UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Aprendizagem em tarefa motora dual:
efeito da distribuição de atenção entre as mãos

Fernanda Carla de Carvalho

São Paulo

2017

FERNANDA CARLA DE CARVALHO

Aprendizagem em tarefa motora dual:

efeito da distribuição de atenção entre as mãos

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Estudos Socioculturais e Comportamentais da Educação Física e Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Serviço de Biblioteca
Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Carvalho, Fernanda Carla de

Aprendizagem em tarefa motora dual: efeito da distribuição de
atenção entre as mãos / Fernanda Carla de Carvalho. – São Paulo :
[s.n.], 2017.
76p.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte
da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira

1. Aprendizagem motora 2. Atenção 3. Habilidades motoras
I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: CARVALHO, Fernanda C.

Título: Aprendizagem em tarefa motora dual: efeito da distribuição de atenção entre as mãos

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

*Dedico esta dissertação a minha família e ao Bruno pelo
apoio e incentivo que sempre me deram.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira pela oportunidade de realizar este trabalho, pelos ensinamentos, pela paciência e por estar sempre disponível para me ajudar e ensinar.

Agradeço a minha avó Ana, as tias Sandra e Ivone, primas Ana Paula e Raquel, e a todos os familiares pelo apoio e incentivo durante todo o curso de mestrado.

Agradeço ao Bruno pelo apoio, por me ajudar na mudança de cidade, por compreender os inúmeros fins de semana em que eu não fui uma boa companhia, por me incentivar e me dar força para finalizar este trabalho.

Agradeço a todos os membros do Laboratório Sistemas Motores Humanos, em especial ao Daniel por me ensinar com paciência a utilizar todos os equipamentos e softwares necessários para a execução deste trabalho, por acompanhar as coletas sempre com bom humor, pela ajuda em todos os processos deste trabalho, pelas críticas, pelas conversas e risadas. Ao Nametala pelo auxílio em diversos momentos, pelos momentos difíceis compartilhados, pelas conversas e risadas. A Joane pelos momentos bons e ruins compartilhados.

Agradeço a Tânia, ao Marcos e a Tatiane por me ajudarem de todas as maneiras que puderam enquanto morei em São Paulo.

Agradeço aos professores das disciplinas que cursei pelos ensinamentos únicos.

Agradeço aos professores da banca de qualificação, Prof. Dr. André Frazão Helene, Prof^a. Dr^a. Cynthia Yukiko Hiraga, Prof. Dr. Luiz Eduardo Pinto Basto Tourinho Dantas pelos comentários e críticas que enriqueceram este trabalho.

Agradeço a todos os voluntários que participaram deste estudo, muito obrigada pela disponibilidade.

Agradeço a instituição de ensino para qual trabalho por permitir o afastamento da minha função para realizar esta pesquisa. E agradeço as professoras que trabalham comigo pelo apoio e conselhos que me deram.

Agradeço ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado.

RESUMO

CARVALHO, F. C. **Aprendizagem em tarefa motora dual: efeito da distribuição de atenção entre as mãos.** 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2017.

Estudos prévios têm indicado a capacidade de aprender diferentes movimentos simultaneamente, sugerindo que a aprendizagem motora pode ocorrer a partir de uso parcial de recursos atencionais. Porém, não se conhece a extensão em que a aprendizagem em tarefas motoras duais é afetada pela distribuição da atenção entre as tarefas durante a prática. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da distribuição de diferentes proporções da atenção a cada componente de uma tarefa motora dual durante a prática sobre sua aprendizagem e automatização. Participaram deste estudo 35 estudantes universitários, destros, que realizaram as seguintes tarefas: traçar uma estrela baseada em feedback visual invertido com a mão esquerda e realizar toques sequenciais dos dedos com a mão direita. A execução simultânea das duas tarefas correspondeu à tarefa dual. Para estimar a demanda de atenção para execução das tarefas foi realizada a medida de tempo de reação probatório com estímulo auditivo e resposta vocal. Os participantes foram divididos em três grupos: prática na tarefa dual com distribuição assimétrica de atenção, alocando maior atenção à tarefa de traçado de estrela e mínima atenção à tarefa de toques dos dedos (Dass); prática na tarefa dual com atenção distribuída simetricamente entre ambas as tarefas (Dsim); e prática na tarefa singular, com prática exclusiva na tarefa de traçado (Sing). Os resultados mostraram que os três grupos diminuíram o tempo de reação probatório nos desempenhos das tarefas singulares e dual, indicando ganho de automatização com a prática. Na tarefa de toques dos dedos, os grupos Dsim e Dass tiveram melhor desempenho do que o grupo Sing, indicando que esta tarefa foi aprendida com baixa alocação de atenção. Na tarefa de traçado de estrela, os três grupos melhoraram de forma similar o desempenho com a prática. A avaliação na tarefa dual revelou que ambos os grupos de prática na tarefa dual, independentemente da distribuição de atenção, tiveram melhor desempenho após a prática em relação ao grupo Sing. Não foram encontradas diferenças entre os grupos Dsim e Dass tanto para a tarefa de toques dos dedos quanto para a tarefa de traçado de estrela, indicando que estas tarefas foram aprendidas de forma equivalente para diferentes regimes de distribuição de atenção. Estes resultados sugerem que a melhora de desempenho com a prática, e automatização de movimentos associada, pode ser atingida com alocação de recursos atencionais parciais durante a prática na tarefa.

Palavras-chave: demanda atencional; atenção dividida; aprendizagem motora; tarefa bimanual.

ABSTRACT

CARVALHO, F. C. **Learning a dual motor task: effect of attention distribution between the hands.** 2017. 76 f. Master thesis (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2017.

Previous studies have indicated the human ability to learn different movements simultaneously, suggesting that motor learning can be achieved from partial use of attentional resources. However, the extent to which learning dual motor tasks is affected by the distribution of attention between tasks during practice is unknown. The aim of this study was to evaluate the effect of distribution of different proportions of attention to each component of a dual motor task during practice on its learning and automaticity. Thirty-five right-handed university students participated of the study. They performed the following tasks: drawing of a star-shaped figure based on inverted visual feedback with their left hand and sequentially touching the fingers with their right hand. The dual task consisted of the simultaneous execution of the two tasks. To evaluate movement's automatization due to practice, we used a probe reaction time task consisting of an auditory stimulus and a vocal response. Participants were assigned to one of three groups: practice of the dual task with asymmetric distribution of attention, allocating major attentional resources to the star drawing task and minimal attention to the fingers touching task (Dasy); practice of the dual task with symmetric distribution of attention between both tasks (Dsym); and practice of the single star drawing task (Sing). Results showed that after practice, the probing reaction time was reduced in the performance of the single and dual tasks in all groups, indicating augmented automaticity after practice. In the fingers touching task, the Dsym and Dasy groups outperformed the Sing group, indicating that this task was learned with reduced attention. In the star drawing task, the three groups improved similarly their performance after practice. Evaluation of the dual task revealed that both dual task practice groups, independently of the attention distribution regime, performed better than the Sing group after practice. No differences were found between the Dsym and Dasy groups across tasks, suggesting that they learned to a similar extent both tasks regardless of the attention distribution regime. These results suggest that performance improvement from practice, and associated movements automatization, can be achieved with allocation of partial attentional resources during the task acquisition.

Keywords: attention demand; divided attention; motor learning; bimanual task.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do arranjo experimental durante a tarefa dual	29
Figura 2 – Representação do cálculo da distância percorrida no traçado da estrela	32
Figura 3 – Frequência de respostas sobre percepção de distribuição de atenção e dificuldade da tarefa comparando os grupos nas três sessões de prática	35
Figura 4 – Delta do tempo de reação (ms), comparando os grupos em função das tarefas e testes	36
Figura 5 – Frequência absoluta de toques sequenciais comparando os grupos durante a prática	37
Figura 6 – Frequência absoluta de toques sequenciais, comparando os grupos em função da tarefa e testes	38
Figura 7 – Comparação da distância percorrida (cm) no traçado de estrela entre os grupos durante a prática	39
Figura 8 – Tentativas de traçado de estrela de um participante do grupo Dsim (atenção simétrica) em cada teste em condição singular e dual	41
Figura 9 – Distância percorrida no traçado de estrela (cm), comparando os grupos em função da tarefa e testes	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS.....	13
3	HIPÓTESES.....	14
4	REVISÃO DE LITERATURA	15
	4.1 Capacidade limitada de atenção.....	15
	4.2 Aprendizagem motora e automatização.....	17
	4.3 O papel da atenção na aprendizagem motora	19
	4.4 Aprendizagem implícita.....	21
	4.5 Aprendizagem de tarefas simultâneas.....	22
5	JUSTIFICATIVA.....	27
6	MÉTODO.....	28
	6.1 Participantes.....	28
	6.2 Tarefas e equipamentos	28
	6.3 Delineamento experimental e procedimentos.....	30
	6.4 Análise de dados	32
7	RESULTADOS	34
	7.1 Avaliações subjetivas.....	34
	7.2 Demanda atencional.....	35
	7.3 Toques sequenciais	36
	7.3.1 Fase prática.....	36
	7.3.2 Testes.....	37
	7.4 Traçado de estrela	38
	7.4.1 Fase prática.....	38
	7.4.2 Testes.....	39
8	DISCUSSÃO.....	43
	8.1 Demanda atencional.....	43
	8.2 Desempenho nas tarefas motoras.....	44
9	CONCLUSÕES.....	50
10	IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	51
	REFERÊNCIAS	52
	ANEXOS	59

1 INTRODUÇÃO

A fase inicial da aquisição de uma habilidade motora requer alta demanda atencional, com progressiva automatização dos movimentos a partir de prática sistemática (DEBAERE et al., 2004; FITTS; POSNER, 1967; GOH et al., 2014; KIDA; TANAKA; KAKIGI, 2017). No início da aprendizagem, as tarefas requerem mais tempo para sua execução devido ao processamento de informações ocorrer de forma controlada, envolvendo o direcionamento da atenção. Em estágio mais avançado de aprendizagem, a habilidade pode tornar-se automatizada, sendo os aprendizes capazes de desempenhar concomitantemente duas ou mais tarefas que utilizam os mesmos recursos de processamento, com pouca ou nenhuma interferência no desempenho (SHIFFRIN; SCHNEIDER, 1977). Estudos utilizando técnicas de neuroimagem têm mostrado que quando a atenção é requisitada para o desempenho motor há maior ativação de áreas motoras quando comparado ao movimento realizado sem atenção focada (BINKOFSKI et al., 2002; JOHANSEN-BERG; MATTHEWS, 2002; MILNIK; NOWAK; MULLER, 2013; ROWE et al., 2002). Além disso, parece que a atenção para o movimento potencializa a plasticidade cortical em áreas motoras (CONTE et al., 2007; STEFAN; WYCISLO; CLASSEN, 2004). Em estudo realizado por Rowe et al. (2002) foi analisada a ativação de áreas corticais em função do foco atencional. Os resultados mostraram que quando a atenção estava voltada para a ação houve um aumento da atividade nas áreas corticais relacionadas à organização do movimento. Os resultados de um estudo realizado por Milnik, Nowak e Muller (2013) sugerem que a modulação da atenção para tarefas motoras realizadas simultaneamente afeta a ativação de várias regiões do cérebro, incluindo áreas motoras. Estes estudos trazem evidências do papel desempenhado pela atenção na ativação de áreas cerebrais importantes para a aprendizagem de movimentos voluntários.

No campo comportamental, tem sido avaliado o efeito da atenção em habilidades bimanuais simétricas, com resultados mostrando que quando a atenção está voltada para a tarefa motora há uma melhora no desempenho (MATTHEWS et al., 2006; MONNO et al., 2000). Entretanto, quando a atenção precisa ser dividida entre duas tarefas há uma interferência, levando a prejuízo no desempenho. Essa interferência tem sido associada à capacidade limitada de atenção, sendo mais evidente quando os movimentos são assimétricos (WOLPERT; FLANAGAN, 2016). Apesar disso, estudos mostram que há aprendizado mesmo quando há interferência no desempenho de tarefas bimanuais assimétricas (CASADIO et al., 2010; HOWARD; INGRAM; WOLPERT, 2010; TRLEP; MIHELJ; MUNIH, 2012). Em estudo realizado por Tcheang et al. (2007), foi avaliado o desempenho bimanual para

acertar alvos com campos de força diferentes aplicados a cada mão. Os resultados mostraram que os participantes foram capazes de aprender a compensar o campo de força aplicado e a corrigir seus erros, mostrando capacidade de aprendizagem com os dois braços de forma independente. Hoyer e Bastian (2013) realizaram um experimento que consistia em uma tarefa de força de pinçar, exigindo a aprendizagem com ambas as mãos para controlar a produção de força e a distância de movimento de um cursor de computador. Os resultados mostraram que, embora tenha havido interferência e maior número de erros em condição assimétrica no início da aprendizagem, as tarefas foram aprendidas de forma similar. Os estudos aqui citados indicam a possibilidade de dividir a atenção durante a prática de duas tarefas sem prejudicar a aprendizagem.

Para avaliar a divisão de recursos atencionais na aprendizagem, Claudio (2011) realizou um experimento no qual utilizou duas ações manuais diferentes, toques intercalados entre os dedos da mão direita e traçado de figura geométrica com a mão esquerda. Durante a prática, as duas tarefas eram realizadas simultaneamente e a atenção era dividida entre ambas, ou as tarefas eram realizadas de forma singular com atenção plena à sua execução. Os resultados mostraram ganho de desempenho, que pode ser associado à redução de demanda atencional, e revelaram que, assim como na tarefa singular, a prática na tarefa dual induziu aprendizagem. Estes achados indicam que a capacidade de atenção pode ser distribuída entre duas tarefas motoras realizadas simultaneamente, levando à aprendizagem de tarefas independentemente com as mãos direita e esquerda.

