao aprendizado implícito já estariam funcionalmente e anatomicamente maduras nesta fase. Os mesmos resultados foram encontrados por Meulemans et al. (1998), que compararam crianças entre 6-7 anos, 10-11 anos e adultos jovens num teste de tempo de reação: não houve diferença significativa entre os grupos quanto ao aprendizado implícito, demonstrando que os processos envolvidos nessa forma de aprendizado estariam presentes desde as fases iniciais do desenvolvimento. O mesmo não foi verificado para o sistema explícito, no entanto, não existindo ainda consenso na literatura (DIGIULIO et al., 1994; MEULEMANS et al., 1998).

Vinter e Perruchet (2002) compararam crianças (6-10 anos) e adultos, a fim de verificar se o aprendizado implícito ocorreria apenas pela observação de um novo padrão de desenho. Foi testado também o conhecimento explícito adquirido após a tarefa. Em concordância com trabalhos anteriores, os resultados demonstraram não haver diferença significativa entre as idades em relação ao aprendizado implícito. No entanto, contrariamente ao que foi visto por DiGiulio et al. (1994), crianças de 6 anos demonstraram maior percepção na questão direta (conhecimento explícito) do que os adultos. Os autores supõem que esse resultado está relacionado ao tipo de tarefa utilizada (desenho), que estaria mais próxima do universo infantil pela fase de alfabetização.

Como o aprendizado motor contaria com mecanismos implícitos e explícitos de aprendizagem (WILLINGHAN, 1998) e como estes sistemas não estão presentes na mesma proporção durante desenvolvimento, é possível que isso se reflita em diferenças no processo de aquisição de habilidades motoras em diferentes idades.

Dentre os trabalhos encontrados sobre aprendizagem motora em crianças, muitos fazem comparações entre diferentes idades analisando tempo de reação, capacidade de aquisição, retenção e transferência, sem mencionar a vasta literatura a respeito da distribuição da prática e interferência contextual. Esses trabalhos, no entanto, não permitem conclusões mais aprofundadas sobre o processo de desenvolvimento como um todo, uma vez que uma estratégia utilizada por uma criança mais velha pode ser mais eficiente em relação à utilizada por crianças mais novas e, no entanto, não ser a melhor estratégia, como teoricamente é a adotada por um cérebro maduro.

Por outro lado, muitos dos trabalhos existentes que comparam crianças e adultos, muitos apenas buscam identificar diferenças estruturais (maturação, volumes corticais, áreas de ativação) que justifiquem as mudanças funcionais encontradas, sem necessariamente caracterizar o processo de aprendizagem em crianças normais relacionadas a essas diferenças e quais fatores o influenciam.

Um dos trabalhos que se aproxima à idéia de comparar o processo de aprendizagem entre adultos e crianças foi desenvolvido por Olivier et al. (1997), no qual examinaram o desenvolvimento da programação da resposta de interceptar uma bola, comparando o tempo de reação (TR) e o número de erros entre três grupos de crianças (6, 8 e 10 anos) e adultos. A tarefa consistia em interceptar a bola cuja trajetória poderia ser manipulada pelo examinador. Um método de *precue* (ROSEMBAUM, 1980 *apud* OLIVIER et al, 1997) - pista antecipatória - foi utilizado, no qual, antes de a bola aparecer, eram oferecidos alguns parâmetros sobre a resposta que deveria ser executada, permitindo sua programação. Nesse paradigma, o tempo de reação reflete o tempo para programar os parâmetros não mencionados. Foram fornecidas informações quanto ao efector (braço direito ou esquerdo) e direção da projeção do braço (para fora ou para dentro). A análise da variância foi significativa para idade (o TR diminuiu através dos grupos, sendo essa diferença mais importante entre 6 anos e as outras idades) e para a natureza da *precue* (os TRs foram menores na condição efector-*precued* em relação à direção-*precued* e no-*precue*, para todas as idades de modo similar). A análise em relação ao número de erros foi significativa para idade, diminuindo através dos grupos, sendo mais evidente entre crianças e adultos nas situações de direção-*precued* e no-*precue*. A diminuição do TR através dos grupos confirma a hipótese já verificada

em outros trabalhos de que durante o desenvolvimento há um aumento na velocidade de processamento das informações. Segundo os autores, haveria um período crítico nesse processo entre os 6 e 8 anos, que estaria relacionado a uma mudança qualitativa na maturação do processamento de informações. Além disso, os dados obtidos sugerem que as crianças são capazes de utilizar a *precue* para programar o movimento de maneira tão eficiente quanto os adultos. Sendo assim haveria uma diferença em relação ao processamento das informações mais do que uma mudança de estratégia.

Outro trabalho que contribui para o entendimento da aprendizagem, desta vez relacionado ao papel da informação visual para o processo, foi realizado por Williams e cols (2002), que avaliaram se havia diferença quanto a importância da visão na interceptação de uma bola entre crianças de 8, 10 e 12 anos, com e sem experiência prévia, em duas condições: com visão total (FV) e quando a visão sobre o efector era ocluída (OCC_F). Os resultados obtidos demonstram que apenas 2 grupos não demonstraram prejuízo significativo da performance sob OCC_F em comparação com FV: crianças de 8 anos sem experiência, o que poderia ser explicado pela baixa performance inicial mesmo sob FV, e crianças de 12 anos experientes, demonstrando que esse grupo é capaz de utilizar as informações proprioceptivas articulares com maior eficiência do que as crianças mais novas ou menos habilidosas da mesma idade. O maior prejuízo na performance sob OCC_F foi observado nas crianças de 10 anos, particularmente no grupo sem experiência, demonstrando que nessa idade, a visão sobre o efector parece ser essencial na integração das informações proprioceptivas. (1) que a visão pode ser utilizada para o planejamento de ações futuras ou na detecção das informações importantes do

ambiente (verificado pela maior dificuldade na construção do modelo interno); e (2) a experiência prévia tem influência na programação motora, o que pode ser entendido como capacidade de generalização, e assim diminui a importância de informações sensoriais no controle dos movimentos.

A investigação sobre como ocorre a aprendizagem em adultos e crianças se justifica pelas diferenças estruturais e funcionais encontradas durante o desenvolvimento, que possivelmente interferem no processo. A comparação de crianças em relação aos adultos nos permite ter uma base de referência sobre o que seria o melhor desempenho possível, uma vez que, por terem atingido a maturidade cerebral, apresentam máxima capacidade funcional. Além disso, a maior parte do conhecimento sobre aprendizagem motora foi construída a partir de trabalhos realizados com adultos, e, portanto, o processo para esse grupo é mais conhecido. A idade do grupo de crianças (9-10 anos) foi escolhida baseando-se nos estudos sobre desenvolvimento cerebral. Se, por um lado, há uma intensa produção de sinapses, o que poderia contribuir para mecanismos plásticos e assim facilitar as modificações estruturais que sustentam o aprendizado, por outro, diversos trabalhos demonstram diferenças funcionais significativas entre adultos e crianças nesta faixa etária, especialmente envolvendo cognição. Como sabemos, a participação de aspectos cognitivos, como a tomada de decisão, é importante não apenas nas fases iniciais da aprendizagem (na formação de modelos internos) mas também na atualização contínua desses modelos, o que permite a adaptação do comportamento. A partir desses dados seria mais fácil não só elucidar como o processo de maturação interfere no desenvolvimento, mas também qual seria a influência das experiências sobre o processo de maturação cerebral.

Trabalhos que comparam crianças e adultos, em tarefas envolvendo habilidades abertas (tarefas de campo), acabam tendo resultados “contaminados” pelos efeitos da experiência prévia, já que essas situações muitas vezes remetem a atividades do cotidiano (DEL REY et al., 1987). Sendo assim, tarefas laboratoriais seriam mais eficientes se o objetivo for a caracterização do processo de aprendizagem em si, uma vez que os parâmetros passam a ser mais pontuais e podem ser melhor controlados. Dentre estas, a utilização de uma tarefa motora fina permite uma situação mais controlada e uma boa oportunidade para identificar alguns componentes de uma tarefa específica (KERR, 1975).

2.2.1 Aprendizagem motora e movimentos seqüenciais

A tarefa de movimentos de oposição de dedos seqüencialmente foi descrita por Karni e, desde então, tem sido responsável por contribuições importantes para a compreensão do processo de aprendizagem e das estruturas nervosas nele envolvidas por associar dados comportamentais a dados por imagem. Karni (1995) verificou que a performance numa tarefa de movimentos seqüenciais de dedos melhorou, para a seqüência treinada, em termos de velocidade e acurácia após três semanas de treinos diários. Associado a isto, através de exames por ressonância magnética funcional, pôde-se verificar mudanças no padrão de atividade cortical, de acordo com a fase do aprendizado. Em outro trabalho, utilizando a mesma metodologia, Karni et al (1998) investigaram os efeitos do treino, porém relacionando-os ao curso do tempo. Foi constatado aumento de atividade da área

motora primária contralateral logo nos primeiros minutos do treinamento, mantendo-se por semanas após o final da fase de treino. Isto sugere que o aprendizado desta tarefa tenha se consolidado, não sendo apenas efeito imediato do treinamento. A utilização desta metodologia em diversos trabalhos demonstra sua eficiência na investigação na aquisição de novas habilidades e, mais do que isso, nos permite inferir que, se houveram mudanças comportamentais, estas estão relacionadas a mudanças estruturais das conexões cerebrais e que, portanto, houve aprendizado.

Outro fator que contribuiu para a escolha desta tarefa em nosso estudo baseia-se no fato de que o aprendizado de movimentos seqüenciais pode ser considerado um elemento chave do comportamento voluntário, já que entre os diversos movimentos que fazemos diariamente, a maioria apresenta características seqüenciais. Mais do que isso, tem-se sugerido que essas habilidades implícitas fornecem base para funções como raciocínio lógico, linguagem e memória (HIKOSAKA et al., 1999). Na linguagem, por exemplo, a organização das palavras dentro da sentença, que obedece a uma ordem específica, é fundamental para uma comunicação eficiente; na memória episódica também é necessária a organização dos fatos numa seqüência tal que permita reconstruir o evento (ASHE, et al, 2006). Sendo assim, acreditamos que aquisição de uma tarefa que contenha subcomponentes de movimentos expresse de maneira bastante adequada a construção da aprendizagem motora.

Por fim, apesar de não terem sido encontrados estudos de movimentos seqüenciais de dedos em crianças, esta tarefa nos permite avaliar o aprendizado de uma nova habilidade em por ser genérica o suficiente, que possa ser aprendida com relativamente pouco treino (por se tratarem de movimentos simples de oposição de

dedos) e específica o suficiente para que a experiência prévia não interfira (no caso, favorecendo os adultos).

Sendo assim, ao comparar desempenho entre adultos e crianças, antes e até 28 dias depois do treinamento, dois resultados podem ser esperados: (1) o desempenho seria semelhante. Logo, as possíveis diferenças funcionais ou anatômicas entre as duas faixas etárias não interfeririam na aquisição da tarefa; (2) os dois grupos apresentariam comportamento diferente. E, pela análise das características de tais diferenças comportamentais, poderíamos inferir se essas diferenças seriam motoras, perceptuais/sensoriais ou cognitivas, além de podermos verificar e analisar diferenças relacionadas à consolidação da aprendizagem.

A relevância deste trabalho está no fato de não terem sido encontrados trabalhos que comparem adultos e crianças com essa metodologia (treino de movimentos seqüenciais com seqüência controle e treinada) e que tenham investigado se haveriam diferenças no processo de aprendizagem motora entre as crianças entre 9-10 anos e adultos.

3. OBJETIVO

Geral:

Investigar, por meio da análise do desempenho motor em uma tarefa de oposição de dedos, se há diferenças no processo de aprendizagem motora entre crianças de 09 e 10 anos e adultos, supostamente relacionadas a diferenças maturacionais do Sistema Nervoso existente entre essas idades.

Específicos:

- Estudar o processo de aprendizagem motora em crianças e adultos normais;
- Verificar se há diferenças no processo em diferentes idades;
- Analisar a natureza dessas diferenças e;
- Identificar possíveis aspectos sensoriais, motores e cognitivos que estariam contribuindo para essa diferença.

