

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

ANA PAULA KOGAKE CLAUDIO

Aprendizagem em tarefas duais: variação de desempenho e demanda atencional

São Paulo

2011

ANA PAULA KOGAKE CLAUDIO

Aprendizagem em tarefas duais: variação de desempenho e demanda atencional

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

Área de Concentração: Biodinâmica do movimento humano

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira

São Paulo

2011

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.

Claudio, Ana Paula Kogake
Aprendizagem em tarefas duais: variação de
desempenho e demanda atencional / Ana Paula Kogake
Claudio. – São Paulo : [s.n.], 2011.
55p.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e
Esporte da Universidade de São Paulo.
Orientadora: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira.

1. Aprendizagem Motora 2. Tarefa Dual 3. Demanda Atencional. I.
Título.

Nome: CLAUDIO, Ana Paula Kogake

Título: Aprendizagem em tarefas duais: variação de desempenho e demanda atencional

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

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedico esta dissertação aos meus pais, Paulo e Marli, pelo incentivo. Aos meus irmãos Alexandre e Gustavo, pelo apoio. E ao meu companheiro de todas as horas, Ricardo, por sua compreensão em todos os momentos (altos e baixos) que passei durante todo o processo de elaboração deste trabalho e por me compreender e me apoiar em todas as opções realizadas durante todo o processo de mestrado. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Luis Augusto Teixeira por todas as orientações e ensinamentos passados desde o curso de especialização em Aprendizagem Motora até hoje. Tenho certeza que foram ensinamentos únicos. Conseguir atingir o patamar de sua exigência é um trabalho árduo, porém gratificante. Obrigada professor pelas oportunidades acadêmicas proporcionadas e, principalmente, por confiar em meu trabalho.

Agradeço ao gerente Oswaldo Almeida Junior, ao gerente adjunto João Omar Gambini e ao chefe de programação Sérgio Seabra do SESC São José dos Campos pela possibilidade da realização do mestrado juntamente com a continuação do trabalho desenvolvido na instituição. Obrigada pela oportunidade. Obrigada Gambini pelas conversas paralelas, pelas sabedorias passadas e pelos conselhos.

Agradeço aos meus monitores, Luciana e Edson, por acreditarem que mesmo com as minhas restrições de horários eu poderia contribuir para o desenvolvido das atividades no SESC. Obrigada Lu por me auxiliar em todos os momentos e fornecer possibilidades para eu realizar todas as atividades extras (congressos) do meu mestrado. Obrigada Edsinho por todas as conversas durante o almoço, muitos deles foram cruciais para eu conseguir vencer alguns obstáculos.

Agradeço aos meus colegas de trabalho por entenderem a minha ausência. Obrigada ao meu ex-colega e amigo Carlos por todo o incentivo dado para a realização do mestrado juntamente com o SESC, por todos os conselhos e pela amizade. Obrigada às minhas amigas Maria e Daniela por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e me incentivando em muitos momentos difíceis que passei, principalmente no início do mestrado. Vocês foram fundamentais para eu conseguir levar em paralelo meu trabalho com o mestrado. Serei eternamente grata a vocês por isso.

Agradeço aos meus companheiros e amigos de laboratório por todos os ensinamentos passados, por todas as críticas realizadas, por todas as dicas fornecidas, por todos os auxílios dados, por todas as conversas e risadas proporcionadas. Obrigada Natália por ter ficado comigo no mesmo barco durante todo o mestrado, pelo auxílio nas coletas e por compartilhar comigo todos os momentos difíceis e exigentes passados durante todo o processo. Obrigada

Daniel pela ajuda na coleta de dados, sem você e a Nat eu não teria terminado nunca, pelas modificações cruciais nas rotinas do Matlab, por tirar minhas dúvidas sempre, pela disposição de ajudar a qualquer hora e, principalmente, pelos e-mails. Obrigada Raymundo por todas as críticas feitas, pelas perguntas realizadas, muitas sem respostas até hoje, por me ensinar a usar o Matlab e pela disposição de corrigir todos os meus erros. Obrigada Rosana por todos os auxílios dados, pelas conversas infinitas no skype, por me ajudar a compreender melhor muitas das teorias de nossa área. Obrigada Carla por todas as conversas e desabafos, por me compreender em muitos momentos e por estar sempre disposta a auxiliar. Obrigada Andrea por todos os seus ensinamentos e sabedorias. Obrigada Marina pelas conversas, perguntas, ensinamentos e pela disposição de querer ajudar. Obrigada Victor por ter disponibilizado o software utilizado no trabalho e por ter fornecido auxílio em todos os momentos. Obrigada Livia, Audrey e Alessandra pelos momentos de discussão.

Agradeço ao meu eterno namorado, Ricardo Carreira Rivas, por todas as conversas feitas acerca deste trabalho, por estar sempre disposto a me auxiliar, discutir, com certeza muito do trabalho aqui apresentado foi das discussões e reflexões levantadas durante a madrugada. Obrigada Ri por ter acreditado em mim mesmo quando eu própria não acreditava. Você foi peça fundamental no desenvolvimento dessa dissertação e é peça fundamental na minha vida.

Agradeço aos professores doutores Sandra Maria Sbeghen Ferreira de Freitas, Luiz Eduardo Ribeiro do Valle, Cynthia Y Hiraga e Paulo de Freitas Junior por aceitarem o convite para participar da banca de qualificação deste projeto. Obrigada aos Professores Sandra e Ribeiro pelas críticas, sugestões e indagações realizadas durante o exame de qualificação para a melhora desta dissertação.

Agradeço a todos os voluntários que participaram do estudo. Obrigada a todos os alunos da graduação que se prontificaram no auxílio da coleta de dados.

Agradeço à FAPESP pela verba fornecida para o desenvolvimento do software de tempo de reação utilizado no presente trabalho.

RESUMO

CLAUDIO, A.P.K. **Aprendizagem em tarefas duais: variação de desempenho e demanda atencional**. 2011. 55f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a aprendizagem em uma tarefa dual em comparação à aprendizagem de tarefas singulares e a respectiva variação de demanda atencional em função da prática. Participaram do estudo 27 estudantes universitários destros, divididos em três grupos de acordo com a tarefa praticada: prática da tarefa singular de traçar uma estrela com a mão esquerda recebendo feedback invertido (EST), prática da tarefa singular de toques sequenciais dos dedos da mão direita (TOQ) e prática dual consistindo na prática simultânea das duas tarefas singulares (T+E). A demanda atencional foi mensurada por meio do tempo de reação probatório, com estímulo auditivo e resposta vocal. As tarefas foram praticadas em 200 tentativas, distribuídas em 4 sessões executadas em diferentes dias. O efeito de aprendizagem foi avaliado após um dia e após uma semana a última sessão de prática. Os resultados mostraram que a demanda atencional foi maior na tarefa dual em comparação com as tarefas singulares e houve diminuição persistente da demanda atencional após o período de prática somente para a tarefa dual. A análise da fase de aquisição mostrou que o ganho proporcional de desempenho do grupo T+E foi equivalente ao encontrado para os grupos singulares, apesar de ter havido vantagem de desempenho favorável aos grupos singulares. A avaliação da retenção revelou que a prática na tarefa dual induziu resultados equivalentes à prática nas tarefas singulares quando avaliado o desempenho em cada tarefa motora separadamente. Para desempenho na tarefa dual, o grupo T+E atingiu valores superiores ao grupo EST e valores equivalentes ao grupo TOQ nas respectivas tarefas praticadas por estes dois grupos. Tais resultados mostram que o compartilhamento dos recursos atencionais durante a tarefa dual não prejudicou a aprendizagem motora em comparação com a prática com atenção focal em uma tarefa singular.

Palavras-chave: Demanda Atencional, Tarefa Dual, Aprendizagem Motora

ABSTRACT

CLAUDIO, A.P.K. **Dual task learning: variation of performance and attention demand.** 2011. 55f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

This study aimed to evaluate learning of a dual task in comparison to learning of single tasks and the respective variation of attentional demand as a function of practice. Twenty-seven right-handed university students participated of the study. They were assigned to one of three groups: practice of a single task requiring drawing of a star based on inverted visual feedback with the left hand (EST); practice of a single task requiring fast sequential fingers movements with the right hand (TOQ); and practice of a dual task requiring performance of both single tasks simultaneously (T+E). To evaluate attentional demand we used a probe reaction time task, consisting of auditory stimuli and vocal responses. The experimental tasks were practiced for 200 trials, during four sessions distributed on different days. The learning effect was evaluated after one day and after one week the last practice session. Results showed that attentional demand was higher when performing the dual task in comparison with the two single tasks and reduced attentional demand persisted after the practice period only for the dual task. Analysis of the acquisition phase showed that the proportional performance gain of the T+E group was equivalent to that found for groups practicing single tasks, despite the performance advantage favoring the latter. Evaluation of the retention phase showed that practice of the dual task led to similar results to practicing single tasks when performance was measured on each motor task separately. For performance on the dual task, the T+E group was superior in comparison with the EST group and equivalent to the TOQ group on the specific tasks practiced by these two groups. The results evidenced that sharing attentional resources in the practice of a dual task did not hinder motor learning in comparison to situations of focused attention to the practice of a single task.