A partir dos resultados até aqui revisados, é importante conhecer a extensão em que a aprendizagem de tarefas motoras duais é modulada pela orientação explícita de atenção durante a prática. Além disso, sabe-se que a prática leva a automatização da tarefa, mas não se sabe se a orientação da atenção modula a automatização de movimentos. O propósito deste trabalho foi avaliar o efeito da distribuição de diferentes proporções da atenção a cada componente de uma tarefa motora dual durante a prática sobre a aprendizagem de tarefas singular e dual, e sobre a automatização dos movimentos. Para isso, foram utilizadas duas tarefas manuais, sendo que estas foram escolhidas de modo que não competissem pelas mesmas estruturas neurais para sua realização simultânea. Uma tarefa envolveu processamento de aspectos visuoespaciais, com planejamento e controle dominante pelo hemisfério cerebral direito (CORBETTA et al., 1993; SERRIEN; IVRY; SWINNEN, 2006). A outra tarefa envolveu movimentos sequenciais, com controle pelo hemisfério cerebral esquerdo (GRAFTON; HAZELTINE; IVRY, 2002; HAALAND et al., 2004; SERRIEN; IVRY; SWINNEN, 2006). Com esta composição da tarefa dual, a expectativa foi de fornecer

resultados indicadores do efeito de interferência atencional, evitando a ativação de mesmas estruturas neurais.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste experimento foram os seguintes:

- (a) Avaliar o efeito da distribuição de atenção entre as mãos durante a prática de uma tarefa motora dual sobre sua aprendizagem.
- (b) Avaliar o efeito de distribuição de atenção durante a prática sobre a automatização dos movimentos.

3 HIPÓTESES

As hipóteses formuladas para este estudo foram as seguintes:

- (a) Maior atenção para a ação de uma das mãos durante a prática de tarefa dual induz melhor aprendizagem do que menor atenção.
- (b) Maior atenção para a ação de uma das mãos durante a prática de tarefa dual induz maior automatização de movimentos do que menor atenção.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Capacidade limitada de atenção

Prestar atenção envolve alocar os recursos de processamento para tarefa a ser executada. Segundo Willian James (1890, p. 404, tradução nossa)¹

Todo mundo sabe o que é atenção. Vai tomando conta da mente, de forma clara e viva, e para aquele que assim não se encontra, vários objetos ou raciocínios parecem simultaneamente possíveis. Focalização, concentração da consciência são sua essência. Isso implica a retirada de algumas coisas de forma a lidar efetivamente com outras, e é uma condição que é oposta ao estado confuso, aturdido, dispersivo [...].

Nesta definição, quando James (1980, p. 404) escreveu “implica a retirada de algumas coisas de forma a lidar efetivamente com outras” ressaltou a dificuldade em prestar atenção a muitas coisas ocorrendo simultaneamente, sendo necessário direcionar os recursos de processamento para processamento predominantemente sequencial. Segundo Lent (2010, p. 631) “prestar atenção é focalizar a consciência, concentrando os processos mentais em uma única tarefa principal e colocando as demais em segundo plano”. Essas definições apontam a necessidade de selecionar as informações as quais o indivíduo presta atenção em virtude de a capacidade de atenção ser limitada. Essa limitação na capacidade de atenção é entendida como uma dificuldade de processar muitos estímulos simultaneamente, o que fica claro ao realizarmos mais de uma tarefa ao mesmo tempo. Na situação de multitarefa é necessário dividir os recursos de processamento entre tarefas simultâneas, levando a um prejuízo no desempenho de uma ou ambas as tarefas.

Dependendo das tarefas realizadas, o indivíduo controla voluntariamente sua atenção, conseguindo operacionalizá-la de diversas formas. Assim, a atenção pode ser seletiva, quando o indivíduo privilegia determinados estímulos em detrimento de outros, direcionando todos os seus recursos de processamento a estes estímulos. A atenção pode ser sustentada e neste caso o indivíduo deve manter o foco em determinado estímulo durante certo tempo. A atenção também pode ser alternada, em que o indivíduo alterna o foco atencional entre uma tarefa e outra. Ou ainda pode ser dividida, quando duas tarefas são realizadas simultaneamente e a atenção deve ser distribuída de forma simétrica ou assimétrica entre as tarefas dependendo de sua demanda de processamento (LIMA, 2005; MUIR, 1996). Como o sistema atencional

¹ *Every one knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others, and is a condition which has a real opposite in the confused, dazed, scatterbrained [...].*

consegue dividir a atenção ainda não está claro, o que se conhece é que quanto mais as tarefas partilham os mesmos recursos de processamento, maior a interferência no desempenho da tarefa não priorizada.

Diversos estudos têm buscado entender como ocorre o processamento de informações ao realizar duas tarefas simultâneas. As primeiras teorias sobre processamento entendiam que as informações eram processadas de forma serial. Broadbent (1958) propôs que atenção seria um mecanismo de seleção de informações importantes e que para lidar com a imensa quantidade de informações que recebemos do ambiente seria necessário filtrá-las antes de sua identificação. Neste caso as informações entrariam no sistema em paralelo e passariam por um filtro que selecionaria quais iriam atingir o canal único de capacidade limitada. Assim, o sistema não processaria estímulos em paralelo e não existiria a possibilidade de a atenção ser dividida, apenas alternada entre as tarefas desempenhadas. Entretanto, esta teoria não levou em consideração que para saber o que é importante deve haver um processamento prévio das informações. Deutsch e Deutsch (1963) propuseram que os estímulos poderiam ser processados em paralelo em nível superior e o filtro de informações ficaria no estágio de análise perceptual, antes da seleção de resposta. Porém, ao considerarem o filtro em um nível tardio, os autores não levaram em consideração as limitações do sistema de processamento, pois as informações passariam pelos primeiros níveis, mas haveria uma grande quantidade de informações no sistema de seleção de resposta, que não suportaria tamanha quantidade de informações. Para lidar com isso, Treisman (1960) propôs que haveria um filtro atenuador, sendo que este não bloquearia completamente os estímulos não atendidos, mas eles seriam atenuados, entrando no sistema em função de sua relevância. Assim, as informações seriam processadas em paralelo e o sistema atencional conseguiria reduzir a interferência de estímulos irrelevantes, sem prejudicar o processamento de estímulos relevantes. Entretanto, estas teorias não conseguem explicar o processamento paralelo, no qual a atenção pode ser dividida igualmente na realização de duas tarefas simultaneamente.

Para tentar explicar a divisão da atenção, Kahneman (1973) sugere que cada tarefa tem uma determinada demanda atencional e o desempenho em sua execução poderá ser prejudicado se a quantidade de atenção alocada a esta for menor do que a necessária. No entanto, o indivíduo consegue voluntariamente selecionar a quantidade de atenção que aloca para executar a tarefa, podendo assim distribuir seus recursos atencionais de acordo com a necessidade de cada tarefa. Dessa forma, a capacidade atencional pode ser variável e todo o processamento ocorrer em paralelo, mudando a distribuição dos recursos de acordo com a exigência das tarefas. Ainda, se uma tarefa exigir uma maior carga atencional, recursos que

antes não estavam disponíveis podem ser mobilizados para a execução desta. Entretanto, esse aumento da disponibilidade de recursos de processamento é limitado, podendo ou não compensar a necessidade das tarefas. Quando isso ocorre o indivíduo pode dividir seus recursos igualmente entre as tarefas ou ainda escolher para qual tarefa mobilizará seus recursos atencionais de forma que sofra menos interferência.

4.2 Aprendizagem motora e automatização

Aprendizagem motora é “uma alteração na capacidade da pessoa em desempenhar uma habilidade, que deve ser inferida como uma melhoria relativamente permanente no desempenho, devido à prática ou à experiência” (MAGILL, 2000, p. 136). Ao longo da prática, a aprendizagem de uma habilidade motora passa por diferentes estágios. Para explicá-los, Fitts e Posner (1967) propuseram um modelo que leva em consideração a demanda atencional. Neste modelo, o primeiro estágio de aprendizagem é o cognitivo, no qual o aprendiz se concentra no que a tarefa envolve fazer, comete um grande número de erros e é exigida uma alta demanda atencional. No segundo estágio, conhecido como associativo, o aprendiz tem um menor número de erros e vai diminuindo a demanda atencional necessária para realizar a tarefa. No último estágio, autônomo, a habilidade se torna automática, ou seja, não necessita de atenção para ser realizada. O executante não pensa conscientemente no que está fazendo enquanto desempenha a habilidade e consegue desempenhar outras tarefas ao mesmo tempo.

Levando em consideração este modelo, para ocorrer a aprendizagem de movimentos é indispensável a mobilização da capacidade limitada de atenção de um indivíduo (SCHNEIDER; CHEIN, 2003). Conforme a pessoa aprende uma habilidade a necessidade de atenção muda, alterando o modo como a informação é processada. Segundo Schneider e Shiffrin (1977), durante a aprendizagem há uma alteração no modo de processamento de informação, passando do modo controlado para o automático. O processamento controlado, observado no início da aprendizagem, é caracterizado por (a) lentidão das operações de processamento; (b) processamento seriado, com efetuação sequenciada de uma função cognitiva por vez; (c) intencionalidade, podendo uma função mental ser iniciada ou interrompida a qualquer instante; e (d) interferência pela execução de outras tarefas simultâneas. O processamento automático tem características opostas, como: (a) informações processadas rapidamente; (b) processamento de diferentes funções mentais ocorre de forma paralela; (c) independe da intencionalidade, com as funções de processamento sendo

disparadas automaticamente; e (d) não sofre interferência de tarefas realizadas ao mesmo tempo.

Considerando que ao longo da aprendizagem os modos de controle de processamento de informação mudam, torna-se necessário saber o quanto uma tarefa demanda atenção para sua execução. Para avaliar a demanda atencional de uma tarefa, um método amplamente utilizado é a realização de uma tarefa probatória junto com a tarefa principal. A tarefa probatória é realizada de forma singular e depois junto com a tarefa principal, sendo que o grau de declínio no desempenho na tarefa probatória indica a extensão em que a tarefa principal requer atenção. Goh et al. (2014), por exemplo, utilizaram uma tarefa discreta de seguir um alvo na tela do computador e uma tarefa probatória de tempo de reação (TR) a um estímulo auditivo. Os resultados mostraram que com a prática os participantes diminuíram os erros na tarefa principal e melhoraram o tempo de reação na tarefa probatória. Dessa forma, demonstraram que a demanda atencional para o planejamento e execução da tarefa principal diminuiu através da prática e que os movimentos empregados na execução da habilidade foram automatizados.

Estudos utilizando neuroimagem têm evidenciado a transição entre processamento controlado e automatizado. Wu, Kansaku e Hallett (2004) mostraram que antes da prática de tarefa de toques sequenciais entre dedos foi observada grande ativação no córtex sensoriomotor esquerdo, áreas pré-motoras e parietais, giro frontal inferior, córtex pré-frontal, área motora suplementar, córtex cingulado, núcleos da base e cerebelo. Com a automatização induzida pela prática, foi observada diminuição da ativação de diversas áreas cerebrais, particularmente do córtex pré-motor, que está relacionado à organização/planejamento dos movimentos, que em estágios tardios de aprendizagem são automatizados. Houve diminuição também da ativação do córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo e córtex cingulado anterior, áreas relacionadas ao sistema atencional para a ação. Outro trabalho mostrando mudança na ativação cerebral com a prática de uma tarefa de rastreamento visual foi realizado por Floyer-Lea e Matthews (2004). Na fase de aprendizagem inicial houve requisição de atenção para a tarefa, que foi associada à maior atividade do córtex pré-frontal dorsolateral. Os resultados mostraram que a prática, em paralelo com a melhoria de desempenho, levou à redução desta atividade.

Debaere et al. (2004) avaliaram mudanças na ativação cerebral na aprendizagem de uma tarefa bimanual. A aprendizagem da tarefa levou à diminuição da ativação nos córtices parietal superior, pré-motor, pré-frontal dorsolateral direito, e hemisfério cerebelar esquerdo, enquanto que aumentou a ativação nos córtices motor primário e cingulado, cerebelo e

núcleos da base quando o padrão de coordenação foi adquirido. Segundo os autores, a ativação no córtex pré-frontal dorsolateral direito foi importante para a aprendizagem do novo padrão de coordenação bimanual, já que esta área está relacionada com atenção para a ação e sua ativação diminui quando a demanda atencional é baixa, ou seja, quando a tarefa se torna automática. Os autores sugerem que a ativação de estruturas corticais e subcorticais evidenciam circuitos diferencialmente envolvidos durante os estágios inicial e final de aprendizagem, refletindo uma transição de alta demanda atencional no desempenho da tarefa para desempenho automático.

4.3 O papel da atenção na aprendizagem motora

Pesquisas mostraram que ocorrem modificações na memória de longa duração pela prática com atenção, entretanto quando uma ação é repetida de forma automática pouca ou nenhuma alteração na memória é esperada (FISK; SCHNEIDER, 1984; HASHER; ZACKS, 1979; HAZELTINE; GRAFTON; IVRY, 1997; LOGAN, 1988; PASSINGHAM, 1996; SCHNEIDER; FISK, 1983; STEFAN; WYCISLO; CLASSEN, 2004). Rowe et al. (2002) analisaram a ativação de áreas cerebrais em função do foco atencional. Os participantes realizaram uma tarefa que consistiu em toques sequenciais entre os dedos de uma das mãos, com a atenção orientada para os movimentos da mão, atenção desviada para uma tarefa visual, ou sem foco de atenção definido extrinsecamente. Através da análise das imagens da ressonância magnética funcional, observou-se que a atenção voltada para a ação aumentou a atividade nas áreas corticais relacionadas à organização do movimento em comparação às outras duas situações experimentais. Também foi observado que a atenção para a ação aumentou a efetividade da conexão entre os córtices pré-frontal dorsal e pré-motor, enquanto que a falta de foco atencional para a ação motora diminuiu a conectividade entre estas áreas corticais. Milnik, Nowak e Muller (2013) avaliaram indivíduos realizando tarefas com a mão dominante, não-dominante ou ambas, em diferentes condições de atenção. Os participantes realizaram a tarefa com atenção livre, com uma distração da atenção para uma tarefa cognitiva (contagem regressiva de três em três), atenção focada nos movimentos dos dedos, e atenção dividida (concentração em apenas um dos dedos enquanto fazia movimentos bimanuais). Os resultados mostraram que quando foi executada a tarefa de distração houve prejuízo no desempenho e redução da atividade na rede atencional frontoparietal, no córtex motor primário, e também numa ampla variedade de regiões do cérebro incluindo áreas motoras. Estes estudos indicam que uma distração durante a execução pode gerar custos para a

execução da tarefa motora, pois a falta de atenção diminui a conexão entre áreas de planejamento e execução.