4. MATERIAIS E MÉTODO

4.1 SUJEITOS

Vinte crianças saudáveis (GRUPO EXPERIMENTAL - GE), com idade entre 9 e 10 anos (média: 9,6; desvio-padrão: 0.50) e vinte adultos jovens saudáveis (GRUPO CONTROLE - GC), com idade variando entre 20 e 32 anos (média: 26,7 ;desvio-padrão: 3,77), todos destros. Cada grupo foi randomicamente subdividido em duas condições sensoriais de treinamento.

Foram excluídos do estudo os sujeitos com história de distúrbios sensoriais, e/ou motores e/ou cognitivos e/ou de aprendizagem. Todos os adultos completaram ou cursavam o terceiro grau escolar e todas as crianças encontravam-se em série escolar adequada para a idade.

Sujeitos especialmente habilidosos em movimentos de dedos como músicos ou digitadores, e sujeitos com visão subnormal também foram excluídos do estudo.

Todos os participantes ou responsáveis assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – HCFMUSP (ANEXO B)

4.2 LOCAL

Laboratório de Aprendizado Sensório-Motor do Centro de Docência e Pesquisa da Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

4.3 MATERIAIS

- Luvas de procedimento hospitalar;
- Venda de olhos;
- Cadeira, na qual o sujeito se ajustava da maneira que lhe fosse mais confortável;
- Mesa, para que o sujeito apoiasse seu membro superior da maneira mais confortável para realizar a tarefa;
- Uma cabine especial que garantia a redução de interferências auditivas e visuais do ambiente;
- Fitas metálicas adesivas coladas nos dígitos das luvas de procedimento hospitalar às quais cabos eram conectados;
- Cabos de conexão luva-computador, para o registro do desempenho (Figura 1);

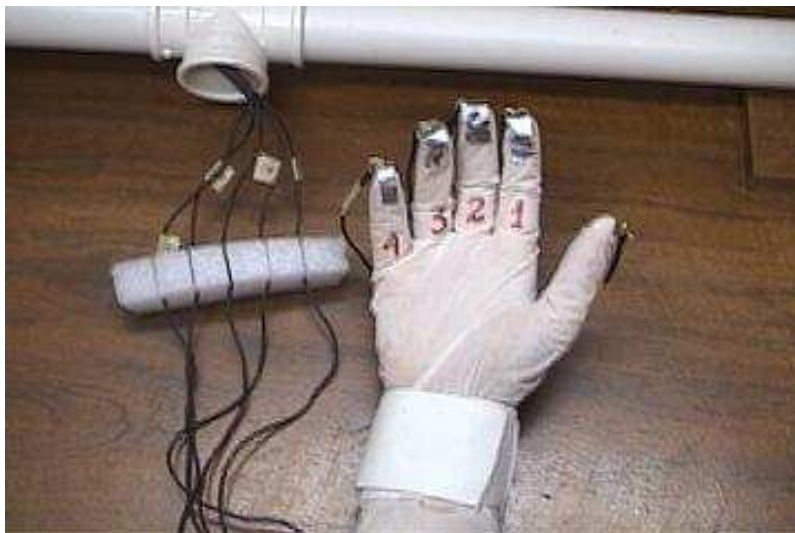
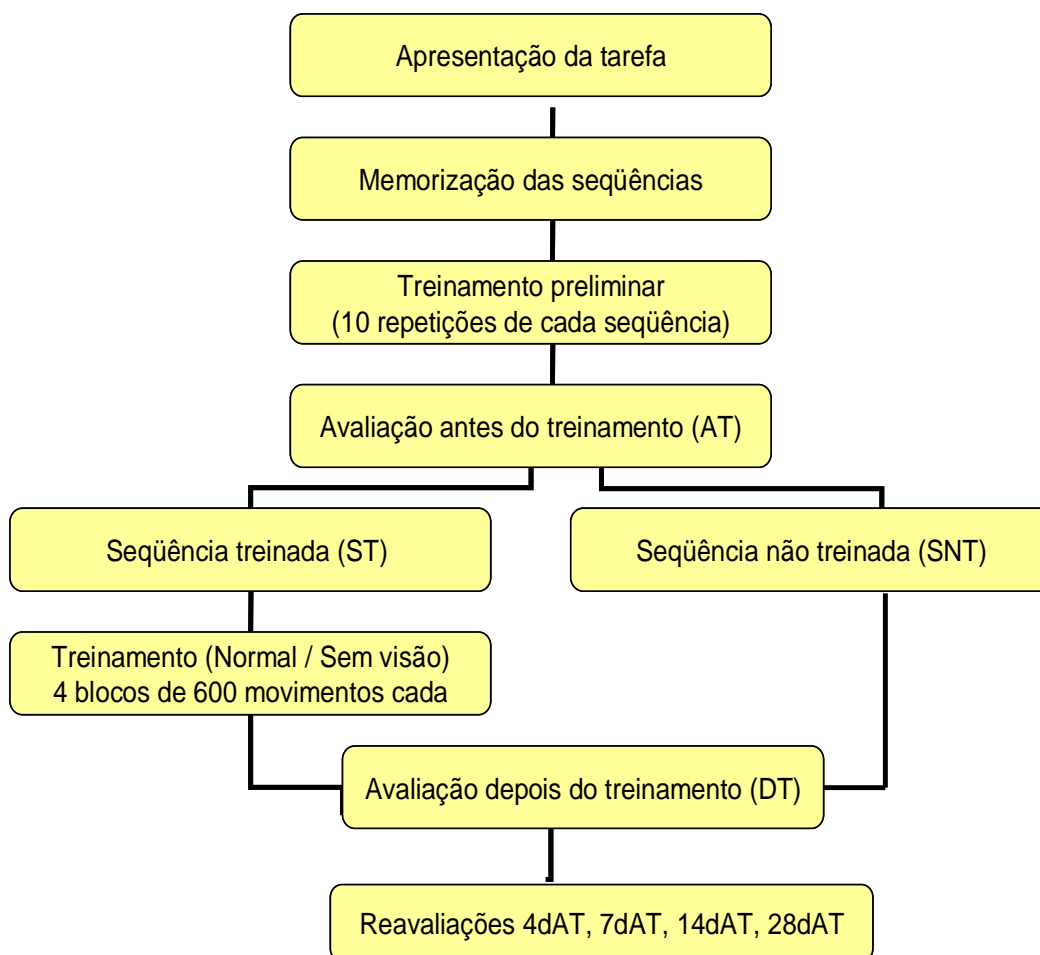


Figura 1: Mão preparada para o registro dos movimentos de oposição dos dedos. Os cabos se conectam, através de uma interface, a um microcomputador programado para registrar o contato entre o polegar e os demais dedos.

4.4 PROCEDIMENTOS

A representação esquemática da metodologia pode ser visualizada na Figura 2 (abaixo).



4.4.1 Apresentação da tarefa

A tarefa consistiu de movimentos seqüenciais dos dedos, em oposição, sendo que todos os sujeitos realizaram a tarefa com a mão dominante. Os sujeitos utilizaram uma luva de procedimento na qual os dedos foram numerados de 1 a 4 (do dedo “indicador” ao “mínimo”), sendo que o primeiro dedo anatômico (“polegar”) não recebeu numeração devido aos movimentos serem realizados em função dele. Sendo assim, o segundo dedo anatômico (“indicador”) foi designado número 1, o terceiro dedo (“médio”), o número 2, o quarto dedo (“anelar”), o número 3 e o quinto dedo (“mínimo”), o número 4 (Figura 3).

A luva estava conectada a um computador cujo programa possibilitava o registro do desempenho do sujeito na tarefa.

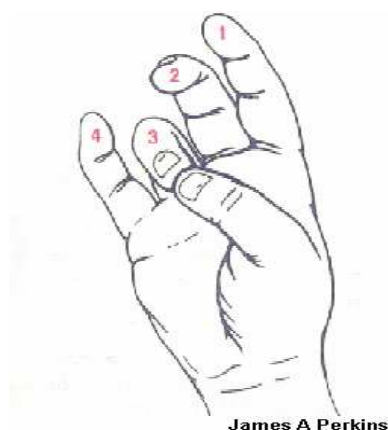


Figura 3: Representação esquemática da situação de oposição de dedos conforme Karni (1995), mostrando a oposição com o dedo “anelar” (que recebeu a numeração 3).

4.4.2 Memorização das seqüências

Foram apresentados aos sujeitos dois cartões, nos quais estavam escritas as seqüências numéricas a serem memorizadas. As seqüências eram reversas entre si de modo que, dos cinco sub-movimentos envolvidos, apenas o último era comum às duas seqüências (Tabela 1), uma vez que ambas eram iniciadas e finalizadas com a oposição polegar e quinto dedo (“dedo mínimo”).

Após 2 minutos, a retenção das seqüências foi verificada através da evocação verbal.

Tabela 1: Demonstração dos diferentes componentes das seqüências, exceto o último.

<i>Subcomponentes</i>	<i>Seqüência 1</i> <i>4*1*3*2*4</i>	<i>Seqüência 2</i> <i>4*2*3*1*4</i>
Subcomponente 1	4 * 1	4 * 2
Subcomponente 2	1 * 3	2 * 3
Subcomponente 3	3 * 2	3 * 1
Subcomponente 4	2 * 4	1 * 4
Subcomponente 5	4 * 4	4 * 4

4.4.3 Familiarização da tarefa

Após a seqüência ser memorizada, os participantes realizaram 10 repetições de cada seqüência para a familiarização com a tarefa motora.

4.4.4 Avaliação antes do treinamento

Em seguida foi realizada a primeira avaliação do desempenho motor na qual, os indivíduos eram instruídos a realizar a oposição dos dedos conforme a seqüência 1 da forma mais acurada e rápida possível durante um minuto. O mesmo teste foi

realizado para a seqüência 2. Eram registradas o número de seqüências corretas completas e o número de seqüências incorretas iniciadas em 1 minuto.

4.4.5 Treinamento

Após a primeira avaliação, crianças (Grupo Experimental - GE) e adultos (Grupo controle - GC) foram randomicamente subdivididos em dois subgrupos:

1. “Grupo normal” (NL): realizou o treino sem restrição sensorial, ou seja, os sujeitos eram livres para utilizar a visão no controle da execução da tarefa (Figura 4).

2. “Grupo sem visão” (SV): realizou o treino com os olhos vendados, de forma a impedir a realimentação visual que, para esta tarefa, seria importante para direcionar o movimento dos dedos em direção ao seu oponente (Figura 5).

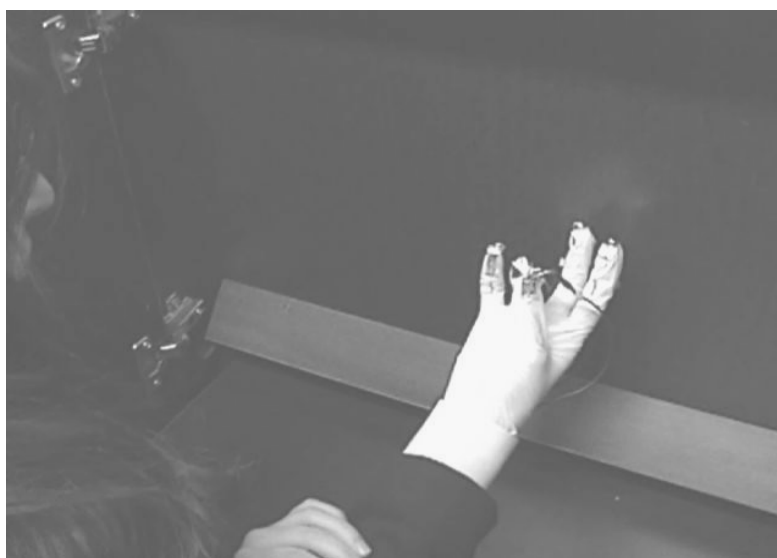


Figura 4: Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição normal

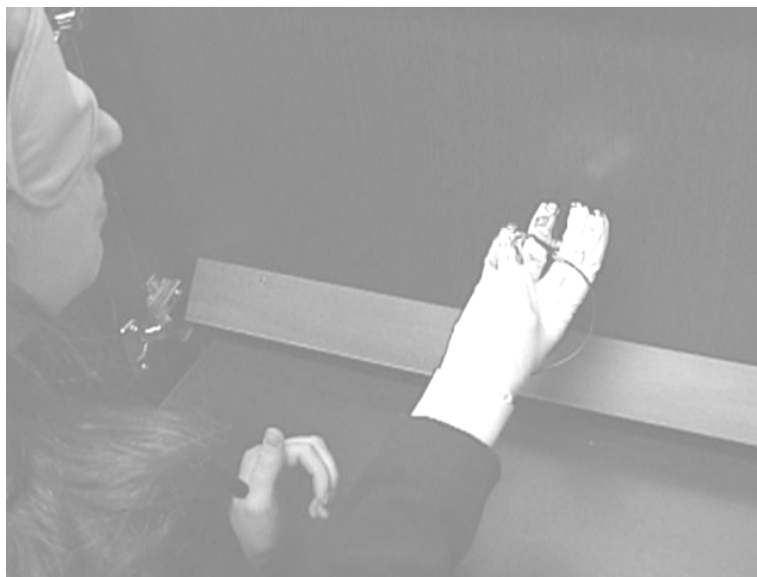


Figura 5: Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição sem visão

Em ambas as condições, o treino consistiu de 4 blocos (BI 1, BI 2, BI 3 e BI 4), de 600 movimentos, os quais, em 100% de aproveitamento do treinamento, corresponderiam à execução de 120 seqüências compostas por 5 subcomponentes, perfazendo um total de 2.400 movimentos de oposição dos dedos da seqüência 1 ou 2, distribuídas randomicamente entre os grupos,. Os blocos eram intercalados por períodos de 3 minutos de descanso. Além disso, os sujeitos poderiam descansar durante o bloco de treinamento caso não fosse possível continuar a tarefa, sendo que o tempo de descanso era computado no tempo total de execução do bloco.