Keywords: Attention Demand, Dual Task, Motor Learning

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. A linha preta representa o traçado do participante em uma tentativa e a linha cinza representa a linha central da estrela. A parte contínua da linha cinza representa o percurso somado para a mensuração da variável	31
Figura 3 – Delta do tempo de reação (ms), comparando os grupos em função das tarefas e testes. Erro padrão representado pelas barras verticais	34
Figura 4 – Tempo entre toques (ms), comparando os grupos TOQ e T+E durante as tentativas de prática. Erro padrão representado pelas barras verticais	35
Figura 5 – Tentativas representativas dos movimentos (eixo vertical) do dedo indicador na tarefa de toques sequenciais dos grupos TOQ e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma singular	36
Figura 6 – Tentativas representativas dos movimentos (eixo vertical) do dedo indicador na tarefa de toques sequenciais dos grupos TOQ e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma dual	37
Figura 7 – Tempo médio entre toques dos dedos, comparando os grupos em função da tarefa (singular versus dual) e teste. Erro padrão representado por barras verticais	38
Figura 8 – Comparação da distância percorrida (cm) no traçado da estrela entre os grupos EST e T+E durante as tentativas de prática. Erro padrão representado pelas barras verticais	39
Figura 9 – Tentativas de traçado da estrela representativas dos grupos EST e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma singular. As linhas cinza representam os limites da estrela e a linha preta representa o traçado realizado pelo participante	40
Figura 10 – Tentativas de traçado da estrela representativas dos grupos EST e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma dual. As linhas cinza representam os limites da estrela e a linha preta representa o traçado realizado pelo participante	41
Figura 11 – Distância percorrida no traçado da estrela (cm), comparando os grupos em função da tarefa (singular x dual) e os testes. Erro padrão representado por barras verticais	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	Capacidade Atencional	14
2.2	Foco Atencional e Aprendizagem	16
2.3	Capacidade de Atenção Dividida	18
2.4	Controle e aprendizagem de tarefa bimanual	20
2.5	Papel da atenção no controle e na aprendizagem de tarefa bimanual	23
3	OBJETIVOS	24
4	HIPÓTESES	25
5	JUSTIFICATIVA	26
6	MÉTODO	27
6.1	Participantes	27
6.2	Tarefas e equipamentos	27
6.3	Delineamento experimental e procedimentos	29
6.4	Análise dos resultados	31
7	RESULTADOS	33
7.1	Demanda Atencional	33
7.2	Toques Sequenciais	34
7.2.1	Tempo entre toques – Prática	34
7.2.2	Tempo entre toques – Teste	35
7.3	Traçado da Figura	38
7.3.1	Distância percorrida – Prática	38
7.3.2	Distância percorrida – Teste	39
8	DISCUSSÃO	42
8.1	Efeito da prática sobre a demanda atencional	42
8.2	Desempenho nas tarefas principais	44
8.2.1	Fase de prática	44
8.2.2	Testes	45
9	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Durante a execução de ações motoras utilizam-se recursos atencionais para o desempenho de inúmeras funções associadas ao controle motor, mobilizando a capacidade limitada de atenção de um indivíduo (SCHNEIDER; CHEIN, 2003). Para explicar o comportamento habilidoso em tarefas motoras complexas, considera-se que o executante seja capaz de desempenhar as diferentes funções perceptivas e motoras envolvidas na ação por meio da automaticidade funcional. A noção de uso diferencial de recursos atencionais entre o estágio inicial e um estágio mais avançado de aprendizagem tem sido consensual (HEUER, 1988; NAVON; GOPHER, 1979) e sugere que a prática, dentro das restrições específicas impostas por uma tarefa, induz a mudanças importantes no modo de funcionamento dos níveis mais elevados de controle motor. Outro ponto de consenso é que para que haja modificações na memória de longa duração induzida por prática é obrigatória a focalização da atenção, de forma que pouca ou nenhuma alteração na memória é esperada como consequência de repetições de uma ação sob controle automático (FISK; SCHNEIDER, 1984; HASHER; ZACKS, 1979; HAZELTINE; GRAFTON; IVRY, 1997; LOGAN, 1988; PASSINGHAM, 1996; STEFAN; WYCISLO; CLASSEN, 2004). Estudos adicionais têm revelado que a orientação do foco atencional regula a ativação cortical em áreas motoras e pré-motoras. A atenção pode não apenas promover ativação e conexão cortical ótimas para o controle motor, mas também ativar áreas cerebrais imprescindíveis para a promoção de plasticidade neural característica da aprendizagem (PASCUAL-LEONE et al., 2005). Além disso, estudos prévios têm mostrado que em humanos o processo atencional potencializa mecanismos de plasticidade cortical em áreas sensório-motoras (CONTE et al., 2007; ROSENKRANZ; ROTHWELL, 2006; STEFAN et al., 2004). A partir do exposto, fica aparente que 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 o controle e aprendizagem de movimentos voluntários. Por outro lado, só recentemente têm sido realizados estudos comportamentais sobre o efeito da atenção sobre o controle e aprendizagem de habilidades bimanuais. Uma revisão sobre este tema foi apresentada por Monno et al. (2002). Nos trabalhos apresentados nesta revisão o paradigma coordenação de movimentos bimanuais cíclicos foi empregado em combinação com a tarefa probatória de

tempo de reação simples, uma técnica tradicionalmente usada para estimar a demanda atencional de uma tarefa. A conclusão para a qual os trabalhos discutidos apontam é que em tarefas de coordenação bimanual padrões instáveis de coordenação estão associados a tempos de reação mais elevados na tarefa probatória em comparação a padrões mais estáveis. Este achado indica que padrões de coordenação menos estáveis são mantidos à custa de maior alocação de atenção à sua execução. Entretanto, como os movimentos bimanuais empregados nestes estudos são espacialmente simétricos, a medida de demanda atencional não indica necessariamente que a atenção foi alocada ao controle de cada braço individualmente, mas possivelmente à regulação da ação como uma unidade funcional (dinâmica acoplada). Uma questão de interesse que se manteve intocada nestes estudos, assim, é a maneira pela qual os recursos limitados de atenção são distribuídos entre os dois braços em ação simultânea no controle da ação. Em estudos envolvendo o controle bimanual em que os braços atuam de forma independente para atingir o objetivo (dinâmica desacoplada) foram empregadas tarefas de controle manual sob um campo de força particular (HOWARD; INGRAM; WOLPERT, 2008; TCHEANG et al., 2007). Os resultados indicaram capacidade de aprendizado independente, sem o acoplamento apresentado durante a execução das tarefas bimanuais de coordenação.

A capacidade de divisão de atenção na aprendizagem motora é um tema com importantes implicações teóricas, mas que não tem sido devidamente estudado. Esta dimensão do comportamento humano é subjacente à aquisição de inúmeras habilidades complexas, particularmente aquelas associadas ao manejo de instrumentos musicais e desempenho esportivo, porém informação científica sobre o assunto é escassa. No domínio cognitivo tem sido demonstrada a capacidade de divisão de atenção entre duas ou mais tarefas simultâneas (STAGER; LAABS, 1977), assim como tem sido apresentada evidência de que esta é uma habilidade que pode ser aprendida (SPELKE; HIRST; NEISSER, 1976). No domínio motor este é um ponto que ainda está para ser demonstrado experimentalmente.

Este estudo é dedicado a avaliar o ganho de desempenho e a demanda atencional na aprendizagem de duas tarefas motoras com características distintas, comparando-se a prática singular de cada uma das tarefas com a prática dual simultânea em ambas as tarefas. À medida que o processamento de aspectos visuoespaciais é efetuado principalmente no hemisfério cerebral direito (SERRIEN; IVRY; SWINNEN, 2006) e no controle de movimentos sequenciais há predomínio de ativação do hemisfério cerebral esquerdo (GRAFTON; HAZELTINE; IVRY, 2002), foram escolhidas tarefas para cada mão com estes componentes claramente definidos. Dessa forma, foram selecionadas tarefas que não

requisitam o trabalho principal do mesmo hemisfério cerebral nem a ativação de áreas cerebrais homólogas entre os hemisférios cerebrais. Por isso, considera-se que a interferência eventualmente observada na execução simultânea das tarefas seja fruto exclusivamente da competição entre elas por recursos de atenção e não por interferência estrutural na organização dos movimentos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Capacidade Atencional

Prestar atenção consiste em concentrar os recursos atencionais na tarefa principal. A focalização da atenção pode ocorrer em estímulos mentais (cognição seletiva) ou sensoriais (LENT, 2010). Assim, a atenção é um mecanismo cognitivo que consiste em processar as informações principais enquanto ignora outras irrelevantes (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2006). Como, por exemplo, enquanto estamos caminhando, diversas informações sensoriais, principalmente proprioceptivas, estão sendo enviadas, porém apenas uma pequena parte dessas informações é selecionada para análise posterior e o foco atencional é direcionado para o caminho a ser realizado. A necessidade da seleção das informações que serão processadas acontece em virtude da capacidade atencional de cada indivíduo ser limitada. Para avaliar a demanda atencional necessária para a realização de uma tarefa primária é utilizado o método de tarefa probatória (LAJOIE et al., 1993). Esse método consiste na utilização de uma tarefa secundária sendo realizada ao mesmo tempo em que a tarefa primária. O eventual declínio de desempenho na tarefa secundária é considerado ser derivado da demanda atencional alocada à tarefa primária. Os estudos avaliando a demanda atencional utilizam usualmente o paradigma do tempo de reação para a mensuração desta variável em tarefas motoras com diferentes graus de complexidade (p.e., LAJOIE et al., 1993; LI; WRIGHT, 2000; NEWELL; HOSHIZAKI, 1980; POSNER; BOIES, 1971; STAGER; LAABS, 1977).

O estudo envolvendo a atenção em seres humanos pode ser dividido em três componentes: estado de alerta, relacionada à capacidade de desenvolver e manter uma sensibilidade ótima para receber a informação exterior; seletividade, relacionada à habilidade de selecionar uma fonte de informação em detrimento de outra fonte; e capacidade de processamento, relacionada à capacidade limitada do processamento central (POSNER; BOIES, 1971). Com relação à capacidade de processamento, sabe-se que a capacidade atencional é bastante reduzida. Este fato pode ser comprovado quando realizamos duas tarefas simultaneamente e verifica-se um prejuízo de desempenho em comparação quando as mesmas tarefas são realizadas de forma separadas. Pode ser presenciada também no início da aprendizagem de uma nova habilidade, com os movimentos sendo realizados de forma lenta e segmentar em

comparação com os sujeitos habilidosos na mesma tarefa. Assim, a capacidade de atenção é limitada pela quantidade de informação que pode ser processada conscientemente pelo sistema nervoso central em um curto intervalo de tempo (TEIXEIRA, 2006), sendo que esta limitação da atenção é causada por limitações nos processos ou na maquinaria mental que estão normalmente sujeitas ao controle ou à direção voluntária (PASHLER; JOHNSTON, 1998). Porém, o processamento de informação pode ocorrer de forma controlada ou automática. O processo controlado é o primeiro estágio e com a aprendizagem passa para o processo automático; a transição de um para o outro se dá por meio da prática (SCHNEIDER; SHIFFRIN, 1977; SHIFFRIN; SCHNEIDER, 1977). A capacidade atencional varia de acordo com o nível de habilidade e, conseqüentemente, com o tipo de processamento adotado.