Outros estudos têm mostrado que a orientação do foco atencional regula a ativação cortical em áreas motoras e pré-motoras. Binkofski et al. (2002), por exemplo, observaram que a atenção para uma ação própria modulou a atividade neural no córtex motor primário. Johansen-Berg e Matthews (2002) compararam a ativação cortical em uma tarefa motora simples de acionar uma tecla, uma tarefa de contagem regressiva e uma tarefa dual com ambas as tarefas (tarefa de contagem utilizada como distrator). Os resultados mostraram que a redução da atenção para o movimento levou a uma diminuição da ativação de áreas motoras, indicando que o controle de ações é modulado pela atenção. Jueptner et al. (1997) estudaram a diferença de ativação nas áreas cerebrais durante a realização de uma tarefa automática e de uma tarefa em processo de aprendizagem. Os resultados indicaram maior ativação dos córtices pré-motor, cíngulo anterior e parietal, quando os participantes aprenderam uma nova sequência de movimento em comparação a quando os participantes tiveram prática prévia, executando apenas os movimentos anteriormente aprendidos. Este estudo sugere que o sistema anterior (cortex pré-frontal e cíngulo) é mais engajado quando sujeitos prestam atenção à ação, ou seja, no início da aprendizagem.

Além de a atenção promover ativação e conexões corticais ótimas para o controle motor, também ativa áreas cerebrais imprescindíveis para a promoção de plasticidade neural característica da aprendizagem (PASCUAL-LEONE et al., 2005). Sobre isso, Plautz, Milliken e Nudo (2000) mostraram que a simples repetição do ato de pegar bolinhas de alimento por macacos não induziu reorganização funcional do mapa cortical. Contudo, quando a tarefa praticada envolveu aprendizagem com maior requisição de atenção pelo aumento de demanda de precisão de movimentos foram observadas modificações no mapa cortical (KLEIM; BARBAY; NUDO, 1998; NUDO; PLAUTZ; MILLIKEN, 1997). Outros estudos indicam que o processo atencional potencializa mecanismos de plasticidade cortical em áreas sensoriomotoras em humanos (CONTE et al., 2007; ROSENKRANZ; ROTHWELL, 2005; STEFAN; WYCISLO; CLASSEN, 2004). No estudo de Stefan, Wycislo e Classen (2004) foi solicitado que os indivíduos orientassem a atenção para a mão em movimento durante a prática em uma tarefa motora, para uma tarefa cognitiva, ou os participantes eram impedidos de ver sua mão em movimento. Os resultados mostraram que quando a atenção era orientada para os movimentos da mão a plasticidade neural foi aumentada, enquanto que a falta de atenção orientada inibiu a plasticidade. Na terceira condição experimental houve apenas uma diminuição na magnitude da plasticidade neural. Esses resultados sugerem que as

modificações neurais associadas à aprendizagem são dependentes do foco atencional nos movimentos realizados durante a prática em uma tarefa. Os estudos apresentados até este ponto trazem evidências neurofisiológicas sobre o papel desempenhado pela atenção na ativação de áreas cerebrais importantes para a aprendizagem de movimentos voluntários.

4.4 Aprendizagem implícita

Duas formas de aprendizagem podem ser distinguidas: aprendizagem implícita e aprendizagem explícita. Aprendizagem explícita envolve recordação consciente de experiências prévias, enquanto que a aprendizagem implícita é uma forma não consciente de aprendizagem caracterizada por mudança no comportamento (REBER, 1989). Segundo Brown e Robertson (2007), a realização de uma tarefa de aprendizagem explícita parece impactar negativamente a aprendizagem de uma tarefa motora nos estágios iniciais de aprendizagem. Para testar o impacto que a aprendizagem de uma tarefa explícita tem na aprendizagem de uma tarefa motora, Roy e Park (2016) realizaram um experimento em que utilizaram o paradigma da tarefa dual manipulando a atenção dada às tarefas. A tarefa principal consistiu no aprendizado de novas ferramentas (um vídeo explicava todos os aspectos da tarefa [aprendizagem explícita] e execução [aprendizagem implícita]), e a tarefa secundária consistiu em uma tarefa auditiva com resposta vocal (falar o número que precede o que foi escutado). Metade das ferramentas foram praticadas com atenção total e a outra metade com atenção dividida. Os resultados mostraram que durante o treinamento os participantes foram mais lentos na atenção dividida do que na atenção focada, mas para as duas tarefas eles ficaram mais rápidos e a taxa de aprendizagem foi equivalente nas duas condições. Quando a tarefa secundária foi removida não houve diferença no tempo de conclusão da tarefa de montar as ferramentas entre condições dividida e focada. Também foi realizado um teste de lembrança das ferramentas e neste os participantes lembraram mais de detalhes associados à função do que de detalhes perceptuais (memória explícita). Estes resultados sugerem que a aprendizagem de habilidades motoras depende primariamente do sistema de memória procedimental, e que a divisão de atenção durante o treinamento prejudica a aprendizagem explícita, mas não a implícita.

O impacto de dividir a atenção depende da demanda de processamento da tarefa secundária e o tipo de memória sob investigação (CHUN; TURK-BROWNE, 2007). Parece que para aprendizagem implícita, além de uma tarefa explícita não prejudicar sua consolidação, há uma capacidade de consolidação simultânea de tarefas motoras. Zach et al.

(2012) compararam a aprendizagem de duas tarefas sensoriomotoras (rotação e associação arbitrária) com a aprendizagem dessas tarefas sozinhas. Os resultados mostraram que quando primatas aprenderam tarefas que não interferiam entre si na consolidação elas foram representadas simultaneamente nos neurônios do córtex motor. Dessa forma, duas tarefas praticadas simultaneamente podem ser aprendidas e consolidadas juntas com sucesso.

Alguns estudos indicam que para a consolidação da aprendizagem implícita, o estriado e o cerebelo têm importante contribuição. No estágio inicial de aprendizagem de tarefas motoras o cerebelo tem forte ativação para o controle do movimento. Com prática e diminuição dos erros, o controle de feedback se torna menos importante, diminuindo a ativação desta área. Conforme a aprendizagem progride para uma fase mais avançada, os núcleos da base se tornam mais envolvidos, pois parecem armazenar a habilidade aprendida (HALSBAND; LANGE, 2006). Segundo Doyon e Benali (2005), duas redes neurais parecem ser importantes na aquisição de habilidades motoras através dos estágios de aprendizagem, os sistemas anatômicos córtico-estriatal e córtico-cerebelar. A interação entre esses dois sistemas é importante para o estabelecimento de rotinas motoras necessárias a aprendizagem de uma nova habilidade. Doyon e Benali (2005) propõem um modelo no qual na fase inicial há um recrutamento dos dois sistemas dependendo dos processos cognitivos que as tarefas requerem, enquanto que na fase mais avançada a representação neural é distribuída em uma dessas redes. Para tarefas envolvendo habilidades motoras de sequência e adaptação motora, os sistemas córtico-estriatal e córtico-cerebelar respectivamente parecem ser as estruturas envolvidas no armazenamento e retenção de longo prazo da aprendizagem (DOYON et al., 2009).

4.5 Aprendizagem de tarefas simultâneas

Embora possa haver interferência ao executar duas tarefas concomitantemente, algumas pesquisas mostraram que executar uma segunda tarefa não prejudica o desempenho (HEMOND; BROWN; ROBERTSON, 2010) ou mesmo a aprendizagem (EYSENCK; THOMPSON, 1966), podendo ainda potencializar esta última (GOH; LEE; FISHER, 2013; GOH et al., 2012; ROCHE et al., 2007). Um estudo realizado por Hemond, Brown e Robertson (2010) testou se o desempenho motor piora quando uma tarefa de distração é executada ou se há melhora devido ao engajamento de processos cognitivos comuns na realização das tarefas. Para isso utilizou uma tarefa de sequência motora simultaneamente com uma tarefa de sequência de cores ou com uma tarefa de contagem de números. As tarefas de sequência de cores e de sequência motora exigiram processos neurais similares para a

realização de sequências, enquanto que a tarefa de contagem não. Os resultados mostraram que a tarefa motora foi prejudicada quando os participantes fizeram a tarefa de contagem, enquanto que aprender uma sequência de cores melhorou o desempenho da tarefa motora. Portanto, adicionar uma informação de distração não é suficiente para prejudicar o desempenho, pois quando processos similares são engajados, como aprender uma sequência de cor e uma sequência motora, o desempenho é melhorado, e quando processos distintos são engajados, como aprender tarefa de contagem e motora, o desempenho é prejudicado. Dessa forma, os autores sugerem que não é a complexidade da tarefa que limita o desempenho, mas o engajamento simultâneo de processos distintos.

Ao avaliar o impacto de uma tarefa secundária na aprendizagem, Roche et al. (2007) encontraram melhora na aprendizagem da tarefa principal, que foi atribuída à dificuldade extra imposta pela execução simultânea da segunda tarefa. Neste estudo foi utilizada uma tarefa de estímulo visual com resposta pressionando o botão direito ou esquerdo de um mouse com a mão direita. Três tipos de tarefas concorrentes foram usadas: motora, perceptiva e articulatória/verbal. Na tarefa motora, os participantes deveriam bater seu pé direito no tempo de um metrônomo: 60 batidas por minuto (demanda atencional baixa) e 160 batidas por minuto (demanda atencional alta). Todas as tarefas foram manipuladas para requerer altos ou baixos níveis de atenção, variando a demanda das tarefas. Os resultados mostraram que todos os tempos de reação da tarefa principal realizada em condição dual foram mais baixos do que o controle, com exceção da tarefa perceptiva. Desse modo, foi encontrada uma facilitação de desempenho pela realização da tarefa dual. Os autores sugerem que este efeito se deve ao aumento de demanda atencional dos grupos na tarefa dual, pois parece que a presença de uma tarefa paralela durante a aquisição previne a diminuição de recursos atencionais durante a prática, o que proporciona estimulação adicional, resultando em melhor aprendizagem. Além disso, a execução de tarefa difícil como tarefa secundária induz um efeito de vigilância benéfico para a tarefa primária, pois impõe exigências cognitivas adicionais ao indivíduo, mobilizando maior quantidade de recursos atencionais.

Em uma pesquisa realizada por Goh et al. (2012), foi investigado se é a dificuldade da tarefa ou engajamento de processos cognitivos comuns que modulam os benefícios da prática da tarefa dual. Para isso utilizaram uma tarefa primária de um movimento discreto do braço visando a realizar um movimento curvo, e testes de tempo de reação (TR) simples e de escolha vocal no qual os participantes deveriam responder “high” para o primeiro e “high” ou “low” dependendo do estímulo auditivo para o segundo teste, sendo que a tarefa primária deveria ser priorizada. Os participantes realizaram as duas tarefas simultaneamente divididos

em grupos que realizaram a tarefa de TR simples ou de escolha durante a preparação ou execução dos movimentos. A tarefa de TR simples foi utilizada durante a fase de execução visando a engajar processos motores de execução, uma vez que esta tarefa está associada à maior ativação do córtex motor primário direito. A tarefa de TR de escolha, apresentada durante processos de planejamento, buscou engajar processos cognitivos comuns relacionados ao córtex pré-motor durante a fase de preparação. Segundo os autores, processos de planejamento de resposta são engajados predominantemente durante a fase de preparação, mas minimamente durante a fase de execução. O TR de escolha representou uma tarefa secundária mais difícil e o TR simples uma condição mais fácil para testar a hipótese de dificuldade da tarefa. Os resultados mostraram que a execução da tarefa secundária melhorou a tarefa primária somente quando o TR de escolha foi apresentado na fase de preparação e quando o TR simples foi apresentado na fase de execução. Dessa forma, a melhora de aprendizagem motora foi encontrada somente quando os processos similares foram engajados, independente da dificuldade da tarefa. Assim, de acordo com esses resultados, parece ser o engajamento de processos similares e não a dificuldade de uma tarefa secundária que media os efeitos benéficos da prática de tarefa dual.

Sabendo que tarefa dual melhora a aprendizagem motora quando ambas, tarefa primária e secundária, engajam processos cognitivos similares, Goh, Lee e Fisher (2013) avaliaram se ao realizar tarefas com processos de planejamento similares a condição dual poderia facilitar a ativação do circuito de planejamento compartilhado, em especial o córtex pré-motor dorsal, por ser um importante substrato neural para a tarefa de TR de escolha (seleção de resposta e preparação do movimento discreto). Os resultados mostraram que a tarefa de TR de escolha realizada durante a fase de preparação de uma sequência melhorou a aprendizagem da tarefa primária de toques sequenciais entre os dedos, e que os benefícios da prática dual são mediados pelo córtex pré-motor dorsal, pois quando uma estimulação magnética transcraniana foi aplicada houve uma atenuação dos benefícios da prática de tarefa dual. Dessa forma, os benefícios da prática na tarefa dual parecem ser específicos ao córtex pré-motor dorsal, pois este é importante no circuito de planejamento, e é diferentemente engajado sob prática em tarefa dual, sendo compartilhado pelas redes neurais relacionadas à preparação da sequência dos dedos e do TR de escolha. Estes estudos trazem evidências de que a prática de tarefas simultâneas pode potencializar a aprendizagem ao invés de prejudicá-la.

Considerando a prática de tarefa dual envolvendo tarefas manuais, observa-se que ao executar tarefas diferentes com cada mão há maior dificuldade na realização do movimento

quando comparado à execução de apenas uma tarefa com uma das mãos. Baseado nesta dificuldade, Rémy et al. (2010) estudaram o padrão de atividade neural ao aprender tarefas simples e duais. Para isso foram realizadas tarefas bimanuais e de procura visual, sendo que esta última tinha como propósito dividir a atenção dos participantes. Os resultados mostraram que todos os grupos tiveram uma aprendizagem equivalente, e embora no início da tarefa dual o desempenho bimanual tenha declinado, no final da aprendizagem ele não foi prejudicado. O declínio no início da prática da tarefa dual está relacionado à interferência devido à competição pelos mesmos recursos neurais, envolvendo neste caso subáreas frontal e parietal do córtex cerebral, como observado em estudo anterior em que essas áreas foram constantemente ativadas durante sequências de desempenho bimanuais (ANDRES et al., 1999).