Era computado também, o número de seqüências corretas e o número de seqüências incorretas.

Os indivíduos não recebiam qualquer informação sobre o seu desempenho.

4.4.6 Avaliação após o treinamento (DT)

Ao término dos blocos de treino, o desempenho para a seqüência que recebeu treinamento (ST) e para que não recebeu treinamento (SNT) foi reavaliado, sob as mesmas condições da avaliação AT, ou seja, sem nenhuma restrição sensorial, durante 1 minuto para cada seqüência.

4.4.7 Reavaliação 4 dias após o treinamento (4dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 4 dias após o treinamento.

4.4.8 Reavaliação 7 dias após o treinamento (7dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 7 dias após o treinamento.

4.4.9 Reavaliação 14 dias após o treinamento (14dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 14 dias após o treinamento.

4.4.10 Reavaliação 28 dias após o treinamento (28dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 28 dias após o treinamento.

4.5 Análise estatística

Para analisar a aquisição e retenção da tarefa foram definidos **Movimentos Totais (MT)**, que consiste na velocidade (no. de movimentos / minuto), para realizar movimentos de oposição de dedos independente da seqüência e **Movimentos Corretos (MC)**, que representa a velocidade para realizar movimentos de oposição de dedos dentro de uma seqüência específica.

Sendo assim, a partir da medida de **MT** pudemos analisar o efeito do treino sobre velocidade para realizar movimentos de oposição de dedos, independente da seqüência e, a partir da medida de **MC** pudemos avaliar o efeito do treino sobre a capacidade para executar movimentos dentro da seqüência treinada.

Para analisar a capacidade de generalização da tarefa foram utilizados **Movimentos Corretos (MC)** para a seqüência treinada (ST) e para a seqüência não treinada (SNT) e definido o **Índice de Generalização (IG)**, que analisa proporcionalmente o efeito do treino sobre a ST e SNT para cada individuo, por meio da seguinte fórmula:

$$IG = MCSNT/MCST$$

(MCSNT – movimentos corretos da SNT ; MCST – movimentos corretos da ST).

O IG foi calculado isoladamente para as avaliações realizadas depois do treino (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT). Quanto mais próximo de 1 o valor de IG, menor a diferença entre ST e SNT, ou seja, maior capacidade de generalização da tarefa.

Para a análise das variáveis relacionadas à aquisição e retenção da tarefa, após testes para checar normalidade, homogeneidade e independência dos dados, foram realizadas duas comparações utilizando ANOVA 4X6 (Grupo X Avaliação), sendo o segundo fator a medida repetida. A primeira comparação verificou o efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV) e das avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) sobre o número de Movimentos Totais (MT). A segunda comparação verificou o efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV) e das avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) sobre o número de Movimentos Corretos (MC).

Em seguida, para análise das variáveis relacionadas à generalização da tarefa, após testes para checar normalidade, homogeneidade e independência dos dados, foi utilizada uma ANOVA 4X6X2 (Grupo X Avaliação X Seqüência), sendo os dois últimos fatores medidas repetidas. Esta comparação verificou efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV), das avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) e das seqüências (ST e SNT) sobre os Movimentos Corretos.

Além disso, para análise do desempenho entre as seqüências, foi realizada uma ANOVA 4X5 (Grupo X Avaliação), sendo o último fator medida repetida, por meio da qual se verificou o efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV) e das avaliações (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) sobre o Índice de Generalização.

Para ajustar múltiplas comparações duas a duas, foi aplicado o pós-teste de Scheffé.

O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

Toda a análise foi realizada através do programa *Statistic Release 7*.

5. RESULTADOS

5.1 AQUISIÇÃO E RETENÇÃO DA TAREFA

5.1.1 Análise dos Movimentos Totais (MT)

As Médias e Desvio-padrão (DP) relacionados aos Movimentos Totais (MT) estão demonstrados na Tabela 2. Conforme demonstrado, todos os grupos apresentaram padrão de desempenho semelhante no decorrer das avaliações, com aumento de movimentos de dedos realizados no decorrer das avaliações, sendo que os adultos, em números absolutos, realizaram mais movimentos do que as crianças.

Tabela 2: Médias e desvios-padrão (DP) dos movimentos totais nas avaliações (AT, DT, 4dDT, 7Ddt, 14dDT e 28dDT) para adultos e crianças (GE e GC) nas duas condições de treinamento (CV e SV)

	N	AT		DT		4DDT		7DDT		14DDT		28DDT	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
TOTAL	40	112,7	5,7	171,7	7,6	171,8	7,0	179,8	6,6	184,0	7,2	189,2	7,6
GCNL	10	138,0	11,6	210,5	10,9	204,0	9,2	211,0	6,5	224,5	8,0	227,0	9,2
GCSV	10	142,5	5,1	214,0	8,3	205,5	11,0	213,5	9,4	219,5	10,4	227,0	10,8
GENL	10	82,0	5,9	136,0	3,9	142,5	10,0	147,0	8,4	148,5	6,1	153,5	8,0
GESV	10	88,5	5,1	126,5	8,5	135,5	8,3	148,0	10,1	143,5	8,1	149,5	10,1

Na ANOVA para movimentos totais (Tabela 3, Figura 6), foram encontrados efeitos significativos para Grupo, demonstrando que as crianças foram significativamente mais lentas do que os adultos, independente da condição de

treino (Tabela 4), e avaliação, demonstrando que desempenho após o treino foi significativamente superior em relação à antes do treino (Tabela 5).

Tabela 3: ANOVA 4X6 (Grupo X Avaliação), para verificar efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV), das avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) sobre os movimentos totais.

	SS	Grau de Liberdade	MS	F	p
Grupo	291518	3	97173	28,382	0,000000
Error	123256	36	3424		
Avaliação	157194	5	31439	135,742	0,000000
Avaliação*Grupo	5709	15	381	1,643	0,066472
Error	41689	180	232		

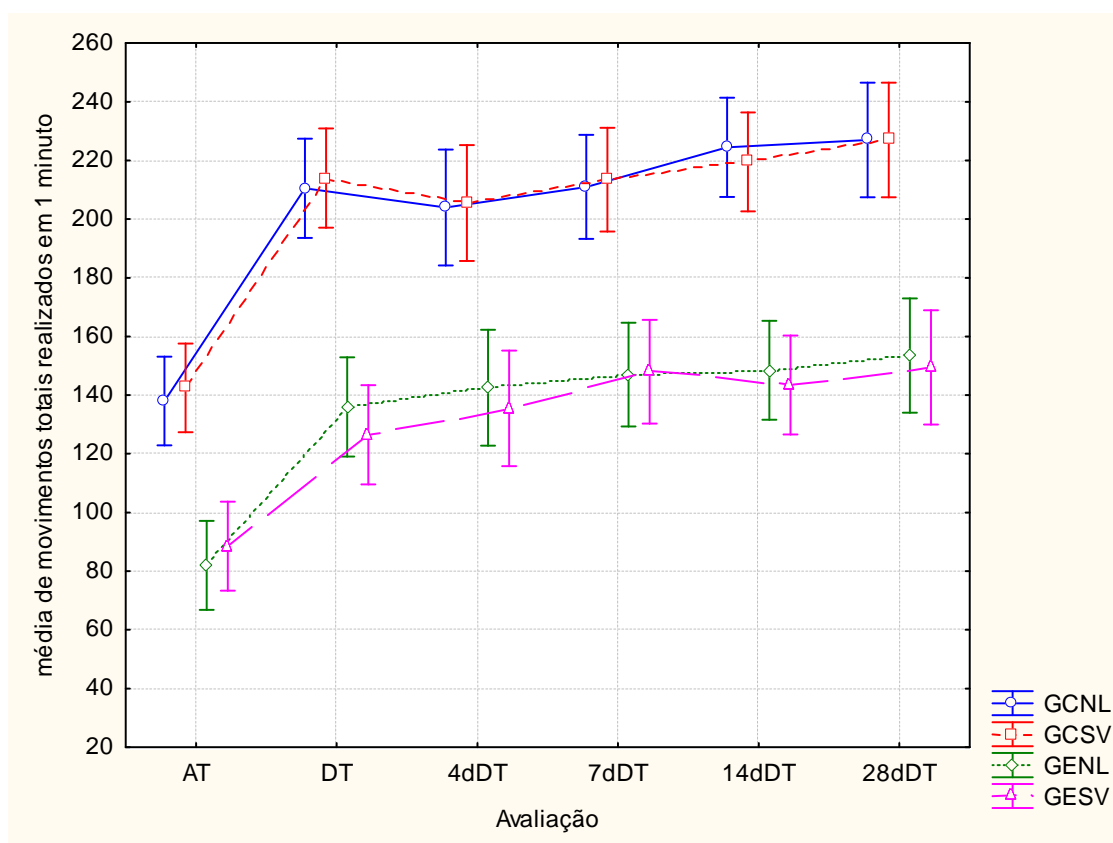


Figura 6: Média de Movimentos Totais (expresso na ordenada) em cada uma das avaliações (expresso na abscissa) nos 4 grupos. As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. $F(15,80) = 1,643$; $p\text{-value} < 0,06647$. Legenda: GCNL (grupo controle normal), GCSV (grupo controle sem visão), GENL (grupo experimental normal), GESV (grupo experimental sem visão).

Tabela 4: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito do grupo em relação aos movimentos totais.

<i>GRUPO</i>	<i>Interação no Pós- teste</i>
GCNL x GCSV	-----
GCNL x GENL	0,000005
GCNL x GESV	0,000002
GCSV x GESV	0,000004
GCSV x GENL	0,000002
GENL x GESV	----

Tabela 5: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito do avaliação em relação aos movimentos totais.

<i>avaliação</i>	<i>Interação no Pós- teste</i>
AT x DT	0,000000
DT x 4dDT	---
4Ddt x 7dDT	---
7dDT x 14dDT	---
14dDT x 28dDT	---

Em síntese, houve um aumento na velocidade dos movimentos totais (MT) depois do treinamento independentemente do grupo, sendo que as crianças apresentaram velocidade inferior por todo o experimento. Portanto, o efeito do treino sobre a habilidade de aumentar a velocidade de movimentos de oposição de dedos foi o mesmo sobre crianças e adultos.

5.1.2 Análise dos Movimentos Corretos (MC)

As Médias e Desvio-padrão (DP) relacionados aos Movimentos Corretos (MC) estão demonstrados na Tabela 6. Conforme demonstrado, todos os grupos apresentaram padrão de desempenho semelhante no decorrer das avaliações, com aumento de movimentos corretos realizados no decorrer das avaliações, sendo que os adultos, em números absolutos, realizaram mais movimentos do que as crianças.