A definição do processamento controlado e automático foi proposta por Schneider e Shiffrin (SCHNEIDER; SHIFFRIN, 1977; SHIFFRIN; SCHNEIDER, 1977) em dois estudos que englobaram cerca de 14 pesquisas envolvendo o paradigma de tempo de reação com o paradigma de mapeamento variado, em que um determinado alvo pode atuar como meta em uma tentativa e em outra pode atuar como distrator; e de mapeamento consistente, em que as metas e os distratores não trocam de papéis durante a série de tentativas. Os resultados dos estudos envolvendo procedimentos de mapeamento variado mostraram um processamento controlado, característico 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. Este tipo de processamento é encontrado quando o sujeito lida com informações novas ou inconsistentes. Por outro lado, os resultados relacionados ao mapeamento consistente apontam para um processamento automático, possuindo características opostas (a) as informações são processadas rapidamente; (b) o 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. Este processamento acontece quando o sujeito fica consistente no decorrer de muitas tentativas de prática de uma tarefa, tornando-se difícil suprimi-lo ou modificá-lo uma vez aprendida a habilidade (SHIFFRIN; SCHNEIDER, 1984). Assim, o sujeito consegue desempenhar as diferentes funções perceptivas e motoras envolvidas em ações complexas por meio da automaticidade funcional atingida por meio da aprendizagem. Além disto, a automatização de uma ação motora auxilia o indivíduo a realizar duas ou mais ações simultaneamente, com o foco atencional sendo alocado para a tarefa com grau de dificuldade maior, sem afetar o

desempenho de outros movimentos automáticos executados em paralelo (BINKOFSKI et al., 2002). Tem sido proposto que quando a execução de um movimento torna-se mais automática a rede neural fica mais eficiente (WU; KANSAKU; HALLETT, 2004). Estes resultados sugerem que a capacidade de dividir a atenção é principalmente limitada pelo nível de habilidade do indivíduo e não pelo conjunto de recursos disponíveis para a execução da tarefa.

2.2. Foco Atencional e Aprendizagem

Fisk e Schneider (1984) desenvolveram dois experimentos para avaliar as modificações na memória de longa duração em decorrência do processamento de informação utilizado (controlado x automático). Os resultados mostraram que quando o indivíduo utiliza processamento controlado e, assim, possui controle direto da ação a ser realizada, são observadas modificações na memória de longa duração. Por outro lado, quando o indivíduo já aprendeu a tarefa e utiliza processamento automático, sem necessariamente alocar sua atenção para a execução, pouca ou nenhuma alteração na memória de longa duração é esperada. Os resultados sugerem uma conexão entre as modificações na memória e o fenômeno atencional. Assim, a atenção para a tarefa induz mudanças na memória de longa duração em decorrência da prática (HASHER; ZACKS, 1979; HAZELTINE et al., 1997; LOGAN, 1988; PASSINGHAM, 1996; SCHNEIDER; FISK, 1983; STEFAN et al., 2004).

Evidências prévias indicam que a atenção para a ação em tarefas simples ativa áreas motoras e pré-motoras (BINKOFSKI et al., 2002; JOHANSEN-BERG; MATTHEWS, 2002; JUEPTNER et al., 1997), além de aumentar a efetividade da conexão entre os córtices pré-frontal dorsal e pré-motor (ROWE et al., 2002). A este respeito, Rowe et al. (2002) analisaram a modulação de ativação de áreas cerebrais em função do foco atencional. Os participantes do estudo realizaram uma tarefa motora que consistia 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. A avaliação da atividade cerebral foi conduzida por meio de imageamento funcional por ressonância magnética. Os resultados mostraram que a atenção voltada para a ação aumenta a atividade nas áreas corticais relacionadas à organização do movimento em comparação às outras duas situações experimentais. Foi observado também neste estudo que a atenção para a ação aumentou a efetividade da conexão entre os córtices pré-frontal dorsal e pré-motor. Por

outro lado, a falta de foco atencional para a ação motora induziu menor conectividade entre estas áreas corticais.

Com relação a tarefas mais complexas, Debaere et al. (2004) estudaram mudanças na ativação cerebral durante a aquisição de uma tarefa de coordenação bimanual. Neste estudo, através de imageamento funcional por ressonância magnética foi verificado que ao final da aprendizagem houve uma redução da ativação do córtex pré-frontal dorsolateral direito, córtex pré-motor direito, córtex parietal superior e um aumento de áreas corticais no hemisfério esquerdo. Assim, os autores sugerem maior participação do hemisfério direito na fase inicial da aprendizagem e na fase final o hemisfério esquerdo teria maior participação. O envolvimento diferenciado de circuitos neurais reflete a transição da alta exigência atencional durante o desempenho de tarefas para o desempenho automático baseado em representações da memória e controle antecipatório. Complementando este trabalho, Puttemans, Wenderoth e Swinnen (2005) analisaram as mudanças ocorridas na ativação cerebral durante a aprendizagem até a automatização da tarefa de coordenação bimanual. Foi observado que durante o processo de aprendizagem houve diminuição de ativação no córtex pré-motor direito, córtex pré-frontal ventrolateral, sulco do cíngulo anterior e giro supramarginal. Durante a fase de automatização foi verificada diminuição de ativação na área motora suplementar. Os resultados sugerem que estas mudanças refletem a diminuição da atenção durante a execução da tarefa e que as únicas áreas que continuaram com ativação elevada tanto durante a aprendizagem quanto na automatização foram o putamen e o cerebelo anterior, por serem cruciais na formação da memória de longo prazo em tarefas de coordenação motora.

Outro aspecto de interesse é que a atenção para a tarefa ativa áreas cerebrais imprescindíveis para a promoção de plasticidade neural característica da aprendizagem (PASCUAL-LEONE et al., 2005). A este respeito, tem sido evidenciado que em animais a repetição da ação de pegar bolinhas de alimento por si só não é capaz de produzir a reorganização funcional do mapa cortical pela prática (PLAUTZ; MILLIKEN; NUDO, 2000). No entanto, quando os animais foram submetidos à prática em tarefa similar com maior demanda de precisão - e supostamente mais atenção - na preensão, as modificações no mapa cortical tornaram-se evidentes com a aprendizagem (KLEIM; BARBAY; NUDO, 1998). Assim, tais mudanças na configuração de ativação neural parecem ser dependentes da atenção para as ações realizadas durante a prática. Esta interpretação é consistente com resultados recentes mostrando que em humanos o processo atencional potencializa mecanismos de plasticidade cortical em áreas sensório-motoras (CONTE et al., 2007; ROSENKRANZ;

ROTHWELL, 2006; STEFAN et al., 2004). Stefan et al. (2004), em particular, conduziram um estudo em que a atenção dos indivíduos era orientada para a mão em movimento durante a prática em uma tarefa motora, ou para uma tarefa cognitiva concorrente, ou ainda os sujeitos eram apenas impedidos de ver sua mão em movimento. Verificou-se que no primeiro caso a plasticidade neural foi potencializada, enquanto que na segunda situação a plasticidade foi inibida. Na terceira condição experimental houve uma diminuição na magnitude da plasticidade. A partir dos resultados expostos nesta sessão, fica aparente que as modificações neurais associadas à aprendizagem são dependentes do foco atencional nos movimentos realizados durante a prática em uma tarefa.

2.3. Capacidade de Atenção Dividida

A atenção pode ser dividida de acordo com sua operacionalidade: atenção seletiva, privilegiar alguns estímulos em detrimento de outros; atenção sustentada, capacidade da manutenção do foco atencional em determinados estímulos dentro de um período de tempo; atenção alternada, capacidade de alternar o foco atencional; e atenção dividida, dividir o foco atencional para o desempenho de duas tarefas distintas (LIMA, 2005). O estudo da atenção compara, principalmente, o efeito da atenção focada (seletiva) com a atenção dividida (para revisão, TREISMAN, 1969). A este respeito, Corbetta et al. (1991), através da tomografia por emissão de pósitrons, identificaram que o globo pálido, o núcleo caudado, o córtex orbito-frontal lateral, o tálamo/colículo posterior e a região pré-motora foram ativadas durante a atenção seletiva enquanto que apenas o cíngulo anterior e o córtex pré-frontal dorsolateral estavam ativos durante a atenção dividida. Iidaka et al. (2000) verificaram maior ativação das áreas occipito-temporal, medial e ventro-frontal com atenção plena em comparação com a atenção dividida. Enquanto que as áreas medial e lateral direita do cerebelo, têmporo-parietal, giro do cíngulo anterior esquerdo e o córtex pré-frontal dorsolateral bilateral estiverem mais ativas na condição de atenção dividida do que na situação de atenção focada. Tais resultados mostram que diferentes sistemas neurais são exigidos dependendo da estratégia atencional utilizada.

O paradigma muito utilizado na literatura para estudar a atenção dividida é conhecido como “período refratário psicológico” (para revisão, PASHLER, 1994), que consiste na apresentação de dois estímulos em tempos diferentes que requerem duas respostas distintas

em tempos também diferentes. Os tempos para a emissão dos estímulos podem ser variados pelo experimentador e é comumente chamado de assincronia entre inícios de estímulos. Através deste paradigma podem-se observar as latências de resposta em ambas as tarefas e analisar como a latência de resposta de uma tarefa está relacionada com o desempenho da outra tarefa (PASHLER, 1990). Pashler e Johnston (1998) realizaram um levantamento dos artigos relacionados à tarefa dual e verificaram que diversos estudos utilizaram do paradigma da assincronia entre inícios de estímulos. Os resultados são consistentes em mostrar que quando o intervalo entre os estímulos é reduzido, a resposta ao segundo estímulo é atrasado, ou seja, o período refratário psicológico é maior e muitas vezes por centenas de milissegundos. Pashler e O'Brien (1993) observaram que este atraso é equivalente independentemente da modalidade de estímulo e da forma de resposta. Os autores sugerem que o atraso é causado pela interferência entre processos centrais e periféricos. Luck (1998) utilizou o mesmo paradigma, porém com a utilização de registros eletrofisiológicos. Os resultados indicaram que o atraso da resposta se dá em virtude do atraso na seleção de resposta e não na identificação do alvo, porém é dependente da natureza do estímulo e de seu objetivo (para revisão, LUCK; WOODMAN; VOGEL, 2000).