Embora haja interferência durante a prática em tarefas motoras duais, estas parecem ser aprendidas sem prejuízo. Tcheang et al. (2007) realizaram um experimento no qual os participantes deveriam atingir alvos distintos, um com cada mão, simultaneamente. Esta tarefa era praticada em diferentes condições de campos de força aplicados a cada braço. Os resultados indicaram ausência de diferenças entre as condições experimentais na capacidade de atingir o alvo manual indicado, revelando individualização de forças musculares para lidar com diferentes forças. Em estudo subsequente, Howard, Ingram e Wolpert (2008) avaliaram a aprendizagem de uma tarefa também envolvendo campos de força distintos entre os braços, e possível transferência de aprendizagem entre contextos de mesmo campo de forças para campos de força distintos para cada braço e vice-versa. Os resultados indicaram que em ambos os contextos, campos de força iguais versus diferentes, foi observada aprendizagem semelhante das ações com cada braço. Além disso, foi verificada transferência de aprendizagem entre os dois contextos. Os resultados destes estudos sugerem que apesar do aumento de erros quando ocorrem perturbações, estes diminuem com a prática, havendo uma compensação da perturbação. Corroborando estes achados, outros estudos revelaram aprendizagem independentemente da interferência ocorrida, demonstrando potencial de aprender movimentos assimétricos de forma independente e simultânea (CASADIO et al., 2010; HOYER; BASTIAN, 2013; OSU et al., 2004; TRLEP; MIHELJ; MUNIH, 2012), sugerindo que os recursos atencionais são divididos entre as tarefas praticadas com cada braço.

A capacidade de aprendizagem de tarefas distintas simultaneamente, dividindo a atenção, foi investigada por Claudio (2011). Nesse estudo, foi avaliada a aprendizagem de tarefa dual composta por ações motoras requisitando toques intercalados entre os dedos da

mão direita e traçado de figura geométrica com a mão esquerda. A aprendizagem na tarefa dual foi comparada com a aprendizagem obtida pela prática de cada tarefa singular em separado. Os resultados mostraram que durante a aquisição quem praticou a tarefa singular melhorou mais acentuadamente o desempenho do que quem praticou a tarefa dual. No entanto, a avaliação dos efeitos de aprendizagem revelou que a prática na tarefa dual induziu aprendizagem equivalente à prática de cada tarefa singular. Além disso, o ganho de desempenho pela prática nas tarefas singulares foi transferido para o desempenho na tarefa dual. Os ganhos de desempenho foram associados à redução de demanda atencional, o que foi particularmente evidente na prática na tarefa dual. Estes achados sugerem que a capacidade de atenção pode ser distribuída entre a prática de duas tarefas motoras realizadas simultaneamente, levando à aprendizagem de tarefas distintas simultaneamente com as mãos direita e esquerda.

5 JUSTIFICATIVA

Quando se executam duas tarefas simultaneamente a atenção precisa ser dividida, levando a uma competição pelos recursos de processamento e frequentemente interferência entre as tarefas. Embora possa haver interferência inter-tarefas durante a prática (PASHLER, 1994), estudos que avaliaram a aprendizagem em tarefas motoras duais apresentaram evidência de aprendizagem paralela das tarefas (CLAUDIO, 2011). Dessa forma, fica aparente que os recursos atencionais podem ser divididos entre diferentes tarefas durante a prática sem prejuízo para a aprendizagem. Um ponto de interesse sobre o qual ainda não foi produzida informação é a extensão em que a aprendizagem motora, e respectiva automatização de movimentos, é afetada pela distribuição de atenção entre tarefas praticadas simultaneamente.

6 MÉTODO

6.1 Participantes

Participaram deste estudo 35 estudantes universitários (23 homens e 12 mulheres), com idade entre 18 e 35 anos ($M = 21,54$ anos, $dp = 4,24$). Os participantes eram destros, com índice de preferência manual médio de 70 pontos pelo inventário de Edimburgo (OLDFIELD, 1971). Os participantes declararam não possuir disfunções sensoriais ou neurológicas, ou utilizar de medicamentos que pudessem afetar o desempenho/aprendizagem nas tarefas empregadas. Um participante foi excluído devido ao seu desempenho estar três desvios padrão acima da média e outros dois participantes foram excluídos por faltarem nas sessões de prática. Antes de iniciar sua participação, os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, aprovado pelo comitê de ética em pesquisa local.

6.2 Tarefas e equipamentos

A prática nas tarefas experimentais foi realizada com os participantes sentados em frente a uma mesa, olhando para a tela de um notebook (modelo Dell Inspiron de 14 polegadas), posicionado a cerca de 50 cm à sua frente. Em todas as condições, a visão era mantida na tela do monitor do notebook. A tarefa primária consistiu em realizar com a mão esquerda o traçado de uma estrela com feedback visual invertido. O objetivo desta tarefa era completar a maior distância possível do traçado da estrela em um intervalo de 10 s, mantendo o cursor do mouse dentro dos limites do traçado da figura. A estrela era composta por cinco pontas, com trilha de 3 cm de espessura, na cor preta, com fundo branco e com 8 cm de altura e de largura. O cursor do mouse era controlado por meio do manuseio de uma caneta eletrônica sobre uma mesa digitalizadora (Marca Wacom, Modelo Intuos Pen) com 20 cm de largura e 17 cm de comprimento, posicionada no plano horizontal. A caneta eletrônica era empunhada da mesma forma que o participante empunharia regularmente canetas a tinta para a escrita. O cursor do mouse se movia de modo inverso ao deslocamento físico da caneta sobre a mesa digitalizadora. Isto é, quando a caneta era movida para o lado direito o cursor do mouse se movia para o lado esquerdo (vice-versa na direção contrária), quando a caneta era movida para frente o cursor se movia para baixo na tela (vice-versa na direção contrária). Para avaliar o desempenho nesta tarefa foi utilizado um software não-comercial, que registra os dados dos eixos x e y do cursor com frequência de amostragem de 70 Hz.

A tarefa secundária consistia em tocar sequencialmente quatro dedos da mão direita na mesa, respeitando a seguinte ordem: indicador, médio, anelar e mínimo. Em cada tentativa o participante deveria realizar essa sequência de movimentos o maior número de vezes possível, com o mínimo de erros, em um intervalo de 10 s. Para avaliar o desempenho nesta tarefa, foram afixados marcadores refletivos de 0,5 cm de diâmetro na unha de cada dedo. Estes marcadores foram rastreados com quatro câmeras optoeletrônicas (Vicon, MX-3+) com frequência de aquisição de dados de 100 Hz. A execução simultânea das duas tarefas correspondeu à tarefa dual (Figura 1).

Figura 1. Representação do arranjo experimental durante a tarefa dual.

Para estimar a atenção demandada por cada tarefa foi realizada uma medida de tempo de reação probatório, com estímulo imperativo auditivo e resposta vocal. O participante era instruído a responder o mais rapidamente possível com uma vocalização da sílaba “pa” após o estímulo auditivo (bipe). Durante a tarefa o participante utilizava um *headset*, e para avaliar o

desempenho foi utilizado um programa de tempo de reação vocal (não-comercial, desenvolvido para este projeto), em ambiente Macintosh (Apple, modelo MacBook Pro). O sistema fornecia o tempo de reação, correspondente à diferença de tempo entre a emissão do sinal imperativo e o início da resposta vocal. O software emitia três sinais sonoros (bipe) de 150 ms de duração, com intervalos inter-sinais aleatorizados entre 2 e 4 s, durante o tempo de 10 s de cada tentativa. Para avaliação do tempo de reação vocal puro, os participantes permaneciam sentados e imóveis, olhando para o monitor do notebook em branco. Nas tentativas para avaliação de demanda de atenção, os participantes realizavam a tarefa de tempo de reação probatório juntamente com as tarefas principais, singulares e dual. Os participantes também responderam a questões de percepção de distribuição da atenção e de dificuldade da tarefa durante a prática. A primeira questão era sobre se o participante havia conseguido orientar sua atenção conforme instruído; as respostas eram dadas em uma escala de 1 a 5, sendo 1 - em nenhum momento, 2 - poucas vezes, 3 - metade do tempo, 4 - a maior parte do tempo e 5 - todo o tempo. A segunda questão era sobre a dificuldade da tarefa de prática, também com uma escala de respostas de 1 a 5, sendo 1 - muito baixa, 2 - baixa, 3 - moderada, 4 - alta e 5 - muito alta.

6.3 Delineamento experimental e procedimentos

O experimento foi desenvolvido em quatro fases: pré-teste, prática, pós-teste e retenção. O experimento era iniciado com a medida de tempo de reação vocal puro, com três tentativas de familiarização e em seguida mais 10 tentativas válidas para mensuração. Para os testes, os participantes eram instruídos sobre o objetivo da tarefa e realizavam três tentativas de familiarização de cada tarefa singular e dual, e uma tentativa de cada tarefa singular e dual junto com a tarefa de tempo de reação probatório imediatamente antes das tentativas válidas para mensuração. Na sequência, era realizado o pré-teste, sendo inicialmente realizada a avaliação do desempenho em cada tarefa manual individualmente, e depois era realizada a tarefa dual com atenção distribuída igualmente entre as duas tarefas. A avaliação das tarefas singulares e da tarefa dual foi realizada juntamente com a tarefa probatória de tempo de reação. A sequência de tarefas singulares foi alternada entre os participantes. Foram realizadas 3 tentativas para cada tarefa.

Para a etapa de prática, realizada na sequência, os participantes foram divididos em três grupos: prática na tarefa dual com distribuição assimétrica de atenção, sendo que maior atenção deveria ser dada ao desempenho com a mão esquerda na tarefa de traçado de figura

em forma de estrela e mínima atenção para a tarefa de sequência de toques dos dedos (Dass, $n=10$); prática na tarefa dual com atenção distribuída de forma simétrica entre as duas tarefas (Dsim, $n=11$); e prática da tarefa singular com atenção plena à mão esquerda na tarefa de traçado de figura em forma de estrela (Sing, $n=11$). A etapa de prática foi iniciada imediatamente após os testes iniciais, com a realização de uma sessão de 75 tentativas na condição respectiva ao grupo do participante. As sessões de prática subsequentes foram feitas em dois dias (com intervalos de 24-48 h), com 75 tentativas por dia, totalizando 225 tentativas de prática. O grupo Dass foi instruído a melhorar o desempenho nas duas tarefas, orientando sua atenção para a execução da tarefa de traçado da estrela, buscando percorrer a maior distância sem cometer erros espaciais, sendo que o desempenho na tarefa de toques dos dedos deveria ser mantido de forma contínua, usando-se a atenção mínima necessária para isso. O grupo Dsim foi orientado a distribuir a atenção igualmente entre as duas tarefas, buscando melhorar o desempenho igualmente em ambas. O grupo Sing foi instruído a melhorar ao máximo o desempenho na tarefa de prática, o que exigiu atenção plena à sua execução. Quinze minutos após encerrada a última sessão de prática foi aplicado o pós-teste, e uma semana depois foi aplicado o teste de retenção, adotando-se os mesmos procedimentos do pré-teste. No decorrer do experimento, era enfatizado que o participante mantivesse o foco atencional conforme instruído. Esse reforço na instrução era dado a cada dez tentativas aproximadamente.

Para a tarefa de toque entre os dedos era informado o número de toques feitos ao final de cada tentativa (conhecimento de resultados), enquanto que para a tarefa de traçado de estrela o participante avaliava diretamente seu desempenho no monitor observando o traçado realizado em cada tentativa. O intervalo intertentativas dentro de cada sessão era de aproximadamente 10 s, e a cada 15 tentativas era dado descanso passivo de 1 minuto. O desempenho na etapa de prática era registrado em 3 momentos em cada sessão, a saber: 3 tentativas finais da série inicial de 10 primeiras tentativas da sessão (tentativas 8-10), nas tentativas que marcavam metade da sessão de prática (primeira sessão, tentativas 36-38; segunda sessão, tentativas 111-113; terceira sessão, tentativas 186-188), e nas 3 últimas tentativas de cada sessão. Cada três tentativas registradas correspondem a um bloco de tentativas, totalizando 9 blocos registrados durante a prática. Quando o participante cometia mais de três erros na sequência de toques sequenciais ou quando cometia erros espaciais exagerados (avaliados subjetivamente pelo experimentador), a tentativa nos testes era cancelada e refeita em seguida. Ao final de cada sessão de prática, os participantes respondiam às questões de percepção da orientação da atenção e dificuldade da tarefa durante

a prática. O tempo de reação probatório era avaliado apenas nos testes a fim de prevenir adaptação à tarefa de avaliação.

6.4 Análise de dados

As variáveis dependentes foram as seguintes: (a) delta do tempo de reação, correspondendo à diferença entre o tempo de reação auditivo durante o desempenho das tarefas motoras primárias (probatório) e o tempo de reação auditivo puro, sem execução de tarefa secundária; (b) distância percorrida no traçado da estrela, dado pela somatória dos segmentos de braço da estrela (linha central), sendo o início da medida correspondente ao ponto estipulado para o início do movimento e o ponto final correspondente à projeção do fim do traçado realizado pelo participante (Figura 2); e (c) número de toques subsequentes dos dedos na mesa de suporte, sendo um toque contabilizado quando o dedo, a partir da posição inicial, tocava a mesa de suporte e retornava a posição inicial.

Figura 2. Representação do cálculo da distância percorrida no traçado da estrela. As linhas finas representam os limites mínimo e máximo da estrela. A linha preta espessa representa o traçado realizado e a linha preta central representa o percurso somado para a mensuração da variável.