Tabela 6: Médias e desvios-padrão (DP) dos movimentos corretos nas avaliações (AT, DT, 4dDT, 7Ddt, 14dDT e 28dDT) para adultos e crianças (GE e GC) nas duas condições de treinamento (CV e SV)

	N	AT		DT		4DDT		7DDT		14DDT		28DDT	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
TOTAL	40	97,5	5,7	158,1	8,8	160,2	7,4	165,7	6,9	171,0	7,4	176,5	7,7
GCNL	10	126,0	10,3	204,5	11,0	193,5	9,8	197,0	7,6	207,5	9,0	214,0	8,8
GCSV	10	128,5	4,4	205,5	9,1	195,0	11,1	201,5	9,3	208,0	10,8	217,0	10,7
GENL	10	65,5	2,4	120,0	8,4	134,0	10,0	138,5	7,8	143,5	8,7	141,5	6,3

Na ANOVA para movimentos corretos foram encontrados efeitos significativos para Grupo, avaliação e para a interação entre esses dois fatores, demonstrando que os grupos comportaram-se de forma diferente em relação às avaliações (Tabela 7, Figura 7).

Tabela 7: ANOVA 4X6 (Grupo X Avaliação), para verificar efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV) e das avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) sobre os movimentos corretos.

	SS	Grau de Liberdade	MS	F	p
Grupo	326238	3	108746	31,358	0,000000
Error	124845	36	3468		
Avaliação	167091	5	33418	112,208	0,000000
Avaliação*Grupo	8889	15	593	1,990	0,018140
Error	53608	180	298		

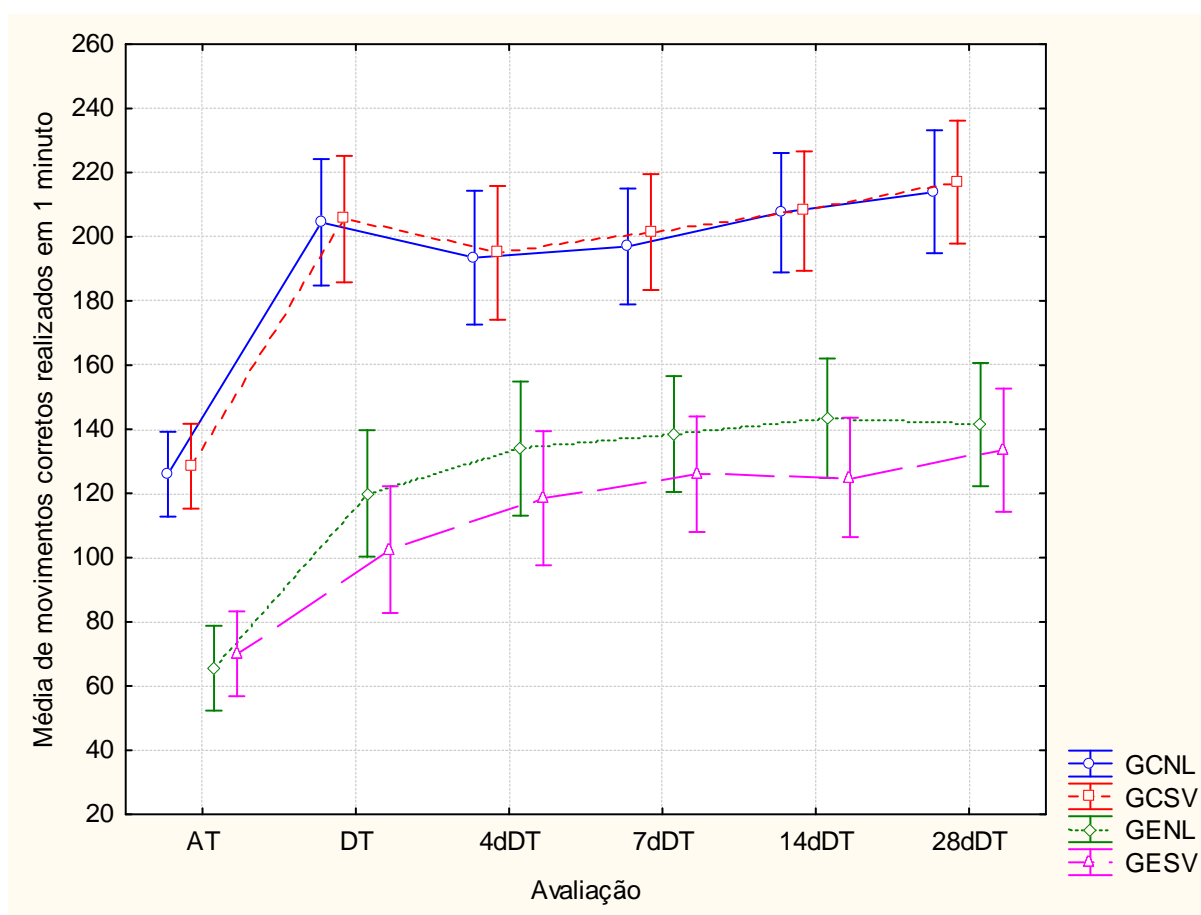


Figura 7: Média de Movimentos Corretos (expresso na ordenada) em cada uma das avaliações (expresso na abscissa) nos 4 grupos. As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. $F(15,180) = 1,990$; p-value $<0,01814$. Legenda: GCNL (grupo controle normal), GCSV (grupo controle sem visão), GENL (grupo experimental normal), GESV (grupo experimental sem visão).

O efeito de grupo foi confirmado pelo pós-teste demonstrando que, independente da condição de treino as crianças apresentaram prejuízo do desempenho em relação aos adultos (Tabela 8)

Tabela 8: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito do grupo em relação aos movimentos corretos.

<i>GRUPO</i>	<i>Interação no Pós- teste</i>
GCNL x GCSV	----
GCNL x GENL	0,000008
GCNL x GESV	0,000000
GCSV x GESV	0,000000
GCSV x GENL	0,000004
GENL x GESV	----

O efeito de avaliação, confirmado pelo pós-teste, demonstrou que o desempenho depois do treino foi significativamente superior em relação a antes do treino, independente do grupo, e manteve o mesmo comportamento até o final do experimento (Tabela 9)

Tabela 9: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito da avaliação em relação aos movimentos corretos.

<i>avaliação</i>	<i>Interação no Pós- teste</i>
AT x DT	0,000000
DT x 4dDT	---
4Ddt x 7dDT	---
7dDT x 14dDT	---
14dDT x 28dDT	---

A interação grupo*avaliação, confirmada pelo pós-teste, demonstrou que os grupos GCNL, GCSV, e GENL apresentaram comportamento semelhante no decorrer das avaliações, com um aumento significativo dos movimentos totais a partir da avaliação DT, que se manteve nas avaliações 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT (Tabela 10)

Apenas o grupo de crianças que treinou sem visão comportou-se de modo diferente com aumento significativo do número de movimentos para a ST apenas a partir da avaliação 4dDT, mantendo-se até a avaliação 28dDT.

Para nenhum dos grupos houve aumento significativo do número de movimentos totais entre avaliações consecutivas a partir da avaliação 4dDT.

Tabela 10: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito grupo*avaliação para a seqüência treinada (ST) em relação aos movimentos corretos.

	<i>GCNL</i>	<i>GCSV</i>	<i>GENL</i>	<i>GESV</i>
AT x DT	0,000000	0,000000	0,002587	----
AT x 4dDT	0,000003	0,000006	0,000002	0,027228
AT x 7dDT	0,000000	0,000000	0,000000	0,001324
AT x 14dDT	0,000000	0,000000	0,000000	0,002070
AT x 28dDT	0,000000	0,000000	0,000000	0,000030
DT X 4dDT	----	----	----	----
4dDT x 7dDT	----	----	----	----
7dDT x 14dDT	----	----	----	----
14dDT x 28dDT	----	----	----	----

Em síntese esses resultados indicam que o efeito do treino sobre a habilidade de aumentar a velocidade de movimentos de oposição de dedos dentro da seqüência correta foi diferente entre os grupos, sendo que, para esta habilidade crianças demonstraram-se prejudicadas em relação a adultos, particularmente o grupo que treinou sem visão (GESV)

5.2 GENERALIZAÇÃO DA TAREFA

5.2.1 Análise dos Movimentos Corretos (MC) para ST e SNT

As Médias e Desvio-padrão (DP) relacionados aos Movimentos Corretos (MC) para a seqüência treinada (ST) estão demonstrados na Tabela 11 e para a seqüência não treinada (SNT) estão demonstradas na Tabela 12. Conforme podemos verificar, todos os grupos apresentaram padrão de desempenho semelhante no decorrer das avaliações, com aumento de movimentos de dedos realizados no decorrer das avaliações, sendo que os adultos, em números absolutos, realizaram mais movimentos do que as crianças.

Tabela 11: Médias e desvios-padrão (DP) dos movimentos corretos para a seqüência treinada (ST) nas avaliações (AT, DT, 4dDT, 7Ddt, 14dDT e 28dDT) para adultos e crianças (GE e GC) nas duas condições de treinamento (CV e SV)

	N	AT		DT		4DDT		7DDT		14DDT		28DDT	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
TOTAL	40	97,5	5,7	158,1	8,8	160,2	7,4	165,7	6,9	171,0	7,4	176,5	7,7
GCNL	10	126,0	10,3	204,5	11,0	193,5	9,8	197,0	7,6	207,5	9,0	214,0	8,8
GCSV	10	128,5	4,4	205,5	9,1	195,0	11,1	201,5	9,3	208,0	10,8	217,0	10,7
GENL	10	65,5	2,4	120,0	8,4	134,0	10,0	138,5	7,8	143,5	8,7	141,5	6,3
GESV	10	70,0	6,1	102,5	10,0	118,5	10,0	126,0	10,5	125,0	7,6	133,5	11,1

Tabela 12: Médias e desvios-padrão (DP) dos movimentos corretos para a seqüência não-treinada (SNT) nas avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) para adultos e crianças (GE e GC) nas duas condições de treinamento (CV e SV)

	N	AT		DT		4DDT		7DDT		14DDT		28DDT	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
TOTAL	40	96,4	7,0	105,9	9,1	118,4	9,5	141,7	9,9	139,7	10,2	155,7	9,2
GCNL	10	135,0	12,4	146,1	9,8	160,5	6,5	202,2	5,0	196,1	9,2	205,5	9,4
GCSV	10	132,5	4,2	163,0	7,9	176,5	11,0	192,5	9,6	194,5	10,4	207,0	9,5
GENL	10	53,0	5,7	49,5	7,9	66,0	10,9	91,0	7,8	83,0	11,5	107,5	5,8
GESV	10	66,1	4,3	65,0	6,6	70,0	7,3	81,1	8,5	85,5	5,0	102,7	7,31

Na ANOVA para movimentos corretos para ST e SNT (Tabela 13, Figura 8) foram encontrados efeitos significativos para a interação Grupo*Seqüência, seqüência*avaliação, e seqüência*avaliação*grupo.

Tabela 13: ANOVA 4X6X2 (Grupo X Avaliação X Seqüência), para verificar efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV), das avaliações (AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) e das seqüências (ST e SNT) sobre movimentos corretos.