A interferência ou o atraso de resposta observada ao serem realizadas duas tarefas ao mesmo tempo podem ser explicados, principalmente, por três modelos conceituais (PASHLER, 1994): (1) capacidade de partilha, sendo que existem mais de um grupo de recursos que podem ser divididos entre diferentes tarefas ou estímulos de forma gradual. Assim, as tarefas podem ser processadas de forma paralela, mas a eficiência dependerá da capacidade atencional disponível para cada tarefa e das características particulares de cada tarefa. (2) “Gargalo”, as operações mentais são realizadas sequencialmente e, assim, devem ser operacionalizadas sequencialmente. Com isto, quando duas tarefas exigem a operação mental ao mesmo tempo e no mesmo ponto ocasiona o ponto de afunilamento, acarretando atraso de resposta. (3) Conversa cruzada, que depende diretamente do conteúdo específico da informação a ser processada, quais entradas sensoriais estão presentes e quais respostas e quais pensamentos estão sendo produzidos. Assim, quando as tarefas são semelhantes existe uma maior interferência na resposta em comparação com as tarefas que possuem características distintas. Complementando estes modelos, a capacidade de atenção pode ser vista como um canal único de recursos mental, o que diminuiria a capacidade do sujeito em executar as tarefas independentemente do modelo seguido ou como um canal com vários recursos. Assim, a maior interferência seria causada quando as tarefas competissem pelo mesmo processamento. Por outro lado, quando não houvesse competição, as tarefas poderiam

ser realizadas sem grandes dificuldades, porém não necessariamente com o mesmo nível de habilidade de quando realizadas de forma separadas. A este respeito, Friedman e Polson (1981) sugeriram um modelo de recursos múltiplos, em que cada hemisfério cerebral, esquerdo e direito, constitui-se de uma fonte de recursos mutuamente inacessíveis e finitos. Assim, a disponibilidade de duas fontes de recursos independentes que pode permitir uma flexibilidade no processamento de informações quando as tarefas demandam recursos distintos e, com isto, minimizaria a interferência entre os processos realizados simultaneamente. Para testar esta hipótese, Friedman, Polson e Dafoe (1988) realizaram uma tarefa de memória verbal juntamente com uma tarefa de toque sequencial entre os dedos, um grupo de sujeitos realizaram o toque sequencial dos dedos com a mão direita e outro grupo com a mão esquerda. Os resultados mostraram melhor desempenho quando a tarefa motora era realizada com a mão esquerda do que com a mão direita. Os autores discutiram os resultados levando em consideração a especialização hemisférica: é assumido que a tarefa de memória requer predominantemente recursos do hemisfério cerebral esquerdo enquanto que a tarefa motora requereria recursos do hemisfério cerebral contralateral. Assim, quando a tarefa motora foi realizada com a mão direita exigiu recursos do hemisfério esquerdo, mesmo hemisfério da tarefa cognitiva. Aparentemente, houve interferência na disputa por recursos atencionais para o desempenho em cada tarefa. Por outro lado, quando a tarefa motora foi realizada com a mão esquerda, o que exigiu recursos do hemisfério direito, não houve partilha de informações e, assim, o desempenho foi melhor.

2.4. Controle e aprendizagem de tarefa bimanual

O estudo da aprendizagem de tarefa bimanual envolve dois tipos de dinâmica: dinâmica acoplada, em que ambos os braços atuam de forma cooperativa para atingir o objetivo; e dinâmica desacoplada, em que os braços atuam de forma independente para atingir o objetivo. Com relação à dinâmica acoplada, tem sido estudada a coordenação bimanual cíclica, em padrão de coordenação estável (em-fase, atuação de músculos homólogos) ou instável (fora-de-fase, atuação de músculos não homólogos), em combinação com tarefa probatória de tempo de reação simples (para revisão, MONNO et al., 2002). A conclusão para a qual os trabalhos discutidos apontam é que em tarefas de coordenação bimanual padrões instáveis de coordenação estão associados a tempos de reação mais elevados na tarefa probatória em

comparação a padrões mais estáveis. Este achado indica que padrões de coordenação menos estáveis são mantidos à custa de maior alocação de atenção à sua execução. Resultados de pesquisa posteriores têm corroborado esta conclusão (MATTHEWS et al., 2006; MURIAN; DESCHAMPS; TEMPRADO, 2008; SUMMERS et al., 2008).

Os estudos relatados até aqui utilizaram tarefas de coordenação bimanual com movimentos simétricos entre os braços. Poucos estudos empregaram tarefas em que os braços foram controlados em movimentos distintos. Franz et al. (2001) testaram quatro situações unimanuais (semicírculo para cima ou para baixo com ambas as mãos) e quatro situações experimentais bimanuais, duas em que ambos os braços realizavam movimentos iguais (dois semicírculos voltados para cima ou para baixo) e duas condições em que os braços realizavam movimentos distintos (dois semicírculos um voltado para baixo e o outro para cima formando um círculo ou o inverso). Os resultados mostraram que os padrões de coordenação em que os braços atuam de forma integrada (movimentos simétricos) apresentaram menor variabilidade de resposta e que o padrão de movimento é equivalente àquele apresentado quando os movimentos são realizados de forma unimanual. Walter e Swinnen (1992) realizaram um estudo preliminar sobre aprendizagem em uma tarefa bimanual espacialmente assimétrica entre os braços. Nesta investigação foi analisado o desacoplamento entre os movimentos dos braços direito e esquerdo, realizados no plano horizontal. Os participantes foram instruídos a fazer um movimento contínuo com um dos braços e, simultaneamente, um movimento contendo uma reversão de direção com o outro braço. Os resultados mostraram interferência no início da prática, com movimentos de reversão sendo executados simultaneamente com os dois braços. Esta característica parece estar relacionada à conversa cruzada entre as áreas motoras de ambos os hemisférios cerebrais, o que tem sido considerado como uma parte importante na fase inicial da aquisição de uma tarefa bimanual para a integração dos comandos motores (GERLOFF; ANDRES, 2002). Ao final da prática, entretanto, não foi mais detectada tal interferência entre os movimentos de ambos os braços, com a ação bimanual sendo realizada como especificado nas instruções. Resultados posteriores têm revelado que o desacoplamento entre os braços observado por Walter e Swinnen (1992) pode ser potencializado por conhecimento de resultados extrínsecos (SWINNEN et al., 1993). Este dado é indicador de que a adequada orientação da atenção para aspectos críticos da ação favorece a aprendizagem do desacoplamento bimanual. Entretanto, nesta situação, os recursos atencionais parecem ser partilhados durante a aprendizagem de movimentos manuais assimétricos a fim de produzir um padrão motor integrado (SWINNEN; WENDEROTH, 2004; WENDEROTH et al., 2003). Em outras palavras, em tarefas de coordenação bimanual

parece haver controle integrado dos movimentos e não dos componentes individuais da ação realizada com cada braço.

Na dinâmica desacoplada, estudos têm sido desenvolvidos com tarefas de campo de força variável. Tcheang et al. (2007) realizaram um estudo em que os sujeitos precisavam atingir um alvo distinto com cada mão. Os movimentos dos braços eram submetidos a um campo de forças que poderia agir dificultando o alcance do alvo. Foram fornecidas seis condições experimentais: unimanual com a mão esquerda, unimanual com a mão direita, bimanual extrínseco, bimanual intrínseco, bimanual com a mão direita atuando no campo de força e a mão esquerda em campo de força nulo e bimanual com a mão esquerda atuando no campo de força e a mão direita em campo de força nulo. Os participantes realizaram pré-teste, prática em uma das situações em específico e pós-teste. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas entre as condições experimentais e os autores concluíram que durante as condições bimanuais a aplicação do campo de força em um braço não prejudicou nem facilitou a aprendizagem simultânea dentro do campo de forças aplicado ao outro braço. Assim, ficou aparente que os campos de forças aplicados simultaneamente em cada braço são aprendidos de forma independente. Foi apresentada evidência, assim, da capacidade de aprendizagem independente com cada braço, sem o acoplamento apresentado durante a execução das tarefas bimanuais de coordenação.

Levando em consideração a influência e a importância das duas dinâmicas no aprendizado de tarefas bimanuais e suas particularidades, Howard et al. (2008) realizaram um estudo sobre a composição e decomposição na aprendizagem dinâmica de uma tarefa envolvendo campo de força de forma bimanual nos dois contextos e verificaram se existe transferência de aprendizagem do modo de controle acoplado para o desacoplado e vice-versa. O resultado da aprendizagem de forma acoplada mostrou o efeito de aprendizagem nesta situação e de forma desacoplada mostrou a capacidade de aprendizagem de campos de forças distintos para cada braço, sem interferência de aprendizado entre os braços. Adicionalmente, foi mostrado que durante a transferência de um contexto para outro existe uma queda de desempenho apenas no início da execução. Howard et al. (2008) sugerem que ambos os contextos são parcialmente independentes e, com isto, o sistema motor é capaz de usar parcialmente as representações distintas de cada contexto e alternar rapidamente entre os contextos aprendidos. Além disto, os autores sugerem a existência de duas redes neurais atuantes para cada situação de contexto. Estes estudos mostram evidências da capacidade de aprendizagem de duas tarefas simultâneas em que a atenção atua de forma integrada ou dividida.

2.5. Papel da atenção no controle e na aprendizagem de tarefa bimanual

Os seres humanos possuem a capacidade de controlar e aprender inúmeras habilidades complexas, como o manejo de instrumentos musicais e de habilidades esportivas. Nessas habilidades bimanuais os indivíduos demonstram a capacidade de dividir a atenção entre diferentes componentes. Temprado, Chardenon e Laurent (2001) realizaram um estudo envolvendo tarefa de coordenação bimanual no modo anti-fase (fase relativa de 180°) com aumento da frequência de movimentos juntamente com a tarefa de tempo de reação probatório com estímulo auditivo e resposta podal. O aumento da frequência de movimentos ocasionou alterações na dinâmica de coordenação dos movimentos e aumento na exigência atencional. Tais resultados mostram que a estabilidade do modo de coordenação e a quantidade de recursos atencionais solicitados para tentar manter o modo de coordenação modificam-se com o aumento da frequência de oscilação (TEMPRADO et al., 2001; ZANONE et al., 2001).