Foi testada a normalidade dos dados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a análise da variação da demanda atencional, as tarefas foram avaliadas separadamente e empregada uma ANOVA de dois fatores, 3 (grupo: Dsim x Dass x Sing) x 3 (fase: pré x pós x retenção), com medidas repetidas no segundo fator. Para analisar as tentativas de prática na

tarefa de toques entre dedos foi empregada uma ANOVA de dois fatores, 2 (grupo: Dsim x Dass) x 9 (blocos), com medidas repetidas no segundo fator. Para analisar as tentativas de prática na tarefa de traçado da estrela foi empregada uma ANOVA de dois fatores, 3 (grupo: Dsim x Dass x Sing) x 9 (blocos), com medidas repetidas no segundo fator. O desempenho nos testes foi analisado por meio de ANOVA de três fatores, 3 (grupo: Dsim x Dass x Sing) x 3 (fase: pré-teste x pós-teste x retenção) x 2 (tarefa: singular x dual), com medidas repetidas nos dois últimos fatores. Comparações posteriores foram feitas com a prova de Duncan. Em todas as análises foi adotado o nível de significância de 5%. As análises foram feitas usando-se o software Statistica (StatSoft). Serão relatadas apenas diferenças significantes ($p \leq 0,05$), acompanhadas pelos respectivos valores de tamanho do efeito, dado por *eta* parcial quadrático (η_p^2). Os resultados completos das análises podem ser encontrados nos Anexos.

7 RESULTADOS

7.1 Avaliações subjetivas

Ao analisar as respostas às questões de percepção de orientação da atenção (Figura 3A), observa-se na sessão 1 que alguns participantes, principalmente do grupo Dsim, relataram que conseguiram orientar a atenção metade do tempo (27%), mostrando uma dificuldade em seguir a instrução, enquanto participantes do grupo Sing tiveram maior facilidade em orientar a atenção (90% respostas 4 e 5). Na sessão 2, observa-se uma melhora na orientação da atenção, pois a frequência de respostas “metade do tempo” foi reduzida (15,6% para 6,2%), aumentando-se a frequência de respostas “todo o tempo” (de 9,3% para 15,6%). Na sessão 3, houve um aumento de respostas “todo o tempo” (21,9%), sugerindo que a prática de controlar a atenção facilitou a orientação desta. Nas três sessões, os participantes relataram que conseguiram orientar sua atenção conforme instruído na “maior parte do tempo” (sessão 1 - 75%; sessão 2 - 78%; sessão 3 - 72%). Quanto à dificuldade das tarefas de prática, na primeira sessão, os participantes tiveram suas respostas distribuídas entre “baixa” e “muito alta” (baixa 9,4%; moderada 34,4%; alta 43,7%; muito alta 12,5%), nenhum participante relatou dificuldade de tarefa “muito baixa”. Na segunda sessão, diminuiu a quantidade de respostas “muito alta” (12,5% para 3,1%) para a dificuldade da tarefa, a grande maioria dos participantes achou a dificuldade da tarefa “moderada” (50%) e “alta” (34,4%). Na terceira sessão a percepção de dificuldade ficou distribuída, aumentado a quantidade de respostas “muito baixa” (6,2%) e “baixa” (25%) (Figura 3B). Estes dados demonstraram variação na percepção de dificuldade entre as sessões, sugerindo que no início os participantes tiveram maior dificuldade para realizar as tarefas, e com a prática as tarefas tornaram-se mais fáceis de executar.

Figura 3. Frequência de respostas sobre percepção de distribuição de atenção e dificuldade da tarefa comparando os grupos (Dsim, atenção simétrica; Dass, atenção assimétrica; Sing, tarefa singular) nas três sessões de prática. Questão 1 (A): Consegui orientar minha atenção conforme instruído: de 1 (em nenhum momento) à 5 (todo o tempo). Questão 2 (B): A dificuldade da tarefa foi: de 1 (muito baixa) até 5 (muito alta).

7.2 Demanda atencional

Na Figura 4 são apresentados os resultados da análise do delta do tempo de reação probatório. Para a tarefa de traçado de estrela foi encontrado efeito principal significativo para fase, $F(2, 58)=6,64$, $p<0,005$, $\eta_p^2=0,18$, com comparações post hoc mostrando que no pós-teste ($M=146,03$ ms, $ep=15,80$) e retenção ($M=158,57$ ms, $ep=16,56$) o delta de tempo de reação foi menor do que no pré-teste ($M=192,82$ ms, $ep=18,13$). Para a tarefa de toques sequenciais foi encontrado efeito principal significativo para fase, $F(2, 58)=34,41$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,54$, com comparações post hoc mostrando valores menores no pós-teste ($M=96,84$ ms, $ep=17,85$) e retenção ($M=103,78$ ms, $ep=18,58$) em relação ao pré-teste ($M=192,30$ ms, $ep=21,87$). A análise da tarefa dual também indicou efeito principal significativo para fase, $F(2, 58)=11,03$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,27$, com comparações post hoc mostrando que os valores observados no pós-teste ($M=221,44$ ms, $ep=19,44$) e retenção ($M=230,54$ ms, $ep=18,69$) foram menores em comparação ao pré-teste ($M=286,65$ ms, $ep=22,40$). Não foram encontradas diferenças significantes entre pós-teste e retenção nas três análises.

Figura 4. Delta do tempo de reação (ms), comparando os grupos (Dsim, atenção simétrica; Dass, atenção assimétrica; Sing, tarefa singular) em função das tarefas e testes (pré-teste, PRÉ x pós-teste, PÓS x retenção, RET); erro padrão representado por barras verticais.

7.3 Toques sequenciais

7.3.1 Fase prática

A análise do número de toques sequenciais mostrou efeito principal significativo para o fator bloco, $F(8, 152)=17,26$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,47$, com comparações post hoc mostrando que a quantidade de toques sequenciais entre blocos subsequentes foi aumentando significativamente até 5º bloco, sendo que a partir do 6º bloco não houve diferença de desempenho entre blocos adjacentes. Todos os blocos, exceto o 8º, apresentam número de toques significativamente inferior ao 9º bloco (Figura 5).

Figura 5. Frequência absoluta de toques sequenciais comparando os grupos de distribuição de atenção de forma simétrica (Dsim) e assimétrica (Dass) durante a prática (blocos de 3 tentativas); erro padrão representado por barras verticais.

7.3.2 Testes

A análise de número de toques sequenciais nos testes mostrou efeito principal significativo para o fator tarefa, $F(1, 29)=69,12$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,70$, e interação significativa grupo x fase, $F(4, 58)=10,76$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,42$. Comparações post hoc para o efeito de tarefa indicaram maior número de toques na tarefa singular ($M=56,55$, $ep=3,18$) em relação à tarefa dual ($M=46,30$, $ep=3,47$). Comparações post hoc para a interação grupo x fase indicaram que os grupos Dsim ($M=69,24$, $ep=6,73$) e Dass ($M=61,85$, $ep=5,70$) fizeram maior número de toques do que o grupo Sing ($M=42,31$, $ep=2,64$) no pós-teste, e retenção (Dsim, $M=67,69$, $ep=6,33$; Dass, $M=60,46$, $ep=5,76$; Sing, $M=43,27$, $ep=2,96$). Não foram encontradas diferenças significantes entre os grupos Dsim e Dass. Comparado com o pré-teste, os dois grupos de prática na tarefa dual aumentaram significativamente o número de toques no pós-teste e retenção, enquanto que o grupo Sing não apresentou diferenças significantes entre os testes. Os resultados são representados na Figura 6.

Figura 6. Frequência absoluta de toques sequenciais, comparando os grupos (Dsim, atenção simétrica; Dass, atenção assimétrica; Sing, tarefa singular) em função da tarefa (singular versus dual) e teste (pré-teste, PRÉ x pós-teste, PÓS x retenção, RET); erro padrão representado por barras verticais. Diferenças significantes entre os grupos Dsim/Dass em comparação ao grupo Sing são indicadas por asterisco.

7.4 Traçado de estrela

7.4.1 Fase prática

A análise da distância percorrida do traçado de estrela na fase de prática indicou efeito principal significativo para ambos os fatores: grupo, $F(2, 29)=4,31$, $p<0,005$, $\eta_p^2=0,22$, e bloco, $F(8, 232)=47,29$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,61$. Comparações post hoc indicaram maiores valores para o grupo Sing ($M=30,34$ cm, $ep=3,42$) em relação ao grupo Dsim ($M=19,76$ cm, $ep=2,80$), enquanto que não foram encontradas diferenças significantes entre estes dois grupos e o grupo Dass ($M=24,64$ cm, $ep=3,45$). Comparações post hoc para o efeito de bloco indicaram melhora significativa de desempenho entre blocos subsequentes ao primeiro até o sexto bloco de tentativas, sendo que a partir desse bloco não foi observada diferença significativa entre

blocos adjacentes. No 9º bloco de tentativas os participantes percorreram distância significativamente maior em relação todos os blocos anteriores, exceto ao 8º bloco (Figura 7).

Figura 7. Comparação da distância percorrida (cm) no traçado de estrela entre os grupos (Dsim, atenção simétrica; Dass, atenção assimétrica; Sing, tarefa singular) durante os blocos de tentativas de prática; erro padrão representado por barras verticais. Diferença significativa entre os grupos Dsim e Sing indicada por asterisco.

7.4.2 Testes

A Figura 8 mostra um exemplo individual típico do traçado da estrela representativo do desempenho do grupo Dsim para cada fase de teste em cada tarefa. Nesta figura pode ser observado que foi percorrida maior distância do traçado de estrela no pós-teste e teste de retenção quando comparado ao pré-teste, e não se observa diferença entre pós-teste e retenção para as duas condições. A análise dos testes mostrou interação significativa entre os fatores grupo, fase e tarefa, $F(4, 58)=15,20$, $p<0,001$, $\eta_p^2=0,51$. Comparações post hoc indicaram que no pré-teste todos os grupos tiveram melhor desempenho na tarefa singular em relação à tarefa dual; no pós-teste e retenção o grupo Dsim não mostrou diferenças significantes entre as tarefas singular e dual; no pós-teste, o grupo Dass não mostrou diferença entre as tarefas

singular e dual, enquanto que no teste de retenção a distância percorrida foi significativamente maior na tarefa singular do que na dual. O grupo Sing percorreu maior distância na tarefa singular em comparação com a tarefa dual tanto no pós-teste quanto no teste de retenção. Todos os grupos melhoraram o desempenho no pós-teste e retenção em ambas as tarefas quando comparado com o pré-teste. Para a tarefa singular, não foi encontrada diferença significativa entre os três grupos em todos os testes; para o grupo Sing, mas não para os grupos de prática na tarefa dual, houve declínio significativo de desempenho na retenção em relação ao pós-teste. Para a tarefa dual, todos os grupos tiveram desempenho similar no pré-teste, enquanto que no pós-teste e retenção os grupos Dsim e Dass percorreram maior distância quando comparado ao grupo Sing. Os resultados são representados na Figura 9.

Figura 8. Tentativas de traçado de estrela de um participante do grupo Dsim em cada teste em condição singular e dual. As linhas finas representam os limites mínimo e máximo da estrela, sendo a linha central a referência central para fazer o traçado. A linha preta espessa representa o traçado realizado pelo participante.

Figura 9. Distância percorrida no traçado de estrela (cm), comparando os grupos (Dsim, atenção simétrica; Dass, atenção assimétrica; Sing, tarefa singular) em função da tarefa (singular versus dual) e testes (pré-teste, PRÉ x pós-teste, PÓS x retenção, RET); erro padrão representado por barras verticais.

8 DISCUSSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da distribuição de atenção durante a prática de duas tarefas manuais simultâneas sobre a aprendizagem motora de cada tarefa singular e da tarefa dual. Nossas hipóteses foram de que maior atenção para a ação de uma das mãos durante a prática induziria maior ganho de desempenho e de automatização do que pouca atenção. Para testar essas hipóteses, foi estabelecida uma graduação de atenção em condições que variaram de atenção mínima a atenção plena para uma das tarefas singulares. Os resultados da análise da demanda atencional mostraram que para todas as condições houve diminuição do tempo de reação probatório nas tarefas singulares e dual de forma similar entre os grupos, indicando que os diferentes regimes de atenção não afetaram a automatização dos movimentos pela prática. Para as tarefas de prática, foi verificado prejuízo de desempenho durante a aquisição pela atenção reduzida à tarefa de toques. Entretanto, os diferentes regimes de atenção para as tarefas durante a prática não afetaram a aprendizagem, que foi similar entre os grupos tanto para a tarefa de toques entre dedos quanto para a tarefa de traçado de estrela. Os resultados também demonstraram que os grupos que praticaram a tarefa dual tiveram aprendizagem equivalente da tarefa singular e desempenho superior na tarefa dual quando comparado ao grupo que praticou tarefa singular. Dessa forma, parece que houve uma potencialização da aprendizagem através da prática da tarefa dual, e esta não foi afetada pela quantidade de recursos atencionais alocados às tarefas, pois para ambas as condições de prática dual o ganho de desempenho foi semelhante.

8.1 Demanda atencional

Ao analisar a demanda atencional, observou-se que todos os grupos diminuíram a demanda de atenção para a execução das tarefas de toques entre dedos e de traçado de estrela, realizadas de forma independente ou simultânea. A redução do tempo de reação probatório para o grupo Sing na tarefa de toques sequenciais foi surpreendente, pois esperava-se que apenas os dois grupos que praticaram esta tarefa (Dass e Dsim) tivessem valores reduzidos nos testes após a prática. Este resultado sugere um efeito de testagem, com melhora de desempenho na tarefa probatória em função da experiência obtida no pré-teste. As reduções mais evidentes do tempo de reação probatório para as tarefas praticadas, contudo, sugerem mudanças na demanda atencional para as tarefas realizadas tanto na condição singular quanto dual para todos os grupos, independentemente da alocação de atenção dada a cada tarefa

durante a prática. Dessa forma, diferentes regimes de orientação de atenção durante a prática parecem não ter afetado a automatização dos movimentos. Entretanto, após a prática ainda foi verificado um maior tempo de reação probatório na realização da tarefa dual, que parece necessitar de maior quantidade recursos atencionais para sua realização.