	SS	Grau de Liberdade	MS	F	p
Grupo	904334	3	301445	64,336	0,000000
Error	159307	34	4685		
Seqüência	74501	1	74501	107,370	0,000000
Seqüência*Grupo	16602	3	5534	7,975	0,000369
Error	23592	34	694		
Avaliação	226859	5	45372	101,802	0,000000
Avaliação*Grupo	15048	15	1003	2,251	0,006546
Error	75767	170	446		
Seqüência*Avaliação	27989	5	5598	23,836	0,000000
Seqüência*Avaliação*Grupo	9059	15	604	2,572	0,001732
Error	39924	170	235		

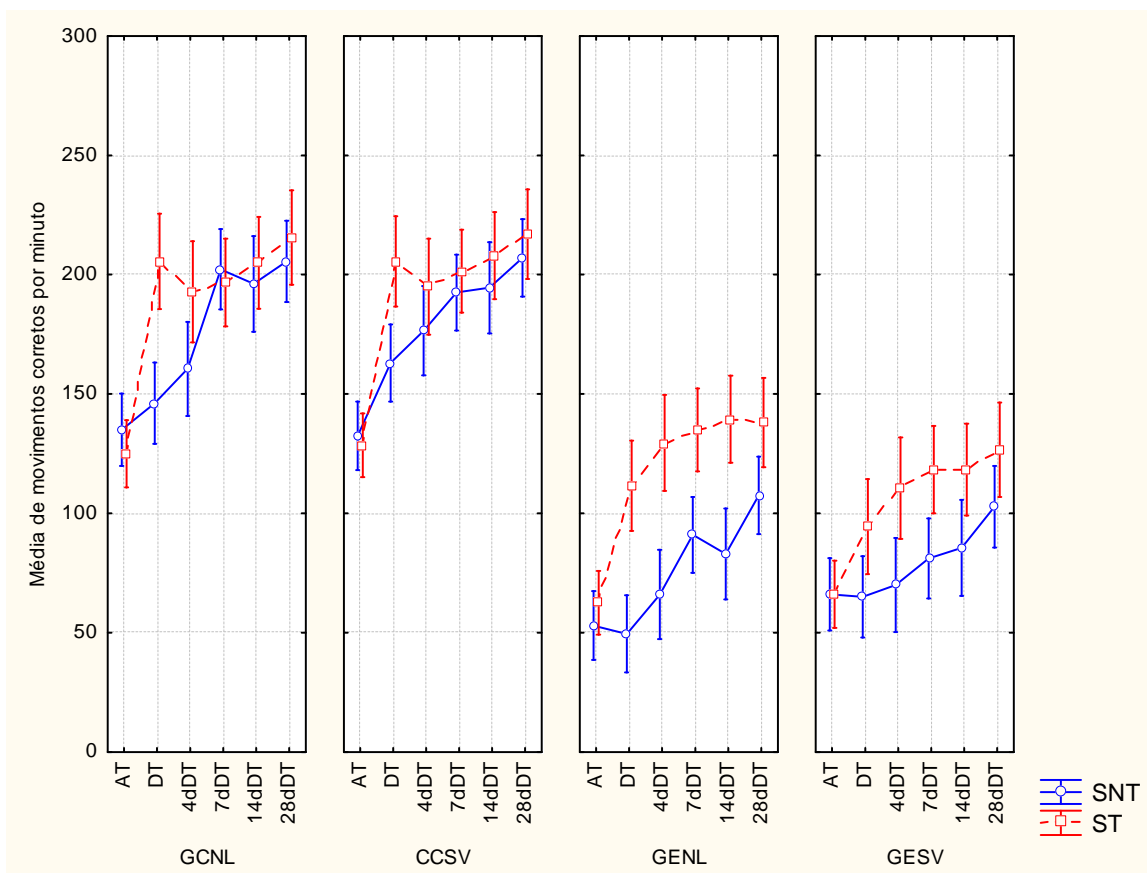


Figura 8: Média de Movimentos corretos (expresso na ordenada) para as seqüências treinada (ST) e não-treinada (SNT) em cada uma das avaliações (expresso na abscissa) nos 4 grupos. As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. $F(15,178) = 2,572$; $p\text{-value} < 0,001732$.
 Legenda: GCNL (grupo controle normal), CCSV (grupo controle sem visão), GENL (grupo experimental normal), GESV (grupo experimental sem visão).

A interação grupo*seqüência demonstrou no pós-teste que as crianças mantiveram durante todo o experimento uma diferença significativa entre ST e SNT, independente da condição de treinamento (Tabela 14)

Tabela 14: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito grupo*sequencia para a seqüência treinada (ST) e seqüência não treinada (SNT) em relação aos movimentos corretos.

	<i>GCNL</i>	<i>GCSV</i>	<i>GENL</i>	<i>GESV</i>
ST x SNT	----	----	0,000000	0,002149

A interação seqüência*avaliação demonstrou no pós-teste que, independente do grupo, as seqüências comportaram-se de modo diferente, com melhora mais rápida da ST logo após o treinamento (mantendo-se estável a partir do 4dDT) e melhora mais lenta da SNT (Tabela 15).

Tabela 15: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito seqüência*avaliação para a seqüência treinada (ST) e seqüência não treinada (SNT) em relação aos movimentos corretos.

	<i>ST</i>	<i>SNT</i>
AT x DT	0,000000	----
AT x 4dDT	0,000000	0,000165
AT x 7dDT	0,000000	0,000000
AT x 14dDT	0,000000	0,000000
AT x 28dDT	0,000000	0,000000
DT X 4dDT	----	----
4dDT x 7dDT	----	0,000035
7dDT x 14dDT	----	----
14dDT x 28dDT	----	0,042962

Em síntese, o comportamento entre as seqüências foi diferentes entre os grupos sendo que, apesar das duas seqüências terem apresentado melhora, para as crianças elas mantiveram-se diferentes em todas as avaliações. Para os adultos, não houve diferenças entre as seqüências.

5.2.2 Análise do Índice de Generalização (IG)

As Médias e Desvio-padrão (DP) dos resultados do Índice de Generalização (IG) estão demonstrados na Tabela 16. Como podemos observar, os adultos apresentam índice de generalização maior próximo de 1 em todas as avaliações, o qual é indicativo de melhor generalização.

Tabela 16: Médias e desvios-padrão (DP) dos Índices de generalização nas avaliações (DT, 4dDT, 7Ddt, 14dDT e 28dDT) para adultos e crianças (GE e GC) nas duas condições de treinamento (CV e SV)

	N	IGDT		IG4dDT		IG7dDT		IG14dDT		IG28dDT	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
GCNL	40	0,66	0,03	0,71	0,04	0,84	0,04	0,82	0,03	0,87	0,02
GCSV	10	0,71	0,02	0,84	0,02	1,03	0,07	0,94	0,01	0,96	0,01
GENL	10	0,79	0,02	0,89	0,02	0,94	0,02	0,93	0,02	0,94	0,01
GESV	10	0,40	0,04	0,44	0,10	0,61	0,08	0,63	0,08	0,74	0,04
GESV	10	0,68	0,06	0,59	0,07	0,65	0,04	0,73	0,01	0,79	0,05

Na ANOVA para o Índice de Generalização (Tabela 17, Figura 9), foram encontrados efeitos significativos para grupo, avaliação e para a interação entre eles, demonstrando que os grupos comportam-se de maneira diferente em relação às avaliações

Tabela 7: ANOVA 4X5 (Grupo X Avaliação), para verificar efeito do Grupo (GCNL, GCSV, GENL, GESV) e das avaliações (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT) sobre o Índice de Generalização

	SS	Grau de Liberdade	MS	F	p
Grupo	3,5677	3	1,1892	25,560	0,00000
Error	1,4423	31	0,0465		
Avaliação	1,1162	4	0,2790	21,525	0,00000
Avaliação*Grupo	0,4389	12	0,0366	2,822	0,001896
Error	1,6074	124	0,0130		

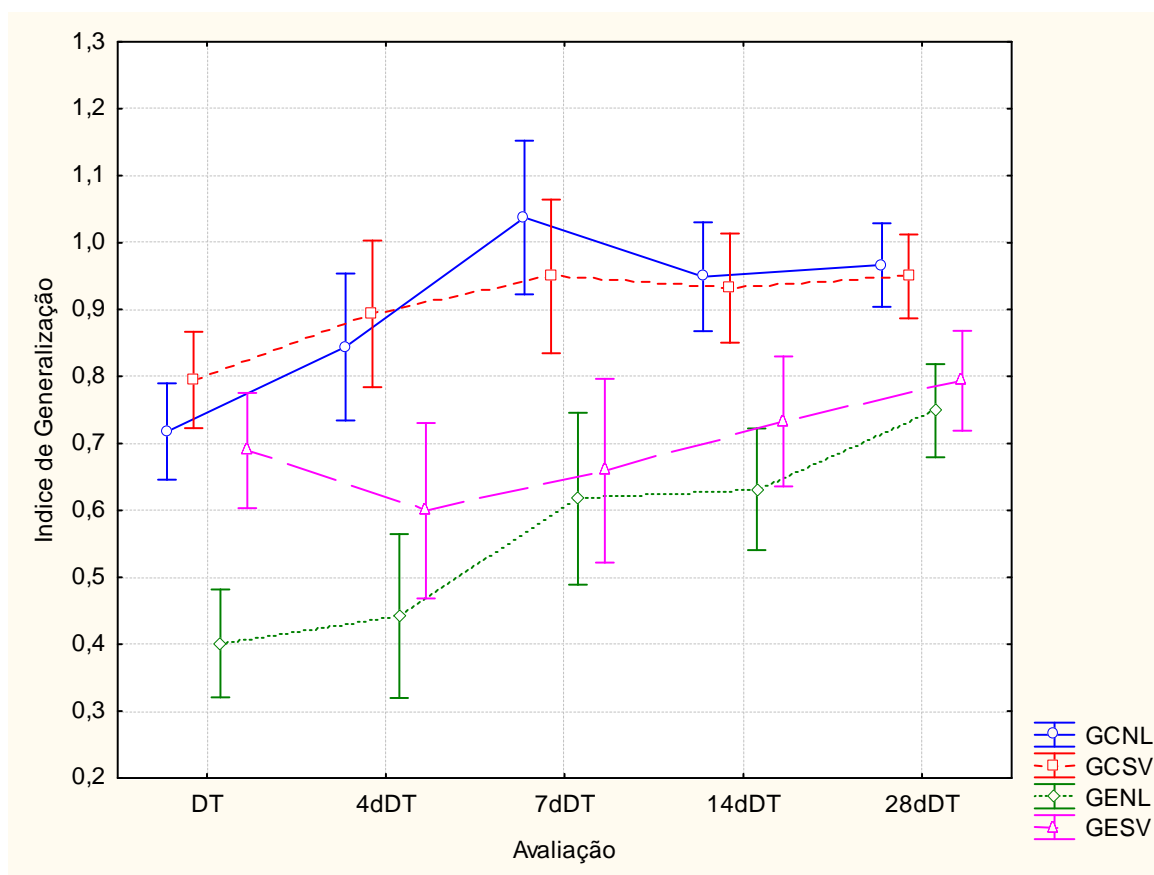


Figura 9: Média do Índice de Generalização (expresso na ordenada) entre as seqüências treinada (ST) e não-treinada (SNT) em cada uma das avaliações (expresso na abscissa) nos 4 grupos. As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. $F(12, 124)=2,8218$, $p=,00190$.
 Legenda: GCNL (grupo controle normal), GCSV (grupo controle sem visão), GENL (grupo experimental normal), GESV (grupo experimental sem visão).

O efeito de grupo foi confirmado pelo pós-teste demonstrando que crianças generalizaram menos do que os adultos, independente da condição de treino (Tabela 18). Estes dados podem ser confirmados pelas médias do IG apresentadas na tabela 16, na qual verificamos que os índices para adultos estão mais próximos de 1.

Tabela 18: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito do grupo para o Índice de Generalização

<i>GRUPO</i>	<i>Interação no Pós- teste</i>
GCNL x GCSV	----
GCNL x GENL	0,000001
GCNL x GESV	0,001694
GCSV x GESV	0,001614
GCSV x GENL	0,000001
GENL x GESV	----

No pós-teste para efeito de grupo*avaliação, pudemos verificar que, para os grupos que treinaram com visão, houve diferença significativa no IG entre adultos e crianças na avaliação DT que se manteve até 14dDT. Para os grupos que treinaram sem visão, houve diferença apenas nas avaliações 4dDT e 7dDT (Tabela 19)

Tabela 19: Pós-teste Scheffé para múltiplas comparações, duas a duas, para verificar o efeito grupo*avaliação para o Índice de Generalização

	<i>DT</i>	<i>4dDT</i>	<i>7dDT</i>	<i>14dDT</i>	<i>28dDT</i>
GCNL x GCSV	---	---	---	---	---
GCNL x GENL	0,001130	0,000165	0,000163	0,001087	---
GCSV x GESV	---	0,006765	0,008226	---	---
GENL x GESV	0,017715				

Em síntese, crianças, independente da condição de treino apresentaram dificuldade de generalização em relação aos adultos, particularmente o grupo que treinou com visão. No entanto devemos considerar que o IG foi calculado por MCSNT/MCST e que o GESV, conforme demonstrado anteriormente, teve um pior desempenho para a ST, apresentando uma habilidade em aumentar a velocidade por meio do treino menos expressiva em relação aos outros grupos. Sendo assim, por apresentar menor diferença no desempenho entre as seqüências treinada e não treinada, o IG passou a ser mais alto não refletindo, no entanto, uma melhor capacidade de generalização. O contrário pôde ser observado para os adultos, os quais alcançaram um melhor desempenho para ST e para a SNT. Sendo assim, o índice de generalização próximo de 1 reflete uma efetiva capacidade de generalização da seqüência.