Os estudos relatados até aqui verificaram a influência da atenção no controle de movimentos bimanuais. Porém, o efeito da atenção no processo de aprendizagem tem recebido pouca atenção. Temprado et al. (2002) realizaram um estudo para verificar o efeito da prática na aquisição de uma tarefa de coordenação bimanual e na exigência de atenção. Os sujeitos realizaram uma tarefa de coordenação bimanual em um padrão anti-fase, com um par de joysticks juntamente com o teste de tempo de reação probatório, em que os sujeitos tinham que acionar o mais rapidamente possível uma chave com os pés após um sinal sonoro. Os sujeitos foram avaliados no pré-teste, teste intermediário, pós-teste e retenção. Os resultados mostraram que houve uma diminuição na porcentagem de transições de fase com a prática, porém essa diminuição não foi acompanhada por uma diminuição do tempo de reação. Sendo que houve diminuição significativa do tempo de reação apenas para o teste de retenção em comparação com os outros testes. Temprado et al. (2002) mostraram a capacidade de aprendizado de uma tarefa bimanual e sugerem que existe um efeito retardado da prática sobre a medida de tempo de reação relacionado à demanda atencional. Porém, o efeito retardado foi em virtude da existência de uma única sessão de prática e, com isso, não houve tempo para a consolidação da memória que ocorre durante o sono.

3. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram avaliar a aprendizagem e demanda atencional em uma tarefa dual tendo como referência o desempenho em tarefas singulares.

4. HIPÓTESES

As hipóteses formuladas para este estudo foram as seguintes:

Haveria redução da demanda atencional em função da aprendizagem em tarefas singulares e duais.

Haveria aprendizagem tanto de tarefas singulares quanto duais.

5. JUSTIFICATIVA

Resultados prévios de pesquisa têm demonstrado que modificações da ativação neural associadas à aprendizagem em uma habilidade motora são observáveis apenas quando o praticante dedica atenção plena ao movimento executado ao longo de uma série de tentativas (BINKOFSKI et al., 2002; JOHANSEN-BERG; MATTHEWS, 2002; ROWE et al., 2002). No entanto, a aprendizagem em habilidades motoras bimanuais requer que a capacidade limitada de atenção seja compartilhada entre movimentos corporais distintos e simultâneos. Esse aspecto fica mais evidente em situações em que os movimentos são assimétricos e, assim, as especificações espaciais e temporais de controle motor devem ser distintas para cada segmento corporal. A partir da contradição entre resultados de pesquisa indicando a importância da utilização plena de recursos atencionais para promoção de aprendizagem motora e da reconhecida capacidade de aprendizagem de habilidades bimanuais com movimentos assimétricos, tais como em habilidades musicais e esportivas, torna-se evidente a relevância de estudar o curso da aprendizagem, em paralelo com a variação da demanda atencional, em tarefas que requisitem a divisão da atenção entre movimentos simultâneos. Como até o presente, estudos envolvendo ações bimanuais têm sido restritos à avaliação da atenção em tarefas relativamente simples e fora de uma perspectiva de aprendizagem, este estudo fornece uma contribuição científica ao produzir informações originais sobre a aprendizagem em situação de atenção dividida entre duas tarefas motoras.

6. MÉTODO

6.1. Participantes

Participaram deste estudo 27 estudantes universitários, idade média de 22,26 anos, destros, de ambos os sexos. Como critério de inclusão, foi adotado coeficiente de lateralidade (CL, inventário de dominância manual de Edimburgo, OLDFIELD, 1971) igual ou superior a 70 pontos e ausência de prática anterior nas tarefas analisadas. Como critério de exclusão, não foram aceitos voluntários com disfunções sensoriais ou neurológicas ou consumindo medicamentos que pudessem ter interferido no desempenho/aprendizagem nas tarefas experimentais. Antes de iniciar sua participação, os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética local.

6.2. Tarefas e equipamentos

Os participantes ficavam sentados em uma cadeira posicionada na parte central da mesa e mantinham seu olhar na tela do notebook, modelo HP Pavilion de 14 polegadas, posicionado a cerca de 50 cm à sua frente, deslocado lateralmente na direção da mão esquerda. Uma das tarefas experimentais consistiu em tocar sequencialmente quatro dedos da mão direita na mesa respeitando a seguinte ordem: indicador, anelar, médio e mínimo. Cada tentativa consistia em realizar essa sequência de movimentos o maior número de vezes possível em um intervalo de 10 s. Nesta tarefa os participantes fixavam a visão na tela do monitor em branco e ficavam com 2/3 do antebraço direito apoiado na mesa e com o punho direito em cima de um apoio de 2 cm de altura. Para avaliar o desempenho nesta tarefa, eram 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. Uma das câmeras era posicionada em cima de um tripé localizado frontalmente ao participante e as outras três câmeras ficavam posicionadas em um suporte preso na parte superior da parede localizada à frente do participante, uma na diagonal direita, outra na diagonal esquerda e uma frontalmente ao participante. A segunda tarefa

experimental consistiu em realizar o traçado de uma estrela com feedback visual invertido. A estrela era composta por cinco pontas, com 3 cm de espessura da linha, na cor preta, com fundo branco e com 8 cm de altura e de largura. O objetivo nesta tarefa era manter o cursor do mouse dentro dos limites do traçado da figura e completar a maior distância possível do traçado da estrela em um intervalo de 10 s. O cursor do mouse era controlado com a mão esquerda, manuseando uma caneta eletrônica sobre um tablet digital (Marca Genius, Modelo MousePen). A caneta eletrônica era empunhada da mesma forma que o sujeito empunhava regularmente canetas a tinta para a escrita. O cursor do mouse se movia de modo inverso ao deslocamento físico da caneta sobre o tablet. 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 tela¹ (vice-versa na direção contrária). O tablet possuía 25 cm de largura e 20 cm de comprimento e era posicionado no plano horizontal, do lado da mão de execução. Os participantes recebiam feedback em tempo real sobre o traçado, sobrepondo a imagem do deslocamento do cursor à imagem da estrela. O ponto de início da ação era a ponta superior da estrela, com o traçado feito no sentido horário. Para avaliar o desempenho nesta tarefa foi utilizado um software não-comercial, que registrava os dados dos eixos x e y do cursor com frequência de amostragem de 70 Hz. A terceira tarefa exigiu controle dual, com execução simultânea das duas tarefas singulares (Figura 1). O objetivo na tarefa era completar o maior número de toques sequenciais e a maior distância do traçado da figura em um intervalo de 10 s, sem estabelecer prioridade a nenhuma delas. Assim como na tarefa de desenho da estrela, os participantes fixavam a visão na tela do computador durante os testes e prática.

A medida de tempo de reação probatório foi realizada com estímulo imperativo auditivo e resposta vocal. Para esta tarefa o participante utilizava um *headset*. Para avaliar o desempenho foi utilizado o programa de tempo de reação desenvolvido para este projeto, em ambiente Macintosh. 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 imprevisivelmente três sinais sonoros de 150 ms de duração durante o intervalo de 10 s de cada tentativa, com intervalo inter-sinais mínimo de 2 s e máximo de 4 s. O participante era instruído a responder o mais rapidamente possível com uma vocalização da sílaba “pa” após o estímulo auditivo. O gerenciamento desta tarefa foi feito em um microcomputador da marca

¹ Como o monitor estava em orientação predominantemente vertical, assume-se que há maior compatibilidade perceptiva entre o deslocamento físico para frente com o deslocamento do cursor para cima (e vice-versa), como ocorre no manuseio regular do mouse em microcomputadores.

Apple, modelo MacBook Pro. Nas tentativas de tempo de reação vocal puro, os participantes permaneciam sentados e imóveis, olhando para um monitor de computador em branco. Nas tentativas de tempo de reação probatório, os participantes realizavam a tarefa do tempo de reação juntamente com as tarefas principais (singulares e dual). Estas medidas foram feitas para estimar a atenção demandada por cada tarefa.

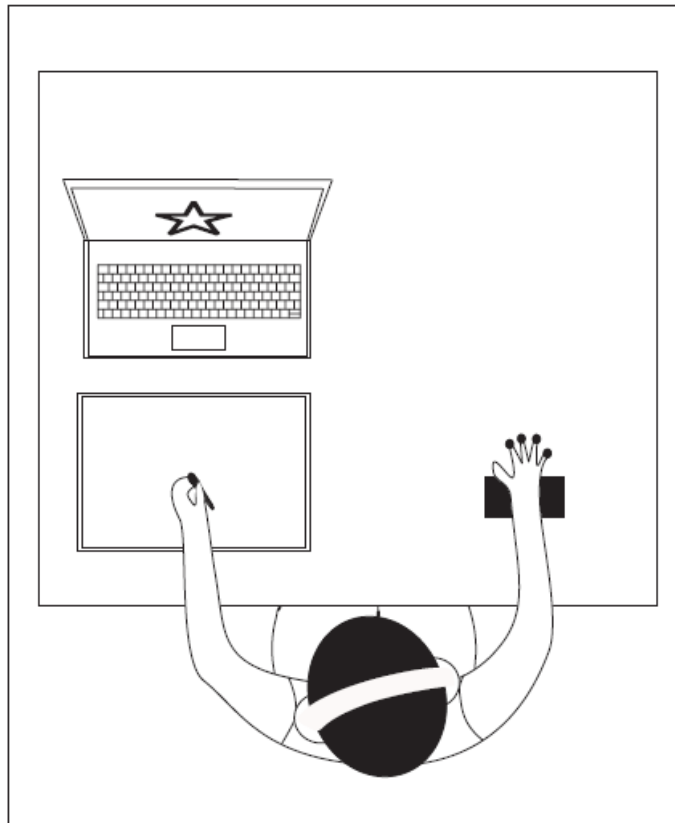


Figura 1 – Representação do arranjo experimental durante a tarefa dual.

6.3. Delineamento experimental e procedimentos

Os participantes foram divididos aleatoriamente em três grupos: (a) prática singular na tarefa de traçado da estrela com feedback visual invertido (EST; $n=9$; idade média=21,89 anos, $dp=3,23$; $CL=85,92$, $dp=11,61$); (b) prática singular na tarefa de toque sequencial dos dedos (TOQ; $n=9$; idade média=23,78 anos, $dp=3,73$; $CL=86,77$, $dp=10,74$); e (c) prática na tarefa dual (T+E; $n=9$; idade média=21,22 anos, $dp=3,23$; $CL=87,46$, $dp=13,90$). O número de homens e mulheres foi balanceado entre os grupos.