Estudos têm indicado que a mudança de modos de processamento controlado para automatizado pela prática está associada à mudança do padrão de ativação cerebral. Durante estágios iniciais de aprendizagem, áreas relacionadas à atenção, como córtex pré-frontal dorsolateral, e ao planejamento do movimento, como córtex pré-motor, apresentam maior ativação (DEBAERE et al., 2004; JUEPTNER et al., 1997). A prática parece conduzir à diminuição da ativação dessas áreas cerebrais e ao aumento da ativação de regiões subcorticais (ALBOUY et al., 2008; FLOYER-LEA; MATTHEWS, 2004; REMY et al., 2008; UNGERLEIDER; DOYON; KARNI, 2002; WU; KANSAKU; HALLETT, 2004). Em estágios mais avançados de aprendizagem, o aumento na ativação de regiões subcorticais, como núcleos da base (PARSONS; HARRINGTON; RAO, 2005), indicam melhor controle do movimento e diminuição da requisição de atenção para a ação, sugerindo sua automatização. No presente estudo, a diminuição do tempo de reação na tarefa probatória indica diminuição da demanda atencional para as tarefas, que pode ter sido mediada pela variação da ativação de áreas corticais e subcorticais ao aprender as tarefas principais.

8.2 Desempenho nas tarefas motoras

Ao analisar a fase de aquisição da tarefa de traçado de estrela, foi verificada melhora de desempenho ao longo das sessões de prática com estabilização nos dois últimos blocos. A condição de atenção distribuída de forma simétrica teve um desempenho inferior à condição de atenção plena (Sing). A análise descritiva indicou que a condição de atenção distribuída de forma assimétrica também apresentou tendência de desempenho inferior ao grupo de atenção plena. Para a tarefa de toques sequenciais, foi observada melhora crescente no desempenho com uma tendência a estabilização nos últimos blocos, e a condição que distribuiu a atenção de forma assimétrica apresentou um desempenho descritivamente inferior a condição que distribuiu a atenção de forma simétrica. O desempenho inferior verificado sugere que houve interferência durante a prática da tarefa dual relacionada à menor quantidade de recursos atencionais alocados às tarefas em cada condição. Estes resultados corroboram estudos prévios sugerindo que menor disponibilidade de recursos atencionais à tarefa levaram a um prejuízo no desempenho durante a aquisição (EYSENCK; THOMPSON, 1966; ROY; PARK,

2016). Ainda que possa haver prejuízo para o desempenho pela interferência entre as demandas atencionais de cada tarefa durante esta fase, é conhecido que a prática tende a reduzir esta interferência (RUTHRUFF; JOHNSTON; VAN SELST, 2001). No presente estudo, a prática levou à redução da interferência, entretanto, esta não foi eliminada, pois nos testes foi verificado um prejuízo de desempenho da tarefa de toques sequenciais realizada em condição dual em relação à execução de forma singular. É provável que o prejuízo de desempenho observado seja devido à alta demanda atencional da tarefa dual, pois quando se executam as tarefas separadamente a soma da demanda atencional das duas tarefas é menor do que a demanda requisitada pela execução das duas tarefas simultâneas. Segundo Kahneman (1973), os recursos atencionais tentam compensar o aumento de demanda disponibilizando mais recursos conforme a procura aumenta, mas isso ocorre até um certo limite. Assim, é possível, que o sistema não tenha conseguido suprir a demanda atencional alocada a cada tarefa durante o teste da tarefa dual. Embora a prática tenha reduzido a demanda atencional das tarefas, é possível que a redução não tenha sido tão acentuada quanto necessário. No pós-teste, ao final a fase de aquisição, ainda havia interferência entre as tarefas, o que sugere que não havia recursos suficientes disponíveis para a execução das duas tarefas sem prejuízo para o desempenho.

A interferência observada durante a aquisição das condições que praticaram a tarefa dual não prejudicou a aprendizagem das tarefas individualmente, pois foi verificado desempenho semelhante entre os grupos quando as duas tarefas foram executadas de forma singular, demonstrando que não houve prejuízo de aprendizagem para as condições de distribuição de atenção em relação à atenção plena. Os resultados encontrados são consistentes com os achados de Eysenck e Thompson (1966), que verificaram que quanto maior a dificuldade de uma tarefa de distração (vários graus de dificuldade), pior foi o desempenho na tarefa principal de perseguição de um alvo durante a aquisição. Entretanto, após a retirada da tarefa de distração, todos os grupos tiveram desempenho semelhante, mostrando que aprenderam a tarefa de perseguição de forma equivalente, mesmo direcionando maior ou menor atenção à tarefa principal. Em estudo anterior realizado pelo nosso grupo (CLAUDIO, 2011), foi mostrado que dividir a atenção entre uma tarefa de toques entre os dedos de uma das mãos e uma tarefa visuoespacial não prejudicou a aprendizagem em relação à prática das tarefas de forma singular. Os resultados do presente estudo coincidem com os encontrados por Claudio (2011), pois os grupos que realizaram as condições de atenção plena e atenção dividida/simétrica na prática também obtiveram taxa de aprendizagem semelhante para a tarefa visuoespacial. Além de confirmar resultados

anteriores, foi verificado que para a tarefa de traçado de estrela diferentes disponibilidades de recursos atencionais não prejudicaram a aprendizagem em relação à atenção plena, e ainda a condição que alocou mínima atenção à tarefa de toques aprendeu de forma equivalente a condição com maior alocação de recursos atencionais.

Considerando este último resultado para a tarefa de toques sequenciais, foi surpreendente que mesmo com baixa demanda atencional a tarefa tenha sido aprendida de forma equivalente a uma maior demanda atencional. Uma vez que a atenção tem sido sugerida ser fundamental para a aprendizagem (BINKOFSKI et al., 2002; DEBAERE et al., 2004; HAZELTINE; GRAFTON; IVRY, 1997; JOHANSEN-BERG; MATTHEWS, 2002; MILNIK; NOWAK; MULLER, 2013; ROWE et al., 2002), não era esperado que com pouca atenção esta tarefa fosse aprendida. É possível que este resultado esteja relacionado à apresentação de uma tarefa nova aos participantes. Segundo Plautz, Milliken e Nudo (2000), a plasticidade cortical é dependente de aprendizagem, de forma que a simples execução de uma tarefa já aprendida parece não levar à modificação dos mapas corticais. No entanto, a prática de nova tarefa pode ser suficiente para induzir aprendizagem. Suporte a esta proposição foi fornecido por resultados de Boyd, Vidoni e Wessel (2010) indicando que a aprendizagem de movimentos sequenciais levou à modificação da ativação cortical em indivíduos com dano cerebral, em contraste à ausência de alterações no padrão de ativação cortical quando eram praticadas seqüências sem necessidade de aprendizagem. É conhecido que para ocorrer aprendizagem, além da atenção, inúmeros processos são exigidos, como planejamento da ação motora, memória de trabalho, processamento e integração da informação sensorial, processamento espacial, e monitoramento de feedback (HALSBAND; LANGE, 2006). Assim, o processo de aprendizagem de uma nova habilidade não depende apenas da atenção, mas de múltiplos mecanismos (DAYAN; COHEN, 2011), que no caso do presente estudo podem ter levado os participantes a aprender a habilidade mesmo com poucos recursos atencionais alocados à tarefa.

Além dos múltiplos mecanismos que envolvem a aprendizagem, é possível que em virtude de as tarefas empregadas terem sido motoras, a distribuição dos recursos atencionais não afetou a aprendizagem. Chun e Turk-Browne (2007) propõem que o impacto de dividir a atenção na memória depende de como esta é dividida e do tipo de tarefa. As pesquisas indicam que tarefas que envolvem a memória explícita dependem da disponibilidade de recursos cognitivos do córtex pré-frontal e das regiões parietais superiores, e quando estas tarefas são realizadas simultaneamente a uma segunda tarefa que envolva o circuito frontoparietal pode haver a interrupção da formação da memória. Entretanto, para a formação

de memória implícita esse efeito não tem sido encontrado. Embora ainda não se conheça completamente os mecanismos da memória implícita, parece existir uma relação desta com a rede fronto-estriatal para sua consolidação (SQUIRE, 2009). Roy et al. (2015) demonstraram que pacientes com doença de Parkinson tiveram um prejuízo na memória implícita devido ao dano que eles apresentavam na rede fronto-estriatal. Um estudo recente indicou um aumento da ativação do estriado do início ao fim da prática, demonstrando sua relação com a consolidação da memória implícita (FOGEL et al., 2017). Além do estriado, tem sido mostrado que a rede córtico-cerebelar desempenha papel importante na consolidação da aprendizagem. Segundo Doyon et al. (2009), durante a fase inicial de aquisição, há uma interação dinâmica entre o estriado, cerebelo, áreas motoras corticais, córtex pré-frontal, córtex parietal e hipocampo, estando as duas redes envolvidas na aquisição. Enquanto que na fase mais avançada de aprendizagem se a habilidade envolver adaptação motora a rede córtico-cerebelar é responsável, e se envolver uma tarefa de sequência motora a representação neural desta poderia ocorrer na rede córtico-estriatal. Assim, no caso das tarefas empregadas no presente estudo, é possível que a tarefa de sequência motora tenha sido consolidada no estriado e a tarefa visuoespacial, por ser uma tarefa que exigia precisão, tenha sido consolidada na rede córtico-cerebelar, não havendo interferência de uma na consolidação e consequente aprendizagem da outra, o que pode ter minimizado o efeito da atenção distribuída entre as tarefas.

Para a tarefa de traçado de estrela, a condição de tarefa singular (atenção plena) teve prejuízo de desempenho na execução da tarefa dual. Durante a prática, os participantes praticando nesta condição supostamente alocaram todos os recursos atencionais a apenas uma tarefa. No momento em que foi requisitada uma maior demanda atencional para executar a tarefa dual, é possível que o sistema tenha apresentado maior dificuldade em dividir seus recursos e retirado uma parte dos recursos de processamento necessários à execução da tarefa de traçado e direcionado estes para a tarefa de toques, que não havia sido praticada, o que pode ter ocasionado o pior desempenho deste grupo. Outro resultado interessante observado na tarefa de traçado foi que as condições que praticaram a tarefa dual tiveram desempenho semelhante entre as tarefas singular e dual. É possível que a prática simultânea das tarefas tenha levado a uma potencialização da aprendizagem, facilitando a execução destas em diferentes condições, o que não ocorreu ao praticar de forma singular. Como as duas condições de prática dual tiveram melhora semelhante, esta potencialização parece ser independente da distribuição de atenção durante a aquisição. Porém, como indicam alguns estudos, a aprendizagem pode ser dependente do tipo de tarefa secundária (GOH; LEE;

FISHER, 2013; GOH et al., 2012; ROCHE et al., 2007). Segundo Roche et al. (2007), a presença de uma segunda tarefa difícil durante a aquisição previne a diminuição de recursos atencionais e proporciona estimulação adicional, que resulta em melhor aprendizagem. Outros pesquisadores sugerem que o que determina se a tarefa secundária irá afetar ou não o desempenho são os processos envolvidos durante a aquisição, sendo que processos cognitivos comuns entre as tarefas geram interferência durante a prática, porém, parecem mediar os efeitos benéficos da prática de tarefa dual para a aprendizagem (GOH et al., 2012; HEMOND; BROWN; ROBERTSON, 2010).

A potencialização da aprendizagem pela hipótese de processos cognitivos comuns não se adequa para o presente trabalho, pois a escolha das tarefas teve como objetivo não haver competição pelas mesmas estruturas neurais para sua realização simultânea. O controle de movimentos sequenciais como toques entre dedos envolve a ativação de áreas do hemisfério cerebral esquerdo, como córtex parietal, área motora suplementar e o córtex pré-motor (GRAFTON; HAZELTINE; IVRY, 2002; HAALAND et al., 2004; SERRIEN; IVRY; SWINNEN, 2006). E o processamento de aspectos visuoespaciais tem predomínio de ativação das áreas corticais frontal superior e parietal superior do hemisfério cerebral direito (CORBETTA et al., 1993; SERRIEN; IVRY; SWINNEN, 2006). Dessa forma, não foram envolvidas as mesmas estruturas neurais durante a realização das tarefas. A hipótese da potencialização pela escolha de uma segunda tarefa mais difícil é parcialmente possível, pois a tarefa dual impõe maior exigência cognitiva ao indivíduo mobilizando maior quantidade de recursos atencionais. Todavia, esta hipótese sugere que conforme aumenta o tempo de prática a redução dos recursos atencionais é prevenida pela realização de uma segunda tarefa mais difícil, e os resultados do presente estudo indicam que a demanda atencional para as tarefas foi reduzida através da prática.

Até o momento, os processos subjacentes à facilitação da aprendizagem por desempenhar uma segunda tarefa simultaneamente não são claros. Para o presente trabalho, é possível que a tarefa dual tenha potencializado a aprendizagem por uma maior ativação cerebral durante sua prática. Wu, Kansaku e Hallett (2004) demonstraram que movimentos mais difíceis requerem maior ativação de áreas do córtex pré-motor, parietal e cerebelo comparada a movimentos mais fáceis, indicando que tarefas mais complexas requerem maior ativação cerebral. Carey, Bhatt e Negpal (2005) sugerem que uma tarefa complexa pode influenciar a quantidade de neuroplasticidade que resulta da prática, levando à maior plasticidade do que uma tarefa simples devido a tarefa complexa requerer alta ativação neural e intenso esforço cognitivo.