6. DISCUSSÃO

O objetivo deste trabalho foi verificar se, com a mesma quantidade de treino, o aprendizado de movimentos seqüenciais de dedos ocorreria na mesma velocidade e com a mesma eficiência para adultos e crianças. A hipótese de que diferenças na aprendizagem possam existir, sustenta-se pelo fato de que o cérebro humano passa por modificações estruturais até atingir sua maturidade e essas modificações estão associadas a diferenças funcionais, que, por sua vez, poderiam interferir na aquisição de uma nova habilidade motora.

A escolha da tarefa baseou-se, entre outros fatores, na importância de movimentos seqüenciais em diversas atividades do cotidiano, relacionadas não apenas à função motora propriamente dita, mas também a outras funções superiores, como linguagem e memória episódica (ASHE, et al, 2006). Diferenças na capacidade de aquisição de tarefas seqüenciais, portanto, poderiam também explicar outras diferenças funcionais encontradas entre faixas etárias.

Como pudemos verificar, tanto crianças quanto adultos beneficiaram-se da sessão de treinamento, com aumento na velocidade não apenas para realizar movimentos de oposição de dedos (MT), mas também na velocidade para executá-los dentro de uma seqüência específica (MC), comportamento observado mesmo 28 dias depois do treino. Segundo Hauptmann et al. (2005), o treinamento, portanto, teria sido suficiente para que os sujeitos atingissem o “ponto de saturação” para a tarefa em questão, fator crítico para induzir processos tardios de aprendizagem (consolidação) tempo-dependentes. Isto pôde ser verificado pelas reavaliações da tarefa após o treino, nas quais tanto adultos quanto crianças atingiram o platô de

desempenho, que se manteve no decorrer das reavaliações. A partir disso poderíamos dizer que houve mudanças na performance a longo prazo decorrentes de mudanças estruturais, de maneira semelhante para adultos e crianças, como manifestação da consolidação do processo (KARNI et al., 1998). Em outras palavras, crianças e adultos foram capazes de aprender uma tarefa seqüencial de dedos após uma única sessão de treinamento.

No entanto, quando comparamos movimentos totais (MT), ou seja, número de movimentos puros de oposição de dedos, e movimentos corretos (MC), capacidade de executar os mesmos movimentos, porém dentro da seqüência que foi treinada, observamos que as crianças apresentaram um prejuízo na performance em relação aos adultos. Sendo assim, o efeito do treino sobre a velocidade de movimentos de oposição de dedos dentro de uma seqüência correta foi diferente para adultos e crianças.

A realização de um movimento voluntário envolve diversas etapas: inicia-se com uma representação interna (ou seja, uma imagem do resultado desejado do movimento – que, no caso deste estudo, seria a seqüência do movimento), seguida pela construção do ato motor (montagem e coordenação dos componentes elementares, como, por exemplo, pela seleção de sinergias musculares) até a execução propriamente dita (iniciação dos movimentos) (KANDEL, 1997). Cada etapa está relacionada a estruturas cerebrais distintas, que por sua vez, apresentam diferentes tempos de maturação durante o desenvolvimento (HUTTENLOCHER e DABHOLKAR, 1997; CASEY et al, 2005).

De modo geral, estudos de imagem e sobre metabolismo cerebral demonstram que áreas relacionadas a funções primárias (como o córtex motor

primário, diretamente envolvido na execução dos movimentos, e o cerebelo, envolvido na coordenação motora) já atingiram a maturidade na infância, enquanto áreas relacionadas a funções cognitivas superiores (como áreas pré-frontais e pré-motoras, relacionadas a representações internas dos movimentos) ainda continuam se desenvolvendo até aproximadamente a segunda década de vida (CHUGANI, 1987, HUTTENLOCHER e DABHOLKAR, 1997; CASEY et al, 2005).

Sendo assim, as diferenças entre adultos e crianças na capacidade de realizar movimentos numa seqüência específica, não estariam relacionadas à execução ou coordenação dos movimentos, mas sim a diferenças na representação interna deste movimento ou, como se trata de um processo de aprendizagem, na construção dessa representação. Importante ressaltar que, quando falamos sobre aprendizagem, estamos nos referindo aos efeitos que um treinamento específico (capacidade de executar movimentos numa seqüência correta) exerce sobre o desempenho de uma tarefa. Portanto, mesmo que as crianças sejam mais lentas para realizar os movimentos (o que pode demonstrar alguma deficiência executora) quando nos referimos que as diferenças entre adultos e crianças não estão relacionadas a diferenças na execução, significa que a forma como o treino incrementa o desempenho é a mesma para esses grupos. Isto sugere, portanto, que essas diferenciações provavelmente estão relacionadas a outros fatores, como à construção do movimento.

Para alguns autores, o resultado destas construções poderia ser denominado modelo interno, ou seja, uma representação neural que mimetiza o comportamento do sistema sensório-motor e dos objetos no ambiente (WOLPERT et al, 1995; KAWATO e WOLPERT, 1998). Esses modelos permitem que o sistema nervoso

central seja capaz de prever quais as conseqüências dos comandos motores (modelo interno antecipatório), assim como transformar conseqüências sensoriais desejadas nos comandos motores que possibilitam alcançá-las (modelo interno inverso), o que na prática é visto pela flexibilização do comportamento, e pela utilização do conhecimento adquirido em experiências prévias em situações nunca vivenciadas (KAWATO e WOLPERT, 1998; IMAMIZU et al, 2007). Tais processos perceptuais e motores são resultado de “decisões” e, portanto, mediados pela cognição. A aprendizagem motora, dessa forma, surgiria não apenas de um processo percepção/ação, como classicamente descrito, mas de um processo mais complexo de percepção/cognição/ação (SCHUMWAY-COOK e WOOLACOTT, 2003; SHERWOOD e LEE, 2003).

A importância da cognição para a ação tem sido bastante explorada em diversos estudos. Von Hofsten (2007) propõe que ação e cognição são mutuamente dependentes e que juntas formam um sistema funcional, mobilizado a partir de “motivos”, por meio do qual o comportamento adaptativo se desenvolve. Essa adaptação do ser humano está relacionada à sua capacidade de antecipar o que irá acontecer a seguir, mais do que reagir, o que só é possível porque os eventos são regulados por regras e regularidades: em termos de controle motor (inércia, gravidade), relativas à tarefas específicas (como preensão de um objeto) ou mesmo regras sociais, que permitem, por exemplo, a comunicação. Tal controle prospectivo da ação parece estar presente desde o nascimento (VON HOFSTEN, 2004), no entanto, para cada modo de ação que se desenvolve, novos problemas prospectivos da construção do movimento surgem, e requer tempo para que se descubram modos de se resolvê-lo.

Se considerarmos a tarefa de executar movimentos numa seqüência determinada como um novo “modo de ação”, durante o processo de aprendizagem os sujeitos devem, então, construir um novo modelo que resolva os “problemas prospectivos”. O resultado dessa construção é o que chamamos modelo interno e a “descoberta” das regras que permeiam esta nova ação é o que chamamos de “cognição motora” (JACKSON e DECETY, 2004).

Conforme mencionado anteriormente, mudanças cerebrais estruturais durante o desenvolvimento estão relacionadas a diferenças funcionais encontradas entre adultos e crianças, especialmente para funções cognitivas superiores (CASEY et al., 2000; ANDERSEN et al., 2003; NAGY et al., 2004; CASEY et al., 2005). Sendo assim, por ser a cognição de grande importância para a construção de modelos internos, o prejuízo no desempenho das crianças em executar movimentos corretos poderia se explicado pela dificuldade na formação desses modelos.

Outra evidência que contribui para essa idéia é a diferença na capacidade de generalização da tarefa para a seqüência não treinada, na qual as crianças apresentaram prejuízo em relação aos adultos.

Isto foi evidenciado pela análise de movimentos corretos para a seqüência treinada (ST) e para a seqüência não treinada (SNT), que demonstrou que crianças, independentemente das avaliações mantém diferenças significativas no desempenho entre as duas seqüências. Sendo assim, apesar de terem apresentado ganhos no desempenho da SNT no decorrer das avaliações, isto não foi significativo a ponto ser considerado parte do processo de generalização. É possível que o incremento na performance da SNT seja resultado do “treino adicional” de 1 minuto a cada reavaliação. Outro dado que confirma a hipótese de que crianças apresentam

prejuízo na generalização da tarefa foi obtido pelo Índice de Generalização, que demonstrou que os adultos apresentam capacidade significativamente maior em generalizar o aprendizado, com melhora no desempenho não apenas para a ST (acima do que foi verificado para as crianças) assim como da SNT.

Quando aprendemos uma tarefa, partimos de um modelo interno “vazio” que, com o treino, passa a representar regras que podem ser aplicadas a diferentes situações dentro da mesma tarefa, sendo esta capacidade de generalização do aprendizado motor, portanto, uma propriedade fundamental do sistema motor para adaptação do indivíduo (GENTILI et al, 2006). A aquisição da memória do modelo interno, no entanto, é apenas o primeiro passo na seqüência de eventos que resultará na sua representação a longo-prazo. O processo de consolidação progride de um estágio frágil para um estágio menos vulnerável à presença de outra tarefa realizada subsequente (SHADMEHR, 2004).

Observando nossos resultados pudemos verificar que as crianças conseguiram formar um modelo interno para a tarefa (evidenciado pela melhora do desempenho mesmo após o término do treinamento), porém provavelmente este aprendizado não teria consolidado a ponto de permitir que a experiência adquirida com a tarefa favorecesse o aprendizado de novas seqüências, sendo passível de generalização (HIKOSAKA et al., 1999).

Manoel e Tani (apud FREUDENHEIM, 2005) propuseram que a aquisição de habilidades motoras compreenderia duas fases: estabilização e adaptação, sendo a primeira fase relacionada à formação de um programa de ação e a segunda relacionada à reorganização dessa estrutura, permitindo um aumento de sua complexidade (FREUDENHEIM e MANOEL, 1999).

Como pudemos observar, todos os grupos teriam atingido a fase de estabilização, o que foi verificado pela manutenção da performance mesmo 28 dias após o treinamento. No entanto, mesmo tendo sido alcançado ponto de saturação intra-sessão, desencadeando assim a consolidação do processo, para as crianças, talvez com treinamento extensivo elas conseguissem construir melhor o modelo interno, e assim uma maior flexibilização do comportamento. Para os adultos, a quantidade de treino realizada já teria sido suficiente, permitindo a generalização da tarefa.

Jansen-Osmann et al (2002), para explicar as diferenças encontradas entre adultos e crianças (6-10 anos) numa tarefa de adaptação a um campo de força, propõe que para as crianças os modelos internos seriam representações neurais ainda imprecisas. Sendo assim, as crianças, assim como os adultos, seriam capazes de formar um modelo interno e generalizá-lo para regiões não treinadas, porém demoraram mais tempo para se readaptar ao campo de força do que os adultos, demonstrando o efeito da idade para esta tarefa.

Diferenças, entre adultos e crianças, em relação à consolidação da aprendizagem de uma tarefa de movimentos seqüenciais de dedos (mais precisamente na susceptibilidade à interferência do processo), foram encontradas por Dorfberger et al (2007). Segundo os resultados encontrados, crianças de 9 e 12 anos, ao contrário das crianças de 17 anos (que apresentam comportamento semelhante ao dos adultos) apresentaram menor susceptibilidade à interferência no processo de consolidação frente a um treinamento subsequente, demonstrando que a formação de uma memória motora a longo-prazo seria qualitativamente diferente antes e depois da adolescência. Apesar destes dados parecerem contraditórios aos

que vínhamos demonstrando até agora, uma das possíveis hipóteses levantadas pelos autores é de que o treinamento com uma seqüência ou outra representariam diferentes parâmetros de experiência entre adultos e crianças, levando a mudanças diferentes na representação dos movimentos antes e depois da adolescência. Sendo assim, é possível que para as crianças o treino de uma seqüência específica possa ter afetado na performance de um componente individual mais do que na regra geral da tarefa, como no caso dos adultos. No caso do nosso trabalho, não foi realizado treino subsequente da seqüência não-treinada, mas se considerarmos que cada nova reavaliação funcionasse como “treinamento extensivo”, no caso das nossas crianças este treinamento não estaria reforçando o modelo interno já criado para a seqüência treinada, mas sim, estaria sendo criando um novo modelo interno, o que explicaria, portanto, a dificuldade de generalização encontrada nas crianças.