O experimento era iniciado com a medida de tempo de reação vocal puro. Eram oferecidas 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 uma tentativa de familiarização de cada tarefa imediatamente antes das tentativas válidas para mensuração. Na sequência, era realizado o pré-teste, com avaliação do desempenho de todos os participantes nas duas tarefas singulares e na tarefa dual. A sequência de tarefas singulares era alternada entre os participantes, realizando-se a tarefa dual por último. Cada participante era avaliado em três tentativas para cada tarefa.

A etapa de prática era iniciada imediatamente após os testes iniciais, com a realização de uma sessão de 50 tentativas na tarefa respectiva ao grupo do participante. As sessões de prática subsequentes eram feitas em três dias, com séries de 50 tentativas por dia, totalizando 200 tentativas de prática. O grupo TOQ era instruído a obter o maior número de toques entre os dedos sem cometer erros da sequência. O grupo EST era instruído a percorrer dentro do limite da estrela a maior distância possível sem cometer erros espaciais. O grupo T+E recebia a combinação das mesmas instruções de metas de desempenho que aquelas dadas aos grupos de tarefa singular, com a adição de que eles deveriam se empenhar igualmente nas duas tarefas. O intervalo intertentativas dentro de cada sessão era de aproximadamente 10 s. Era oferecido conhecimento de resultados após cada tentativa de prática. Para a tarefa da estrela era informada a distância percorrida e a quantidade de erros espaciais (quantidade de vezes em que os limites da figura foi excedido) e para a tarefa do toque foi fornecido o número total de toque e o número total de erros cometidos na sequência. O desempenho na tarefa de prática era registrado a cada 10 tentativas para análise posterior, totalizando cinco mensurações por sessão.

Um dia após a etapa de prática era aplicado o pós-teste e uma semana após o pós-teste era aplicado o teste de retenção, adotando-se os mesmos procedimentos do pré-teste. Não era oferecido conhecimento de resultados nos testes. Quando o sujeito cometia mais de três erros na sequência de toques dos dedos ou quando cometia erros espaciais exagerados (avaliados subjetivamente pelo experimentador), a tentativa nos testes era cancelada e refeita em seguida. O tempo de reação probatório foi avaliado apenas nos testes a fim de prevenir adaptação.

6.4. Análise dos resultados

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, somatória do primeiro ao último ponto da linha central da estrela - a linha central da estrela foi projetada a partir das bordas inferiores e superiores da estrela, o primeiro ponto refere-se ao ponto estipulado para o início do movimento e o último ponto refere-se a projeção do fim do traçado realizado pelo participante (Figura 2); (c) intervalos entre toques subsequentes, mensurados através das diferenças temporais entre picos consecutivos no eixo vertical, correspondendo aos toques dos dedos na mesa de suporte; e (d) taxa de aprendizagem, correspondendo à diferença entre o valor inicial e o valor final normalizado pelo valor inicial na fase de prática para as variáveis “b” e “c”, o ganho de desempenho para a variável “b” é verificado por valores positivos enquanto que para a variável “c” é verificado por valores negativos.

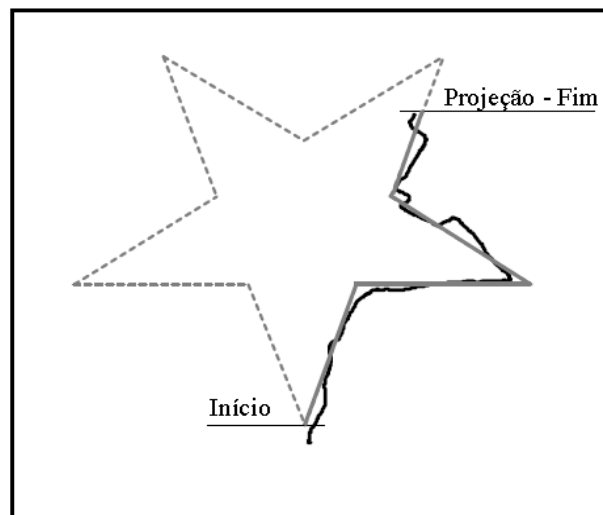


Figura 2 – Representação do cálculo da distância percorrida no traçado da estrela. A linha preta representa o traçado do participante em uma tentativa e a linha cinza representa a linha central da estrela. A parte contínua da linha cinza representa o percurso somado para a mensuração da variável.

Inicialmente, foram testadas a normalidade e homocedasticidade dos dados por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Bartlett, respectivamente. Para a análise da variação da demanda atencional durante os testes foi empregada uma ANOVA de três fatores, 3 (grupo:

TOQ x EST x T+E) x 3 (tarefa: toques x estrela x dual) x 3 (fase: pré x pós x retenção), com medidas repetidas nos dois últimos fatores. Para analisar as tentativas de prática na tarefa de traçado da estrela foi empregada uma ANOVA de dois fatores, 2 (grupo: EST x T+E) x 20 (tentativa), com medidas repetidas no segundo fator. Para analisar as tentativas de prática na tarefa de toques sequenciais foi empregado o mesmo modelo estatístico, 2 (grupo: TOQ x T+E) x 20 (tentativa), com medidas repetidas no segundo fator. Para avaliar o desempenho nos testes em cada tarefa motora (toques sequenciais e traçado) foram empregadas ANOVAs de três fatores, 3 (grupo: TOQ x EST x T+E) x 2 (complexidade: singular x dual) x 3 (fase: pré x pós x retenção), com medidas repetidas nos dois últimos fatores. As comparações posteriores foram feitas com a prova de *Tukey*. Em todas as análises foi adotado o nível de significância de 5%.

7. RESULTADOS

7.1. Demanda Atencional

A análise do tempo de reação probatório mostrou efeito significativo para o fator principal tarefa, $F(2,24) = 70,21$, $p < 0,001$. As comparações posteriores mostraram que a tarefa dual ($M=235$ ms, $ep=19$) levou a latências de respostas maiores do que as duas tarefas singulares (toques, $M=113$ ms, $ep=13$; e estrela, $M=133$ ms, $ep=12$). Foi encontrado efeito significativo para o fator principal fase, $F(2,24) = 13,32$, $p < 0,001$. As comparações posteriores mostraram que os valores observados no pós-teste ($M=144$ ms, $ep=18$) e na retenção ($M=149$ ms, $ep=19$) foram menores em comparação com o pré-teste ($M=188$ ms, $ep=18$). Não foi encontrada diferença significativa para o fator principal grupo, $F(2,24) = 0,55$, $p=0,58$. Foi encontrada interação significativa entre os fatores tarefa e fase, $F(4,48) = 4,47$, $p < 0,003$. A decomposição desta interação revelou que durante as tarefas singulares os valores de pós-teste ($M=104$ ms, $ep=12$) foram significativamente menores em comparação com o pré-teste ($M=143$ ms, $ep=11$), sem que tenha sido encontrada diferença significativa entre pré-teste e retenção ($M=122$ ms, $ep=15$). Na tarefa dual foram observados valores mais baixos no pós-teste ($M=223$ ms, $ep=19$) e retenção ($M=204$ ms, $ep=20$) em comparação com o pré-teste ($M=279$ ms, $ep=15$). Os resultados são representados na Figura 3.

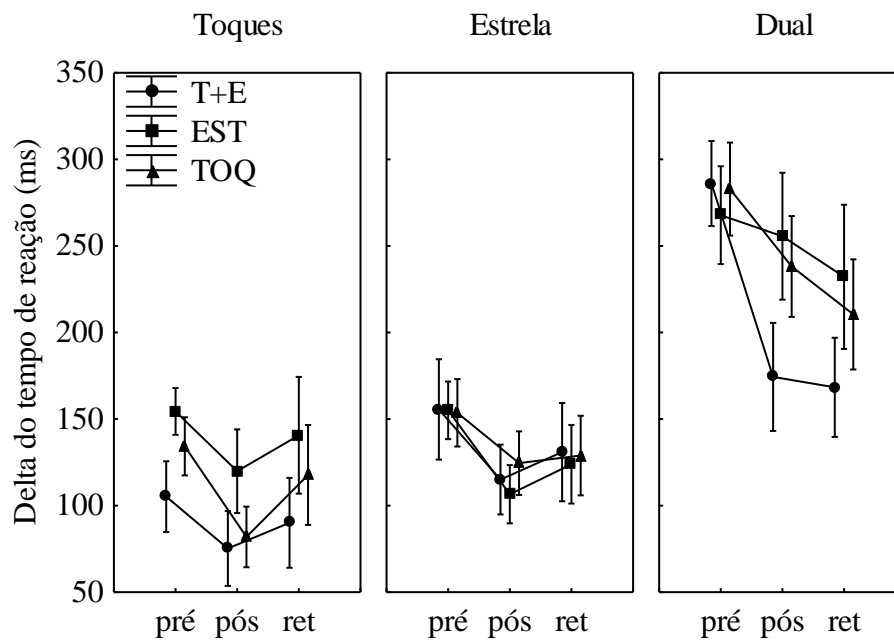


Figura 3 – Delta do tempo de reação (ms), comparando os grupos em função das tarefas e testes. Erro padrão representado pelas barras verticais.

7.2. Toques Sequenciais

7.2.1. Tempo entre toques – Prática

A análise de tempo entre toques dos dedos mostrou efeito significativo para os seguintes fatores principais: grupo, $F(1,16) = 12,96$, $p < 0,003$, com comparações post hoc indicando valores menores para o grupo TOQ ($M=203$ ms, $ep=18$) em comparação ao grupo T+E ($M=302$ ms, $ep=29$); e tentativa, $F(19,30) = 26,93$, $p < 0,001$. As comparações post hoc indicaram que este efeito foi devido à redução significativa do tempo entre toques entre a 10ª e a 110ª tentativa (10ª, $M=318$ ms, $ep=23$; 110ª, $M=238$ ms, $ep=19$; 200ª, $M=202$ ms, $ep=15$), com estabilização de desempenho nas tentativas posteriores. Foi encontrada interação significativa entre os fatores grupo e tentativa, $F(19,304) = 2,72$, $p < 0,001$. As comparações posteriores mostraram que o grupo T+E apresentou maior tempo entre toques em comparação ao grupo TOQ até a 50ª tentativa (Figura 4), sem que tenha sido detectada diferença significativa entre estes grupos nos blocos posteriores.