De maneira semelhante, a realização de tarefas simultâneas parece ter maior necessidade de processos cognitivos para o planejamento das tarefas e maior demanda atencional, favorecendo a ativação do córtex frontal (KÜBLER; SCHUBERT, 2017; REMY et al., 2008; SALO et al., 2015). Sakai, Ramnani e Passingham (2002) sugerem que ao realizar duas tarefas simultaneamente os mecanismos neurais de aprendizagem interagem no lobo frontal. Estes estudos demonstram que áreas pré-frontais estão especificamente envolvidas em tarefas duais, possivelmente por serem áreas responsáveis pela central executiva da memória de trabalho (BADDELEY, 1992), sendo que sua maior ativação recruta áreas de planejamento das tarefas que podem levar à potencialização da aprendizagem. Assim, para o presente estudo é possível que a realização simultânea das duas tarefas tenha requisitado maior participação de áreas frontais para o planejamento simultâneo das tarefas, o que pode ter levado à potencialização da aprendizagem. Além do fator tarefa dual, estudos sugerem que diferentes regimes de distribuição de atenção em tarefas cognitivas melhoram o controle atencional, que também parece estar relacionado à potencialização da aprendizagem (BELLEVILLE et al., 2014; ZENDEL et al., 2016). Segundo Belleville et al. (2014), diferentes estratégias de orientação de atenção na execução de tarefa dual levam ao aumento da ativação em regiões pré-frontais (giro frontal médio) envolvidas no controle atencional e multitarefas. Além disso, a melhora na habilidade de controlar a atenção aumenta a eficiência de inibir processos cognitivos relacionados à tarefa que não devem ser priorizados (ZENDEL et al., 2016), levando a uma melhor utilização dos recursos necessários à aprendizagem das tarefas. Assim, é possível que no presente trabalho, as tarefas realizadas simultaneamente tenham requisitado mais processos cognitivos, que levaram ao melhor planejamento e controle atencional das duas tarefas, sendo que estes fatores podem ter viabilizado os melhores efeitos de aprendizagem observados.

9 CONCLUSÕES

- (1) O regime de distribuição de atenção não afetou a automatização de movimentos associada à aprendizagem.
- (2) A aprendizagem de cada tarefa individualmente não foi afetada pela divisão de atenção com outra tarefa.
- (3) Em ambos os regimes de distribuição de atenção, a prática na tarefa dual levou aos melhores efeitos de aprendizagem, com ganho semelhante em tarefa singular (traçado) e ganho superior na tarefa dual em comparação à prática em tarefa singular.

10 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Os resultados encontrados no presente trabalho têm implicações para a aquisição de habilidades motoras complexas, com destaque para habilidades esportivas e musicais, uma vez que nesse tipo de tarefa algumas vezes o que se executa com uma mão é diferente do que é executado com a outra. Como, por exemplo, ao tocar instrumentos de cordas (violão, cavaquinho, etc.), nos quais enquanto uma mão deve fazer o acorde e a outra deve fazer soar esse acorde com um movimento diferente. Nestes casos o procedimento de ensino convencional é a prática por partes, para se obter total atenção à execução do componente praticado da tarefa, deixando a combinação dos diferentes componentes elementares da tarefa para um estágio de aprendizagem mais avançado. Todavia, nossos dados sugerem que a prática da tarefa dual, envolvendo a ação das duas mãos simultaneamente, pode gerar aprendizagem superior à prática das mesmas habilidades de forma separada. Assim, os dados aqui apresentados sugerem que habilidades musicais e esportivas poderiam ser ensinadas de forma global desde o início, com efeitos potencialmente superiores de aprendizagem.

REFERÊNCIAS²

- ALBOUY, G. et al. Both the hippocampus and striatum are involved in consolidation of motor sequence memory. **Neuron**, Cambridge, v. 58, n. 2, p. 261-272, Apr. 2008.
- ANDRES, F. G. et al. Functional coupling of human cortical sensorimotor areas during bimanual skill acquisition. **Brain: a Journal of Neurology**, Oxford, v. 122, p. 855-870, May 1999.
- BADDELEY, A. Working memory. **Science**, Washington, v. 255, n. 5044, p. 556-559, 1992.
- BELLEVILLE, S. et al. The pattern and loci of training-induced brain changes in healthy older adults are predicted by the nature of the intervention. **PloS One**, San Francisco, v. 9, n. 8, p. e102710, Aug. 2014.
- BINKOFSKI, F. et al. Neural activity in human primary motor cortex areas 4a and 4p is modulated differentially by attention to action. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 88, n. 1, p. 514-519, July 2002.
- BOYD, L. A.; VIDONI, E. D.; WESSEL, B. D. Motor learning after stroke: is skill acquisition a prerequisite for contralesional neuroplastic change? **Neuroscience Letters**, Limerick, v. 482, n. 1, p. 21-25, Sept. 2010.
- BROADBENT, D. E. **Perception and communication**. Londres: Pergamon Press, 1958.
- BROWN, R. M.; ROBERTSON, E. M. Inducing motor skill improvements with a declarative task. **Nature Neuroscience**, New York, v. 10, n. 2, p. 148-149, Feb. 2007.
- CAREY, J. R.; BHATT, E.; NAGPAL, A. Neuroplasticity promoted by task complexity. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, Hagerstown, v. 33, n. 1, p. 24-31, Jan. 2005.
- CASADIO, M. et al. Inter-limb interference during bimanual adaptation to dynamic environments. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 202, p. 693-707, Feb. 2010.
- CHUN, M. M.; TURK-BROWNE, N. B. Interactions between attention and memory. **Current Opinion in Neurobiology**, London, v. 17, n. 2, p. 177-184, Mar. 2007.
- CLAUDIO, A. P. K. **Aprendizagem em tarefas duais: variação de desempenho e demanda atencional**. 2011. 55 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências). Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

² De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

CONTE, A. et al. Attention influences the excitability of cortical motor areas in healthy humans. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 182, n. 1, p. 109-117, Sept. 2007.

CORBETTA, M. et al. A PET study of visuospatial attention. **The Journal of Neuroscience**, Washington, v. 13, n. 3, p. 1202-1226, Mar. 1993.

DAYAN, E.; COHEN, L. G. Neuroplasticity subserving motor skill learning. **Neuron**, Cambridge, v. 72, n. 3, p. 443-454, Nov. 2011.

DEBAERE, F. et al. Changes in brain activation during the acquisition of a new bimanual coordination task. **Neuropsychologia**, Oxford, v. 42, n. 7, p. 855-867, Dec. 2004.

DEUSTSCH, J. A.; DEUTSCH, D. Attention: some theoretical considerations. **Psychological Review**, Washington, v. 70, n. 1, p. 80-90, 1963.

DOYON, J. et al. Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. **Behavioural Brain Research**, Amsterdam, v. 199, n. 1, p. 61-75, Apr. 2009.

DOYON, J.; BENALI, H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. **Current Opinion in Neurobiology**, London, v. 15, n. 2, p. 161-167, Apr. 2005.

EYSENCK, H. J.; THOMPSON, W. The effects of distraction on pursuit rotor learning, performance and reminiscence. **British Journal of Psychology**, London, v. 57, n. 1, p. 99-106, May 1966.

FISK, A. D.; SCHNEIDER, W. Memory as a function of attention, level of processing, and automatization. **Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition**, Arlington, v. 10, n. 2, p. 181-197, Apr. 1984.

FITTS, P. M.; POSNER, M. I. **Human performance**. Belmont, CA: Brooks/Cole, 1967.

FLOYER-LEA, A.; MATTHEWS, P. M. Changing brain networks for visuomotor control with increased movement automaticity. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 92, n. 4, p. 2405-2412, Feb. 2004.

FOGEL, S. et al. Reactivation or transformation? Motor memory consolidation associated with cerebral activation time-locked to sleep spindles. **PloS One**, San Francisco, v. 12, n. 4, p. e0174755, Apr. 2017.

GOH, H.-T.; LEE, Y.-Y.; FISHER, B. E. Neural correlates of dual-task practice benefit on motor learning: a repetitive transcranial magnetic stimulation study. **European Journal of Neuroscience**, Oxford, v. 37, n. 11, p. 1823-1829, Feb. 2013.

GOH, H. T. et al. Evaluation of attentional demands during motor learning: validity of a dual-task probe paradigm. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v. 46, n. 2, p. 95-105, Jan. 2014.

GOH, H. T. et al. Dual-task practice enhances motor learning: a preliminary investigation. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 222, n. 3, p. 201-210, Oct. 2012.

GRAFTON, S. T.; HAZELTINE, E.; IVRY, R. B. Motor sequence learning with the nondominant left hand. A PET functional imaging study. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 146, n. 3, p. 369-378, Oct. 2002.

HAALAND, K. Y. et al. Motor sequence complexity and performing hand produce differential patterns of hemispheric lateralization. **Journal of Cognitive Neuroscience**, Cambridge, v. 16, n. 4, p. 621-636, May 2004.

HALSBAND, U.; LANGE, R. K. Motor learning in man: a review of functional and clinical studies. **Journal of Physiology**, Paris, v. 99, n. 4-6, p. 414-424, June 2006.

HASHER, L.; ZACKS, R. T. Automatic and effortful processes in memory. **Journal of Experimental Psychology: General**, Washington, v. 108, p. 356-388, 1979.

HAZELTINE, E.; GRAFTON, S. T.; IVRY, R. Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence encoding. A PET study. **Brain: a Journal of Neurology**, Oxford, v. 120, p. 123-140, Jan. 1997.

HEMOND, C.; BROWN, R. M.; ROBERTSON, E. M. A distraction can impair or enhance motor performance. **The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience**, Washington, v. 30, n. 2, p. 650-654, Jan. 2010.

HOWARD, I. S.; INGRAM, J. N.; WOLPERT, D. M. Composition and decomposition in bimanual dynamic learning. **The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience**, Washington, v. 28, n. 42, p. 10531-10540, Oct. 2008.

_____. Context-dependent partitioning of motor learning in bimanual movements. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 104, p. 2082-2091, Aug. 2010.

HOYER, E. H.; BASTIAN, A. J. The effects of task demands on bimanual skill acquisition. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 226, n. 2, p. 193-208, Apr. 2013.

JAMES, W. **The principles of psychology**. Nova Iorque: Dover Publications, 1890.

JOHANSEN-BERG, H.; MATTHEWS, P. Attention to movement modulates activity in sensori-motor areas, including primary motor cortex. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 142, n. 1, p. 13-24, Nov. 2002.

JUEPTNER, M. et al. Anatomy of motor learning. I. Frontal cortex and attention to action. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 77, n. 3, p. 1313-1324, Mar. 1997.

KAHNEMAN, D. **Attention and effort**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1973.

KIDA, T.; TANAKA, E.; KAKIGI, R. Attention as a determinant of task performance: from basics to applications. **The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine**, Tokyo, v. 6, n. 2, p. 59-64, Jan. 2017.

KLEIM, J. A.; BARBAY, S.; NUDO, R. J. Functional reorganization of the rat motor cortex following motor skill learning. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 80, n. 6, p. 3321-3325, Dec. 1998.

KÜBLER, S.; SCHUBERT, T. P217 Disrupting cognitive control in dual-task situations by transcranial magnetic stimulation of the lateral prefrontal cortex. **Clinical Neurophysiology**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. e119, 2017.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?: conceitos fundamentais de neurociência**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LIMA, R. F. Compreendendo os mecanismos atencionais. **Ciências e Cognição**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 113-122, 2005.

LOGAN, G. D. Toward an instance theory of automatization. **Psychological Review**, Washington, v. 95, n. 4, p. 492-527, 1988.

MAGILL, R. A. **Aprendizagem motora: conceitos e aplicações**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2000.

MATTHEWS, A. et al. Neural correlates of performance trade-offs and dual-task interference in bimanual coordination: an ERP investigation. **Neuroscience Letters**, Limerick, v. 400, n. 1-2, p. 172-176, May 2006.

MILNIK, A.; NOWAK, I.; MULLER, N. G. Attention-dependent modulation of neural activity in primary sensorimotor cortex. **Brain and Behavior**, San Diego, v. 3, n. 2, p. 54-66, Mar. 2013.

MONNO, A. et al. Effects of attention on phase transitions between bimanual coordination patterns: a behavioral and cost analysis in humans. **Neuroscience Letters**, Limerick, v. 283, n. 2, p. 93-96, Apr. 2000.

MUIR, J. L. Attention and stimulus processing in the rat. **Cognitive Brain Research**, Amsterdam, v. 3, n. 3-4, p. 215-225, June 1996.

NUDO, R. J.; PLAUTZ, E. J.; MILLIKEN, G. W. Adaptive plasticity in primate motor cortex as a consequence of behavioral experience and neuronal injury. **Seminars in Neuroscience**, v. 9, n. 1-2, p. 13-23, 1997.

OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 97-113, Mar. 1971.

OSU, R. et al. Random presentation enables subjects to adapt to two opposing forces on the hand. **Nature Neuroscience**, New York, v. 7, n. 2, p. 111-112, Feb. 2004.

PARSONS, M. W.; HARRINGTON, D. L.; RAO, S. M. Distinct neural systems underlie learning visuomotor and spatial representations of motor skills. **Human Brain Mapping**, Minneapolis, v. 24, n. 3, p. 229-247, Mar. 2005.

PASCUAL-LEONE, A. et al. The plastic human brain cortex. **Annual Review of Neuroscience**, Palo Alto, v. 28, p. 377-401, 2005.

PASHLER, H. Dual-task interference in simple tasks: data and theory. **Psychological Bulletin**, Washington, v. 116, n. 2, p. 220-244, Sept. 1994.

PASSINGHAM, R. E. Attention to action. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences**, London, v. 351, n. 1346, p. 1473-1479, Oct. 1996.

PLAUTZ, E. J.; MILLIKEN, G. W.; NUDO, R. J. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, Orlando, v. 74, n. 1, p. 27-55, July 2000.

REBER, A. S. Implicit learning and tacit knowledge. **Journal of Experimental Psychology: General**, Washington, v. 118, n. 3, p. 219-235, 1989.

REMY, F. et al. Acquisition of a new bimanual coordination pattern modulates the cerebral activations elicited by an intrinsic pattern: an fMRI study. **Cortex**, Varese, v. 44, n. 5, p. 482-493, May 2008.

RÉMY, F. et al. Dual-task interference during initial learning of a new motor task results from competition for the same brain areas. **Neuropsychologia**, Oxford, v. 48, p. 2517–2527, Apr. 2010.

ROCHE, R. A. et al. Concurrent task performance enhances low-level visuomotor learning. **Perception and Psychophysics**, Austin, v. 69, n. 4, p. 513-522, May 2007.

ROSENKRANZ, K.; ROTHWELL, J. C. Spatial attention affects sensorimotor reorganisation in human motor cortex. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 170, n. 1, p. 97-108, Mar. 2005.