Por fim, uma última evidência que suporta a hipótese sobre diferenças na formação de modelos internos, é o papel da visão durante o treino.

Apesar de não termos encontrado diferenças estatisticamente significantes entre os grupos que treinaram com e sem visão, quando analisamos as curvas de aprendizagem para movimentos totais (MT) e movimentos corretos (MC), observamos comportamentos distintos entre adultos e crianças. Para realizar apenas movimentos de oposição de dedos independentemente da seqüência, a condição de treinamento não pareceu interferir no desempenho, tanto para adultos quanto para crianças, observado pela proximidade das curvas. No entanto, quando analisamos o desempenho para realizar movimentos dentro da seqüência treinada (MC), somente para as crianças, o comportamento das curvas nas condições com e sem visão modificou-se, com prejuízo na performance do grupo que realizou o treinamento sem

visão, observado pelo afastamento das curvas, que se manteve até a última avaliação.

Importante ressaltar, no entanto, que todas as avaliações foram feitas sem restrição visual, ou seja, os sujeitos poderiam controlar os movimentos executados visualmente, sendo somente o treino realizado em diferentes condições sensoriais. Sendo assim, diferenças na importância da aferência visual não estariam relacionadas ao controle *on line* da tarefa, ou seja, na detecção de erros, mas sim à utilização dessa informação na construção da representação do movimento. Isso se confirma pelo fato das crianças que treinaram sem visão só terem apresentado prejuízo da performance quando foi considerado apenas os movimentos realizados numa dada seqüência (o que exigiu a construção de um modelo interno de movimento); no entanto, o mesmo não foi observado analisamos apenas a capacidade de opor dedos (MT). Esses dados, portanto, demonstram que a visão, para as crianças, teria um papel importante na construção de modelos internos.

Williams e cols (2002) avaliaram se havia diferença quanto à importância da visão na intercepção de uma bola entre crianças de 8, 10 e 12 anos, com e sem experiência prévia. Os resultados deste estudo fornecem duas evidências importantes: (1) que a visão pode ser utilizada para o planejamento de ações futuras ou na detecção das informações importantes do ambiente (verificado pela maior dificuldade na construção do modelo interno por parte das crianças); e (2) a experiência prévia tem influência na programação motora, o que pode ser entendido como capacidade de generalização, e assim diminui a importância de informações sensoriais no controle dos movimentos. Se considerarmos que os adultos teriam um maior repertório motor e isto facilitaria a performance independentemente de

aferências sensoriais. Resultados semelhantes foram demonstrados em outro trabalho no nosso laboratório (KOPCZYNSKI, 2006).

Neste estudo foi analisado desempenho imediato e até 28 dias depois de uma única sessão de treino em 40 indivíduos jovens saudáveis para uma tarefa seqüencial de dedos sob 4 diferentes condições de restrição sensorial: (1) nenhuma restrição; (2) restrição das aferências visuais; (3) restrição das aferências visuais e táteis e (4) restrição completa de aferências (prática mental). Os resultados demonstraram que a condição de treino não influenciou o desempenho imediato e tardio, tanto em termos de acurácia como de velocidade para esta tarefa. Podemos então concluir que informações sensoriais não seriam, portanto, fundamentais para esta tarefa para a formação de modelos internos em adultos sendo possível, inclusive, construí-los inclusive apenas com prática mental.

Tomados em conjunto os dados obtidos em nosso estudo demonstram que existem diferenças no processo de aprendizagem motora de uma tarefa de movimentos seqüenciais de dedos encontradas entre crianças e adultos e que essas diferenças podem ser atribuídas a uma deficiência na formação e consolidação de modelos internos por parte das crianças, o que é ainda mais intensificado na ausência da informação visual. Isto pôde ser verificado pelo prejuízo da performance em realizar movimentos de oposição de dedos dentro de uma seqüência específica assim como pela não generalização da tarefa para a seqüência não treinada. A restrição visual durante o treino levaria a falhas ainda maiores na construção desse modelo, de tal modo que, o prejuízo no desempenho mantém-se mesmo quando a informação visual é viabilizada. Essas diferenças provavelmente estão relacionadas

a funções cognitivas, muito importantes para a construção da ação, ainda em desenvolvimento na idade entre 9 e 10 anos.

A partir deste trabalho foi possível caracterizar o processo de aprendizagem em crianças, assim como adquirir um melhor entendimento de quais fatores o influenciam, evidenciando a estreita relação entre cognição e ação. A tarefa escolhida é de grande relevância para atividades rotineiras, não apenas por serem movimentos seqüenciais, mas por obedecerem a uma ordem específica, tais como os necessários para realizarmos atividades funcionais. Se pensarmos num movimento simples de preensão de um objeto, veremos que os movimentos nas diversas articulações devem ser coordenados, ou seja, organizados numa ordem específica para que a tarefa seja realizada com sucesso. O mesmo vale para se tocar uma música no piano: a seqüência das notas é o que transformará simples movimentos de dedos em melodias.

Além disso, os dados obtidos fornecem *insights* importantes para a prática clínica, permitindo uma diferenciação de experiências de aprendizagem oferecidas dentro de um programa de reabilitação entre adultos e crianças.

Sendo assim, devemos considerar que, mais do que realizar um treinamento puramente motor (execução), devemos auxiliar na construção da ação, o que, como vimos, envolve muito mais aspectos cognitivos do que motores. Especialmente nos estágios iniciais da aprendizagem, conforme descrito por Fitts e Posner (apud FREUDENHEM), informações cognitivas auxiliam na decodificação declarativa da tarefa, nos processos de seleção da resposta e planejamento adequado para a tarefa, e, portanto, assim como habilidades motoras, necessitam de treino (SHERWOOD e LEE, 2003). Crianças também demonstram dificuldades em utilizar

estratégias cognitivas para melhorar a performance (THOMAS, 2000), outra característica importante de ser melhor explorada. A própria imaginação motora por prática mental, evidência da existência de modelos internos, também pode ser utilizada: o terapeuta auxiliaria na construção da imagem do movimento, o que poderia ser facilitado também pela observação da execução do movimento por outras pessoas. Como vimos, a informação visual também é de grande importância e, portanto, pode facilitar o aprendizado, não apenas para a correção do movimento, mas no planejamento deste.

Dentre os trabalhos que podem contribuir para um melhor entendimento das diferenças no processo de aprendizagem estão: (1) comparar a aquisição, consolidação e generalização de uma tarefa após treino único e treino extensivo, para verificar se com maior quantidade de treino as crianças teriam condições de construir um modelo interno mais consistente, e assim possibilitar uma maior generalização da tarefa; (2) comparar a capacidade de transferência intermanual da tarefa e sua relação com a dominância manual, sendo esta uma evidência importante na qual se sustenta a existência de modelos internos e que, portanto pode fornecer evidências mais diretas sobre esse processo; (3) verificar se o tamanho da seqüência interfere no desempenho, uma vez que pode aumentar o grau de complexidade da tarefa; e, (4) comparar a eficiência de um treinamento puramente motor e um treino de representação de seqüências, focalizando nos aspectos mais cognitivos da tarefa.

7. CONCLUSÃO

A partir da análise do desempenho motor em uma tarefa de oposição de dedos pudemos verificar que existem diferenças no processo de aprendizagem motora entre crianças de 09 e 10 anos e adultos. Estas diferenças estariam mais relacionadas a um prejuízo na construção de modelos internos de movimento, do que à execução da tarefa, o que pode estar associado a diferenças na maturação do sistema nervoso, ainda em desenvolvimento. A informação visual realçou ainda mais tais diferenças, demonstrando a importância da informação sensorial, para as crianças, na construção desses modelos

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, S.L. Trajectories of brain development: point of vulnerability or window of opportunity? **Neuroscience and Behavioral Reviews**, v. 27, p. 3-18, 2003.

ASHE, J., et al. Cortical control of motor sequences. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 16, p. 213-221, 2006.

BAPI, R.S.; DOYA, K.; HARNER, A.M. Evidence for effector independent and dependent representations and their differential time course of acquisition during motor sequence learning. **Exp. Brain Res.**, v. 132, p.149-162, 2000.

CASEY, B.J., et al. Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? **Trends in Cognitive Sciences**, v.9, p. 104-110, 2005.

CASEY, B.J; GIEDD, J.N.; THOMAS, K.M. Strustural and functional development and its relation to cognitive development. **Biological Psychology**, v. 54, p. 241-257, 2000.

CHUGANI, H.T.; PHELPS, M.E.; MAZZIOTTA, J.C. Positron emission tomography study of human brain functional development. **Annals of Neurology**, v. 22, p. 487-497, 1987.

CLARK, J.E.; OLIVEIRA M.A. Motor behavior as a scientist field: A view from the start of the 21st Century. **Brazilian Journal of Motot Behavior**, v. 1, n. 1, p. 1-19, 2006.

DECETY, J.; GRÈZES, J. The power of simulation: Imagining one's and other's behavior. **Brain Research**, v. 1079, p. 4-14, 2006.

DIGIULIO, D.V., et al. Procedural and Declarative Memory: A Developmental Study. **Brain and Cognition**, v. 25, p. 79-91, 1994.

DORFBERGER, S. ; ADI-JAPHA, E. ; KARNI, A. Reduced Susceptibility to Interference in the consolidation of Motor Memory before Adolescence. **PloS ONE**, v. 2, e240, 2007.

DOYON, J.; et al. Role of striatum, cerebellum and frontal lobes inthe automatization of a repeated visumotor sequence of movements. **Neuropsychologia**. v. 36, n. 7, p. 625-641, 1998.

FLOYER-LEA, A.; MATTHEWS, P.M. Changing brain networks for visuomotor control with increased movement automaticity. **Journal of Neurophysiology**, v. 92, n. 4, Oct. 2004.

FLOYER-LEA, A.; MATTHEWS, P.M. Distinguishable Brain Activation Networks for Short- and Long-Term Motor Skill Learning. **Journal of Neurophysiology**, v. 94, p. 512-518, 2005.

FREUDENHEIM, A.M. Estabilidade e Variabilidade na Aquisição de Habilidades Motoras. In: TANI, G. **Comportamento Motor: aprendizagem e desenvolvimento**. São Paulo, SP: Guanabara Koogan, 2005. Capítulo 9, p.117-128.

FREUDENHEIM, A.M.; MANOEL, E.J. Organização hierárquica e a estabilização de um programa de ação: um estudo exploratório. **Rev. Paul. Educ Fís.**, v. 13, n. 2, p. 177-196, 1999.

GENTILI, R.; PAPAXANTHIS, C.; POZZO, T. Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. **Neuroscience**, v. 137, p.761-772, 2006.

GIEDD, J. N., et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. **Nature Neuroscience**, v. 2, n. 10, p. 861-863, 1999.

HALSBAND, U.; LANGE, R.K. Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. **Journal of Physiology**, v. 99, p. 414-424, 2006.

HAUPTMANN, B.; et al. The predictive value of the leveling off of within session performance for procedural memory consolidation. **Brain Res. Cogn. Brain Res.**, v. 24, n. 2, p. 181-89, 2005.

HIKOSAKA, O. et al. Learning of sequential movements in monkey: process of learning and retention of memory. **Journal of Neurophysiology**, v. 74, n. 4, p. 1652-1661, Oct. 1995.

HIKOSAKA, O., et al. Differential Roles of the Frontal Cortex, Basal Ganglia, and Cerebellum in Visuomotor Sequence Learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 70, p. 137-149, 1998.

HIKOSAKA, O.; et al. Parallel neural networks for learning sequential procedures. **Trends Neurosci.**, v. 22, p. 464-471, 1999.