A análise da taxa de aprendizagem indicou não haver diferença significativa para o fator principal grupo, $F(1,16) = 1,26$, $p=0,278$, com o grupo T+E ($M = -0,404$, $ep= 0,061$) obtendo proporção de ganho de desempenho equivalente ao grupo EST ($M = -0,325$, $ep= 0,036$).

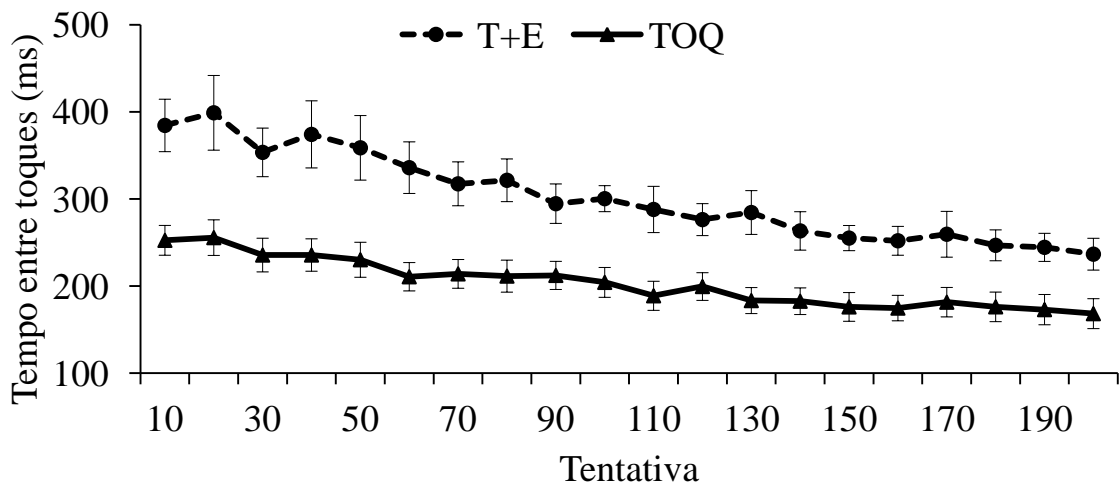


Figura 4 – Tempo entre toques (ms), comparando os grupos TOQ e T+E durante as tentativas de prática. Erro padrão representado pelas barras verticais.

7.2.2. Tempo entre toques – Teste

As Figuras 5 e 6 mostram exemplos individuais típicos do toque sequencial do indicador, selecionadas por se aproximarem de valores médios de desempenho do respectivo grupo para cada fase de teste. A análise dos testes para tempo entre toques mostrou efeito significativo em todos os fatores principais: grupo, $F(2,24) = 6,20$, $p<0,01$, com as comparações post hoc mostrando valores maiores para o grupo EST ($M= 347ms$, $ep=29$) em comparação com os grupos T+E ($M= 273ms$, $ep=37$) e TOQ ($M= 258ms$, $ep=40$), que não diferiram entre si; complexidade, $F(1,24) = 100,84$, $p<0,001$, com as comparações posteriores mostrando maior tempo entre toques durante a tarefa dual ($M= 341ms$, $ep=23$) em comparação com a tarefa singular ($M= 244ms$, $ep=15$); e fase, $F(2,48) = 124,28$, $p<0,001$, com as comparações posteriores mostrando valores mais elevados durante o pré-teste ($M= 374ms$, $ep=20$) em comparação com o pós-teste ($M= 259ms$, $ep=19$) e retenção ($M= 245ms$, $ep=17$), com estas últimas fases não diferindo entre si. Foi encontrada diferença significativa

em todas as interações: complexidade x grupo, $F(2,24) = 4,06$, $p < 0,05$, com comparações posteriores revelando que na tarefa dual foram detectados tempos mais elevados no grupo EST em comparação aos outros dois grupos - que não diferiram entre si - enquanto que na tarefa singular não foram detectadas diferenças significantes entre os grupos; fase x grupo, $F(4,48) = 8,85$, $p < 0,001$, com comparações posteriores indicando que os grupos TOQ e T+E obtiveram uma redução significativa de valores no pós-teste e retenção em comparação ao pré-teste, enquanto que não foi detectada variação significativa de desempenho entre os testes no grupo EST; e grupo x tarefa x teste, $F(4,48) = 5,10$, $p < 0,002$, com comparações posteriores mostrando que na tarefa singular não houve diferença significativa no tempo entre toques entre os três grupos no decorrer dos testes.

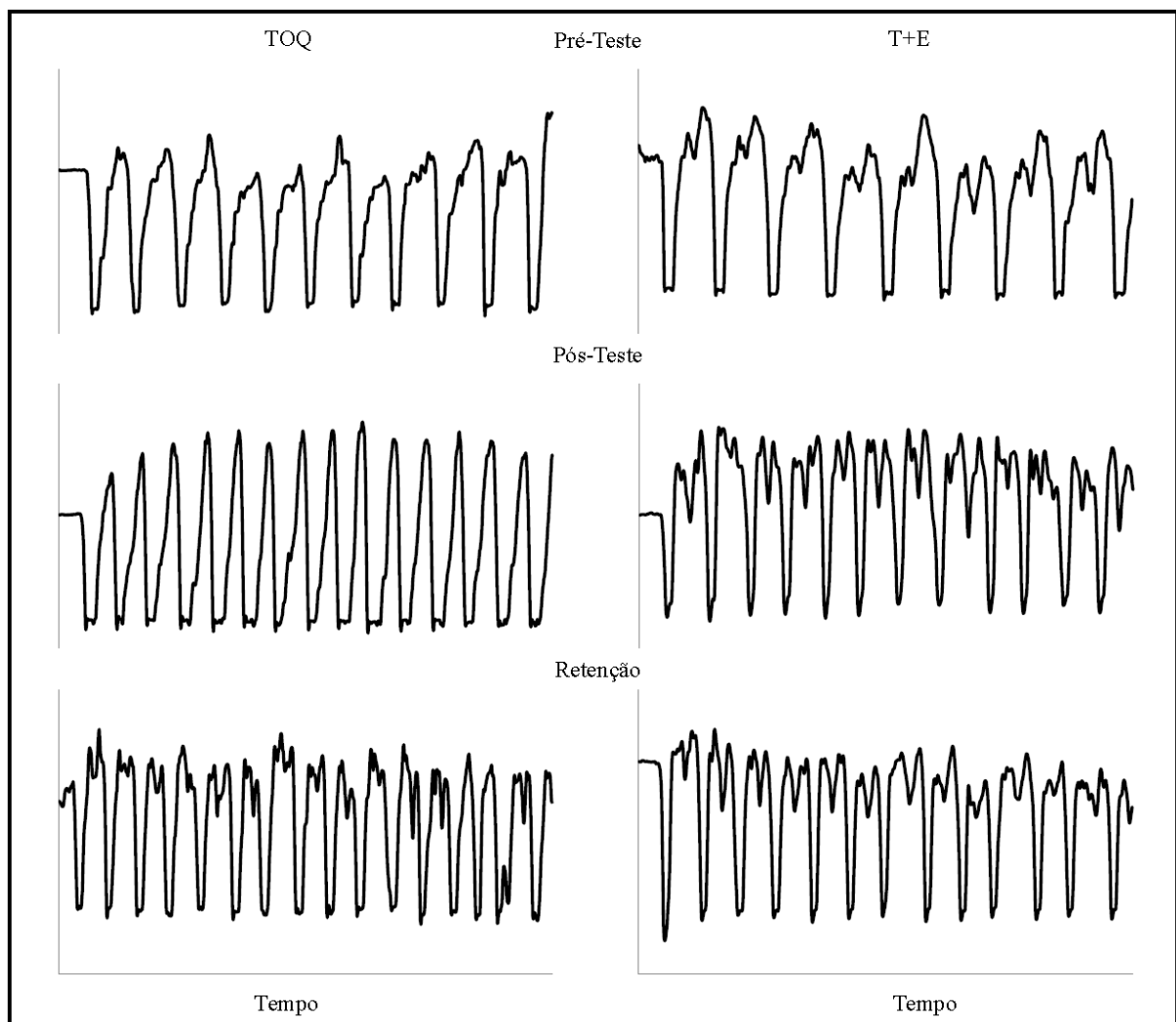


Figura 5 – Tentativas representativas dos movimentos (eixo vertical) do dedo indicador na tarefa de toques sequenciais dos grupos TOQ e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma singular.

Na tarefa dual não foram detectadas diferenças significantes entre os grupos no pré-teste, enquanto que no pós-teste e retenção o grupo EST teve tempos maiores em comparação aos grupos T+E e TOQ, que não diferiram entre si (Figura 7).