ROWE, J. et al. Attention to action: specific modulation of corticocortical interactions in humans. **NeuroImage**, Orlando, v. 17, n. 2, p. 988-998, Oct. 2002.

ROY, S.; PARK, N. W. Effects of dividing attention on memory for declarative and procedural aspects of tool use. **Memory and Cognition**, Austin, v. 44, n. 5, p. 727-739, July 2016.

ROY, S. et al. Interaction of memory systems during acquisition of tool knowledge and skills in Parkinson's disease. **Neuropsychologia**, Oxford, v. 66, p. 55-66, Jan. 2015.

RUTHRUFF, E.; JOHNSTON, J. C.; VAN SELST, M. Why practice reduces dual-task interference. **Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance**, Arlington, v. 27, n. 1, p. 3-21, Feb. 2001.

SAKAI, K.; RAMNANI, N.; PASSINGHAM, R. E. Learning of sequences of finger movements and timing: frontal lobe and action-oriented representation. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 88, n. 4, p. 2035-2046, Oct. 2002.

SALO, E. et al. Brain activations during bimodal dual tasks depend on the nature and combination of component tasks. **Frontiers in Human Neuroscience**, San Francisco, v. 9, n. 102, Feb. 2015.

SCHNEIDER, W.; CHEIN, J. M. Controlled and automatic processing: behavior, theory, and biological mechanisms. **Cognitive Science**, Norwood, v. 27, n. 3, p. 525-559, Jan. 2003.

SCHNEIDER, W.; FISK, A. D. Attention theory and mechanisms for skilled performance. In: MAGILL, R. A. (Ed.). **Memory and control of action**. Amsterdam: North-Holland, 1983. p.119-143.

SERRIEN, D. J.; IVRY, R. B.; SWINNEN, S. P. Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. **Nature Reviews Neuroscience**, London, v. 7, n. 2, p. 160-166, Feb. 2006.

SHIFFRIN, R. M.; SCHNEIDER, W. Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. **Psychological Review**, Washington, v. 84, n. 2, p. 127-190, Mar. 1977.

SQUIRE, L. R. Memory and brain systems: 1969-2009. **The Journal of Neuroscience**, Washington, v. 29, n. 41, p. 12711-12716, Oct. 2009.

STEFAN, K.; WYCISLO, M.; CLASSEN, J. Modulation of associative human motor cortical plasticity by attention. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 92, n. 1, p. 66-72, July 2004.

TCHEANG, L. et al. Simultaneous bimanual dynamics are learned without interference. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 183, n. 1, p. 17-25, Oct. 2007.

TREISMAN, A. M. Contextual cues in selective listening. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, London, v. 12, p. 242-248, 1960.

TRLEP, M.; MIHELJ, M.; MUNIH, M. Skill transfer from symmetric and asymmetric bimanual training using a robotic system to single limb performance. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 9, n. 43, p. 1-14, 2012.

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

WOLPERT, D. M.; FLANAGAN, J. R. Computations underlying sensorimotor learning. **Current Opinion in Neurobiology**, London, v. 37, p. 7-11, Dec. 2016.

WU, T.; KANSAKU, K.; HALLETT, M. How self-initiated memorized movements become automatic: a functional MRI study. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 91, n. 4, p. 1690-1698, Apr. 2004.

ZACH, N. et al. Single neurons in M1 and premotor cortex directly reflect behavioral interference. **PloS One**, San Francisco, v. 7, n. 3, p. e32986, Mar. 2012.

ZENDEL, B. R. et al. The impact of attentional training on event-related potentials in older adults. **Neurobiology of Aging**, New York, v. 47, p. 10-22, Nov. 2016.

ANEXOS

Anexo I

Tabela 1 - Resultado da análise de variância 3 (grupo) x 3 (fase) da demanda atencional para a tarefa de traçado de estrela

	SQ	gl	QM	F	p	η_p^2
Grupo	6161	2	3081	0,17	0,841	0,011
Erro	515578	29	17779			
Fase	34140	2	17070	6,64	0,002	0,186
Fase*Grupo	25149	4	6287	2,44	0,056	0,144
Erro	149043	58	2570			

SQ , soma de quadrados; gl , graus de liberdade; QM , quadrado médio; η_p^2 , eta quadrado parcial.

Anexo II

Tabela 2 - Resultado da comparação post hoc pelo teste de Duncan da demanda atencional para a tarefa de traçado de estrela

FASE	{1} 191,98	{2} 146,04	{3} 158,58
Pré-teste (1)		<0,001	0,010
Pós-teste (2)			0,326
Retenção (3)			

Anexo III

Tabela 3 - Resultado da análise de variância 3 (grupo) x 3 (fase) da demanda atencional para a tarefa de toques entre dedos

	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>QM</i>	F	<i>p</i>	η_p^2
Grupo	29815	2	14908	0,67	0,518	0,044
Erro	644060	29	22209			
Fase	182775	2	91387	34,41	<0,001	0,542
Fase*Grupo	14254	4	3563	1,34	0,265	0,084
Erro	154000	58	2655			

SQ, soma de quadrados; *gl*, graus de liberdade; *QM*, quadrado médio; η_p^2 , eta quadrado parcial.

Anexo IV

Tabela 4 - Resultado da comparação post hoc pelo teste de Duncan da demanda atencional para a tarefa de toques entre dedos

FASE	{1} 192,30	{2} 96,841	{3} 103,78
Pré-teste (1)		<0,001	<0,001
Pós-teste (2)			0,592
Retenção (3)			

Anexo V

Tabela 5 - Resultado da análise de variância 3 (grupo) x 3 (fase) da demanda atencional para a tarefa dual

	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>QM</i>	F	<i>p</i>	η_p^2
Grupo	55592	2	27796	1,23	0,304	0,078
Erro	650155	29	22419			
Fase	81011	2	40505	11,02	<0,001	0,275
Fase*Grupo	18236	4	4559	1,24	0,303	0,078
Erro	212999	58	3672			

SQ, soma de quadrados; *gl*, graus de liberdade; *QM*, quadrado médio; η_p^2 , eta quadrado parcial.

Anexo VI

Tabela 6 - Comparação post hoc pelo teste de Duncan da demanda atencional para a tarefa dual

FASE	{1} 286,78	{2} 221,44	{3} 230,54
Pré-teste (1)		<0,001	<0,001
Pós-teste (2)			0,550
Retenção (3)			

Anexo VII

Tabela 7 - Resultado da análise de variância 2 (grupo) x 9 (blocos) da fase de aquisição para a tarefa de toques sequenciais

	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>QM</i>	F	<i>p</i>	η_p^2
Grupo	588,0	1	588,0	0,37	0,546	0,0194
Erro	29637,2	19	1559,9			
Blocos	7094,7	8	886,8	17,26	<0,001	0,4761
Blocos*Grupo	532,7	8	66,6	1,29	0,249	0,0638
Erro	7805,7	152	51,4			

SQ, soma de quadrados; *gl*, graus de liberdade; *QM*, quadrado médio; η_p^2 , eta quadrado parcial.

Anexo IX

Tabela 9 - Resultado da análise de variância 3 (grupo) x 3 (fase) x 2 (tarefa) para a tarefa de toques sequenciais.

	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>QM</i>	F	<i>p</i>	η_p^2
Grupo	9857,2	2	4928,6	5,14	0,012	0,261
Erro	27776,2	29	957,8			
Fase	13678,8	2	6839,4	50,37	<0,001	0,634
Fase*Grupo	5844,0	4	1461,0	10,76	<0,001	0,425
Erro	7874,4	58	135,8			
Tarefa	4875,9	1	4875,9	69,12	<0,001	0,704
Tarefa*Grupo	94,1	2	47,1	0,66	0,520	0,043
Erro	2045,5	29	70,5			
Fase*Tarefa	108,7	2	54,4	2,33	0,106	0,074
Fase*Tarefa*Grupo	60,4	4	15,1	0,64	0,630	0,042
Erro	1352,4	58	23,3			

SQ, soma de quadrados; *gl*, graus de liberdade; *QM*, quadrado médio; η_p^2 , eta quadrado parcial.

Anexo X

Tabela 10 - Comparações post hoc pelo teste de Duncan entre grupos para a tarefa de toques sequenciais nas fases de teste

GRUPO	{1} 58,396	{2} 54,494	{3} 41,823
Dsim (1)		0,481	0,006
Dass (2)			0,028
Sing (3)			

Anexo XI

Tabela 11 - Comparações post hoc pelo teste de Duncan entre tarefas singular e dual para a tarefa de toques sequenciais nas fases de teste

TAREFA	{1} 56,556	{2} 46,405
Singular (1)		<0,001
Dual (2)		

Anexo XIII

Tabela 13 - Resultado da análise de variância 3 (grupo) x 9 (blocos) da fase de aquisição para a tarefa de traçado de estrela.

	SQ	gl	QM	F	p	η_p^2
Grupo	5535,6	2	2767,8	4,31	0,022	0,229
Erro	18607,2	29	641,6			
Blocos	8030,0	8	1003,8	47,29	<0,001	0,619
Blocos*Grupo	295,5	16	18,5	0,87	0,604	0,056
Erro	4923,4	232	21,2			

SQ , soma de quadrados; gl , graus de liberdade; QM , quadrado médio; η_p^2 , eta quadrado parcial.

Anexo XIV

Tabela 14 - Comparações post hoc pelo teste de Duncan entre grupos durante a fase de aquisição para a tarefa de traçado de estrela

GRUPO	{1} 19,792	{2} 24,647	{3} 30,356
Dsim (1)		0,195	0,009
Dass (2)			0,129
Sing (3)			

Anexo XVI

Tabela 16 - Resultado da análise de variância 3 (grupo) x 3 (fase) x 2 (tarefa) para a tarefa de traçado de estrela

	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>QM</i>	F	<i>p</i>	ηp^2
Grupo	484,2	2	242,1	0,79	0,459	0,052
Erro	8789,4	29	303,1			
Fase	10941,5	2	5470,8	117,0	<0,001	0,801
Fase*Grupo	199,4	4	49,9	1,06	0,381	0,068
Erro	2711,8	58	46,8			
Tarefa	1758,5	1	1758,5	62,22	<0,001	0,682
Tarefa*Grupo	657,0	2	328,5	11,62	<0,001	0,444
Erro	819,5	29	28,3			
Fase*Tarefa	5,2	2	2,6	0,31	0,730	0,010
Fase*Tarefa*Grupo	498,4	4	124,6	15,20	<0,001	0,511
Erro	475,3	58	8,2			

SQ, soma de quadrados; *gl*, graus de liberdade; *QM*, quadrado médio; ηp^2 , eta quadrado parcial.

Anexo XVII

Tabela 17 - Comparações post hoc pelo teste de Duncan entre grupos, fases e tarefas para a tarefa de traçado de estrela

GRUPO	FASE	TAREFA	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
			15,958	9,9574	30,514	28,824	28,502	27,371	15,558	8,7662	31,865	29,969
Dsim	Pré-teste	Uni (1)		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,929	0,167	0,004	0,009
Dsim	Pré-teste	Dual (2)			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,246	0,804	<0,001	<0,001
Dsim	Pós-teste	Uni (3)				0,221	0,154	0,027	0,006	<0,001	0,778	0,903
Dsim	Pós-teste	Dual (4)					0,796	0,275	0,012	<0,001	0,557	0,811
Dsim	Retenção	Uni (5)						0,365	0,013	<0,001	0,520	0,768
Dsim	Retenção	Dual (6)							0,022	<0,001	0,395	0,610
Dass	Pré-teste	Uni (7)								<0,001	<0,001	<0,001
Dass	Pré-teste	Dual (8)									<0,001	<0,001
Dass	Pós-teste	Uni (9)										0,169
Dass	Pós-teste	Dual (10)										
Dass	Retenção	Uni (11)										
Dass	Retenção	Dual (12)										
Sing	Pré-teste	Uni (13)										
Sing	Pré-teste	Dual (14)										
Sing	Pós-teste	Uni (15)										
Sing	Pós-teste	Dual (16)										
Sing	Retenção	Uni (17)										
Sing	Retenção	Dual (18)										

Continua

GRUPO	FASE	TAREFA	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}
			32,371	28,941	14,205	9,3992	34,224	18,245	30,781	17,975
Dsim	Pré-teste	Uni (1)	0,003	0,014	0,715	0,200	0,001	0,634	0,006	0,655
Dsim	Pré-teste	Dual (2)	<0,001	<0,001	0,349	0,901	<0,001	0,112	<0,001	0,118
Dsim	Pós-teste	Uni (3)	0,709	0,743	0,003	<0,001	0,467	0,021	0,952	0,019
Dsim	Pós-teste	Dual (4)	0,498	0,979	0,006	<0,001	0,307	0,036	0,701	0,035
Dsim	Retenção	Uni (5)	0,463	0,927	0,007	<0,001	0,283	0,036	0,660	0,037
Dsim	Retenção	Dual (6)	0,347	0,753	0,012	0,001	0,202	0,049	0,515	0,054
Dass	Pré-teste	Uni (7)	<0,001	<0,001	0,764	0,218	<0,001	0,590	0,005	0,615
Dass	Pré-teste	Dual (8)	<0,001	<0,001	0,276	0,888	<0,001	0,075	<0,001	0,081
Dass	Pós-teste	Uni (9)	0,685	0,037	0,001	<0,001	0,624	0,012	0,810	0,011
Dass	Pós-teste	Dual (10)	0,088	0,410	0,004	<0,001	0,412	0,025	0,866	0,024
Dass	Retenção	Uni (11)		0,016	0,001	<0,001	0,681	0,009	0,741	0,009
Dass	Retenção	Dual (12)			0,006	<0,001	0,314	0,038	0,712	0,036
Sing	Pré-teste	Uni (13)				<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,006
Sing	Pré-teste	Dual (14)					<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sing	Pós-teste	Uni (15)						<0,001	0,012	<0,001
Sing	Pós-teste	Dual (16)							<0,001	0,828
Sing	Retenção	Uni (17)							<0,001	<0,001
Sing	Retenção	Dual (18)								

Conclusão