HIKOSAKA, O., et al. Activation of human presupplementary motor area in learning of sequential procedures: a functional MRI study. **Journal of Neurophysiology**, v.76, n. 1, p. 617-621, 1996.

HITCH, G. J., et al. Visual limits children's working memory span? Theoretical accounts and applications for scholastic development. **Journal of Experimental Psychology: General**, v. 130, p. 184-198, 1998.

HUTTENLOCHER, P.R. Synaptic Density in Human Frontal Cortex – Developmental Changes and effects of Aging. **Brain Research**, v. 163, p.195-205, 1979.

HUTTENLOCHER, P.R.; DABHOLKAR, A. S. Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. **The J. of Comparative Neurology**, v.387, p. 167-178, 1997.

IMAMIZU, H., et al. Explicit contextual information selectively contributes to predictive switching of internal models. **Exp. Brain Res.**, v.181, p.395-408, 2007.

JACKSON, P. L. et al. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. **Neuroimage**, v. 20, p. 1171-1180, Jun. 2003.

JACKSON, P. L.; DECETY, J. Motor Cognition: a new paradigm to study self-other interactions. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 14, p. 259-263, 2004.

JANSEN-OSMANN, P., et al. Force adaptation transfer to untrained workspace regions in children- Evidence for developing inverse dynamic motor models. **Exp. Brain Res.**, v. 143, p.212-220, 2002.

JOHNSON, M. H. Development of human brain functions. **Biological Psychiatry**, v. 54, p. 1312-1316, 2003.

JUEPTNER, M. et al. Anatomy of Motor Learning I. Frontal Cortex and Attention to Action. **Journal of Neurophysiology**, 1997.

JUEPTNER, M., et al. Anatomy of motor learning II: subcortical structures and learning by trial and error. **Journal of Neurophysiology**, v. 77, p. 1325-1337, 1997.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M. **Fundamentos da Neurociência e do Comportamento**. s/e. Rio de Janeiro, R.J: Ed. Prentice-Hall do Brasil LTDA., 1997. 591p.

KARNI, A., BERTINI, G. Learning perceptual skills: behavioral probes into adult cortical plasticity. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 7, p. 530-535, 1997.

KARNI, A., et al. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during skill learning. **Nature**, v. 377, p. 155-158, 1995.

KARNI, A., et al. The acquisition of skilled motor performance : fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 95, p. 861-868, 1998.

KARNI, A.; Adult cortical plasticity and reorganization. **Science and Medicine**, p. 24-33, 1997.

KERR, R. Movement Control and Maturation in Elementary - Grade Children. **Perceptual and Motor Skills**, v. 41, p. 151-154. 1975.

KLINGBERG, T. Developmental of a superior frontal-intraparietal network for visuo-spatial working memory. **Neuropsychologia**, v. 44, p. 2171-2177, 2006.

KONRAD, K. et al. Development of attentional networks: An fMRI study with children and adults. **Neuroimage**, v. 28, p. 429-439. 2005.

LACOURSE, M.G., et al. Brain activation during execution and motor imagery of novel and skilled sequential hand movements. **Neuroimage**, v. 27, p. 505-519, 2005.

MEULEMANS, T.; LINDEN, M. V.; PERRUCHET, P. Implicit sequence learning in children. **J. of Exp. Child Psychology**, v. 69, p. 199-221, 1998.

NAGY, Z.; WESTERBERG, H.; KLINGBERG, T. Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 16, n. 7, p. 1227-1233, 2004.

OLIVIER, I.; RIPOLL, H.; AUDIFFREN, M. Age differences in using precued information to preprogram interception of a ball. **Perceptual and Motor Skills**, v.85, p. 123-127, 1997.

PAUS, T. Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. **Cognitive Sciences**, v.9, n. 2, p.60-68, 2005.

POLDRACK, R. A. et al. Interactive memory systems in the human brain. **Nature**, v. 414, p. 546-550, 2001

POLDRACK, R. A. et al. Interactive memory systems in the human brain. **Nature**, v. 414, p. 546-550, 2001.

PULASKI, M.A.S. **Compreendendo Piaget - Uma introdução ao desenvolvimento cognitivo da criança**. Rio de Janeiro, R.J: Guanabara-Koogan, 1980. 230 p.

RAND, M.K. et al. Characteristics of sequential movements during early learning period in monkeys. **Exp. Brain Res.**, v. 131, p. 293-304, 2000.

SCHMIDT, R. A. Motor Schema Theory After 27 Years: Reflections and Implications for a New Theory. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 74, n. 4, p. 366-375, 2003.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Aprendizagem e Performance Motora: uma abordagem da performance baseada no problema**. 2 ed. Porto Alegre, R.S.: Artmed, 2001. 331p.

SCHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. **Controle Motor: teoria e aplicações práticas**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2003. 592 p.

SHADMEHR, R. Generalization as a behavioral window to the neural mechanisms of learning internal models. **Human Movement Science**, v.23, p. 543-568, 2004.

SHADMEHR, R.; MUSSA-IVALDI, F.A. Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. **The Journal of Neuroscience**, v.14, n. 5, p. 3208-3224, 1994.

SHERWOOD, D. E.; LEE, T. D. Schema theory: critical review and implications for the role of cognition in a theory of motor learning. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 74, n. 4, p. 376-382, 2003.

TANI, G. **Comportamento Motor: aprendizagem e desenvolvimento**. São Paulo, SP: Guanabara Koogan, 2005. 333p.

THOMAS, J.R. Children's Control, Learning, and Performance of Motor Skills. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 71, n. 1, p. 1-9, 2000.

THOMAS, K.M. et al. A developmental functional MRI study of spatial working memory. **Neuroimage**, v. 10, p. 327-338, 1999.

THOMAS, K.M.; NELSON, C.A. Serial reaction time learning in preschool-and school- age children. **Journal of Experimental Child Psychology**, v. 79, p. 364-387, 2001.

TIN, C.; POON, C. Internal models in sensorimotor integration: perspectives from adaptive control theory. Review. **Journal of Neural Engineering**, v. 2, p. S147-S163, 2005.

UNGERLEIDER, L.G.; DOYON, J.; KARNI, A. Imaging brain plasticity during motor skill learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 78, n. 3, p. 553-564, 2002.

VAN MIER, H. I.; PETERSEN, S. E. Intermanual transfer effects in sequential tactuomotor learning: evidence for effector independent coding. **Neuropsychologia**, v. 44, n. 6, p. 939-949, 2006.

VINTER, A.; PERRUCHET, P. Implicit Motor Learning through observational training in adults and children. **Memory & Cognition**, v. 30, n. 2, p. 256-261. 2002.

VON HOFSTEN, C. Action in development. **Developmental Science**, v. 10, n. 1, p. 54-60, 2007.

VON HOFSTEN, C. An action perspective on motor development. Review. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 8, n. 6, p. 266-272, 2004.

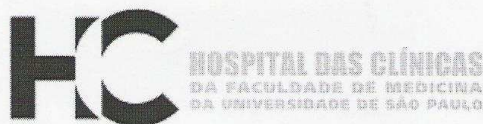
WILLINGHAM D. B. et al. Implicit motor sequence learning is represented in response locations. **Memory & Cognition**, v. 28, n. 3, p. 366-375, 2000.

WILLINGHAM, D. B. A neuropsychological theory of motor skill learning. **Psychological Review**, v. 105, n. 3, p. 558-584, 1998.

WILLINGHAM, D. B.; NISSEN, M. J.; BULLEMER, P. On the development of procedural knowledge. **Journal of Experimental Psychology**, v.15, n. 6, p. 1047-1060, 1989.

ANEXOS

ANEXO A – Aprovação da Comissão de Ética



DIRETORIA CLÍNICA

Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa**APROVAÇÃO**

A Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 26.08.04, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº **648/04**, intitulado: "Aprendizagem de uma nova habilidade motora em crianças normais" apresentado pelo Departamento de **FISIOTERAPIA, FONOAUDIOLOGIA E TERAPIA OCUPACIONAL**, inclusive o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Pesquisador(a) Responsável: **Sra. Maria Elisa Pimentel Piemonte**

CAPPesq, 26 de Agosto de 2004.

PROF. DR. CLAUDIO LEONE

Vice-Presidente da Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa

OBSERVAÇÃO: Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar à CAPPesq, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196, de 10.10.1996, inciso IX.2, letra "c")

ANEXO B – Termo de consentimento livre e esclarecido

Anexo I
HOSPITAL DAS CLÍNICAS
 DA
 FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
 (Instruções para preenchimento no verso)

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME DO PACIENTE :

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : M F

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE

CEP: TELEFONE: DDD (.....)

2. RESPONSÁVEL LEGAL

NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)

DOCUMENTO DE IDENTIDADE : SEXO: M F

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO: Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONE: DDD (.....)

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: Aprendizagem de uma nova habilidade motora em crianças normaisres.

PESQUISADOR: Maria Elisa Pimentel Piemonte

CARGO/FUNÇÃO: Fisioterapeuta INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº CREFITO 12863-F

UNIDADE DO FMUSP: Centro de Docência e Pesquisa de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da FMUSP

3. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:

SEM RISCO () RISCO MÍNIMO (X) RISCO MÉDIO ()

RISCO BAIXO () RISCO MAIOR ()

(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

4. DURAÇÃO DA PESQUISA : 2 anos

III - REGISTRO DAS EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO PACIENTE OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA CONSIGNANDO:

O objetivo dessa pesquisa é verificar a capacidade de melhorar o desempenho, ou seja, a velocidade e a coordenação, de uma nova habilidade motora através do treinamento em crianças normais de diferentes idades, e verificar como diferentes fatores, como a visão e atenção, interferem nesse processo de aprendizagem

Aceitando participar desta pesquisa seu filho(a) deverá realizar uma avaliação inicial para avaliar a velocidade e coordenação dos movimentos dos dedos das mãos. Para realizar essa avaliação seu filho(a) deverá sentar-se confortavelmente na frente de uma mesa, vestir uma luva de borracha que estará conectada através de cabos a um computador e então decorar uma seqüência de 5 números correspondentes aos números de cada um dos dedos da mão. Depois seu filho(a) deverá realizar com os dedos da mão os movimentos ensinados pela fisioterapeuta na seqüência decorada, durante um minuto. Após esse teste inicial, seu filho(a) deverá retornar outras 8 vezes ao laboratório para realizar 8 sessões de treinamento com duração de 20 minutos, intercalados com períodos de descanso, realizadas duas vezes por semana em dias e horários à combinar. Após esse bloco de treinamento, seu filho(a) deverá realizar um novo teste, semelhante ao inicial, para verificar o quanto a velocidade e a coordenação dos movimentos dos dedos melhoraram com o treinamento.

O benefício que seu filho(a) poderá obter participando desta pesquisa é conseguir a melhora na velocidade e coordenação dos movimentos dos dedos da mão com que foi realizado o treinamento.

Os fisioterapeutas responsáveis estarão sempre presentes durante todo o tempo dos testes e dos treinamentos orientando os movimentos. Seu filho(a) não sentirá nenhum desconforto ou dor durante ou depois o treinamento e o procedimento trará nenhum risco para a sua saúde.

Seu filho(a) não deverá treinar em casa os movimentos ensinados, mas apenas dentro das sessões.

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA CONSIGNANDO:

Qualquer dúvida que o sr(a) vier a ter sobre os procedimentos, riscos e benefícios relacionados a pesquisa serão prontamente esclarecidos pelo pesquisador, que estará presente em todas as consultas.

O sr(a) têm liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo, sem nenhum prejuízo.

Todas as informações sobre o sr(a), incluindo seu nome e desempenho são confidenciais e sigilosas.

V. INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Caso o sr(a) tenha alguma dúvida ou algum problema relacionado a esta pesquisa, o sr(a) poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável, Dra. Maria Elisa Pimentel Piemonte, através dos telefones 3091-7463/ 3091-7451, ou 9641-6774, ou pessoalmente no Centro de Docência e Pesquisa de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, ou no telefone 3834-8597, na residência do pesquisador, à Rua Prof^a Altina M. de Araújo, 563.

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Protocolo de Pesquisa

São Paulo, de de 2003.

assinatura do sujeito da pesquisa ou responsável legal

assinatura do pesquisador
(carimbo ou nome legível)