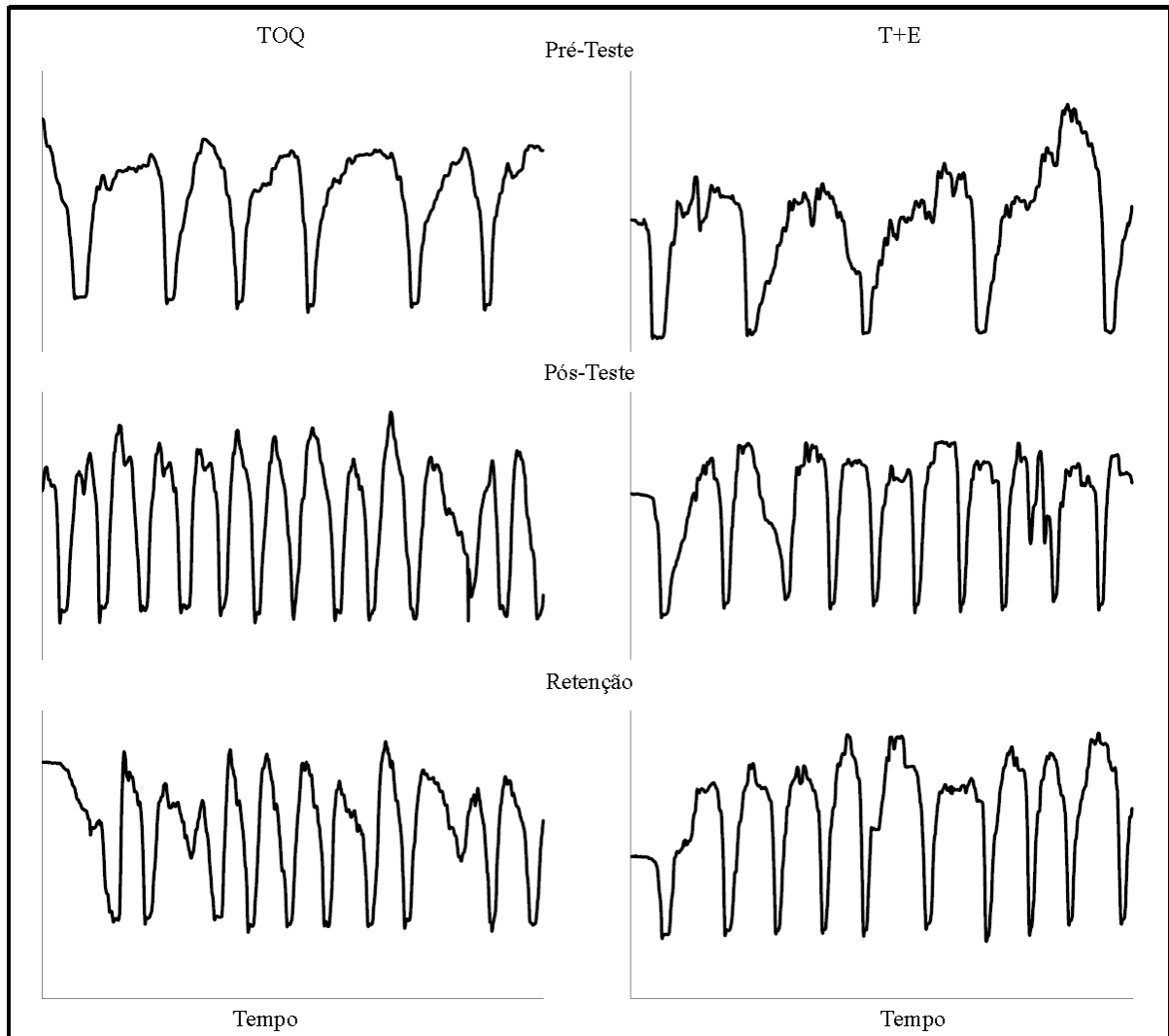


Figura 6 – Tentativas representativas dos movimentos (eixo vertical) do dedo indicador na tarefa de toques sequenciais dos grupos TOQ e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma dual.

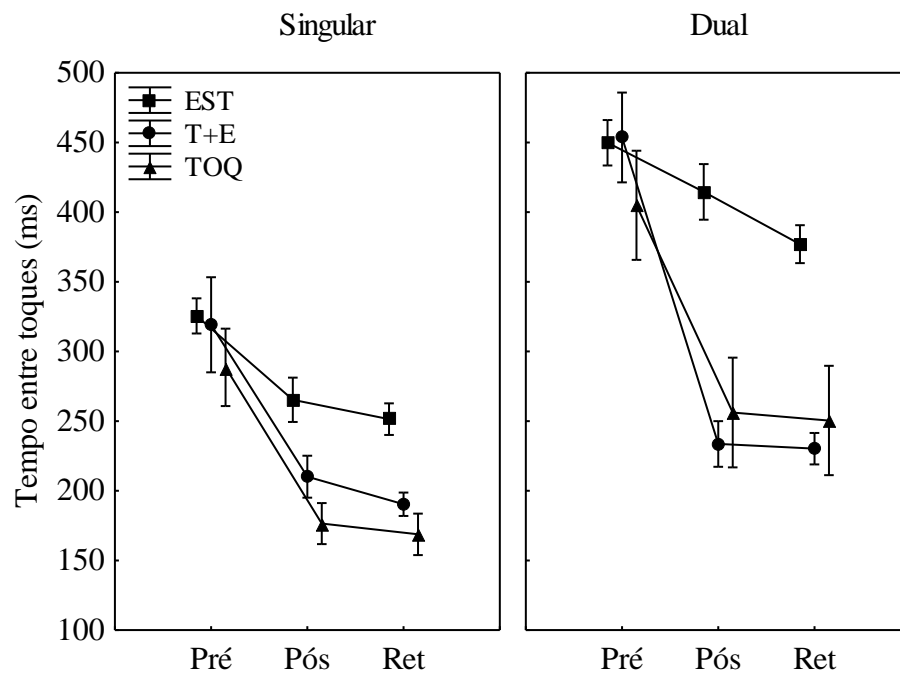


Figura 7 – Tempo médio entre toques dos dedos, comparando os grupos em função da tarefa (singular versus dual) e teste. Erro padrão representado por barras verticais.

7.3. Traçado da figura

7.3.1. Fase de prática

A análise da distância percorrida no traçado da estrela na fase de prática indicou efeito significativo para os seguintes fatores principais: grupo, $F(1,16) = 18,11$, $p < 0,001$, com comparações posteriores mostrando que foi percorrida maior distância pelos participantes do grupo EST ($M=31,81$ cm, $ep=4,45$) em comparação com os participantes do grupo T+E ($M=16,26$ cm, $ep=3,11$); e tentativa, $F(19,304) = 30,82$, $p < 0,001$, com comparações posteriores mostrando que os participantes aumentaram a distância percorrida da 10^a até a 140^a tentativa (10^a, $M= 12,02$ cm, $ep=1,67$; 140^a, $M=28,22$ cm, $ep=3,05$; 200^a, $M=34,07$ cm, $ep=3,78$), com estabilização de desempenho das tentativas posteriores. Não foi encontrada interação significativa entre grupo e tentativa (Figura 8).

A análise da taxa de aprendizagem indicou não haver diferença significativa para o fator principal grupo, $F(1,16) = 2,66$, $p=0,123$, com o grupo T+E ($M=5,475$, $ep= 0,429$) obtendo proporção de ganho de desempenho equivalente ao grupo EST ($M=3,181$, $ep=0,172$).

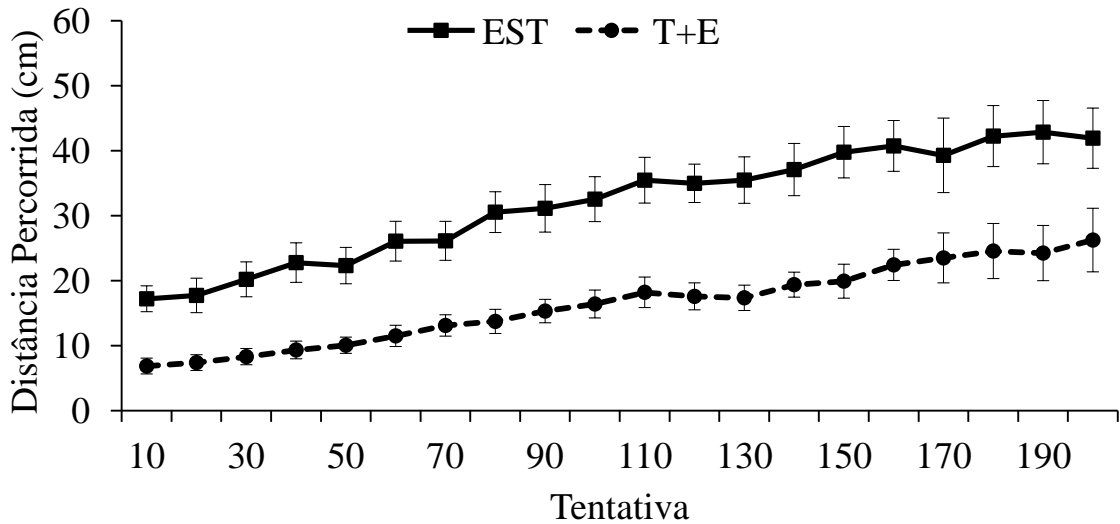


Figura 8 – Comparação da distância percorrida (cm) no traçado da estrela entre os grupos EST e T+E durante as tentativas de prática. Erro padrão representado pelas barras verticais.

7.3.2. Testes

As Figuras 9 e 10 mostram exemplos individuais típicos do traçado da estrela representativos dos valores médios de desempenho do respectivo grupo para cada fase de teste. A análise estatística dos testes mostrou efeito significativo para todos os fatores principais: grupo, $F(2,24) = 13,81$, $p<0,001$, com comparações posteriores indicando que os grupos T+E ($M=20,55$ cm, $ep=4,40$) e EST ($M=20,13$ cm, $ep=4,76$) foram equivalentes na distância percorrida, e superiores ao grupo TOQ ($M=8,52$ cm, $ep=1,55$); complexidade, $F(1,24) = 84,51$, $p<0,001$, com comparações posteriores indicando que foi observada maior distância percorrida na tarefa singular ($M=20,52$ cm, $ep=2,68$) do que na tarefa dual ($M=12,29$ cm, $ep=1,91$); e fase, $F(2,24) = 72,62$, $p<0,001$, com comparações posteriores indicando que a distância percorrida no pré-teste ($M=7,53$ cm, $ep=0,86$) foi inferior ao pós-teste ($M=20,05$ cm, $ep=2,57$) e retenção ($M=21,63$ cm, $ep=2,54$), com os dois últimos não diferindo estatisticamente. Foi observado efeito significativo em todas as interações: grupo x fase,

$F(4,48) = 12,49$, $p < 0,001$, com comparações posteriores mostrando que todos os grupos foram similares na distância percorrido no pré-teste, enquanto que no pós-teste e retenção os grupos T+E e EST tiveram valores mais elevados do que o grupo TOQ; grupo x complexidade, $F(2,24) = 19,35$, $p < 0,001$, com comparações posteriores mostrando que na tarefa singular os grupos T+E e EST obtiveram maior distância percorrida do que o grupo TOQ, e que na tarefa dual o grupo T+E foi superior ao grupo TOQ, sendo os resultados deste último equivalentes àqueles do grupo EST; e grupo x complexidade x fase, $F(4,48) = 19,39$, $p < 0,001$, com comparações posteriores mostrando que na tarefa singular não foi detectada diferença significativa entre os grupos no pré-teste, porém no pós-teste e retenção os grupos T+E e EST foram superiores ao grupo TOQ. Na tarefa dual não foram encontradas diferenças entre os grupos no pré-teste, porém no pós-teste e retenção o grupo T+E foi superior aos outros dois grupos, que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 11).

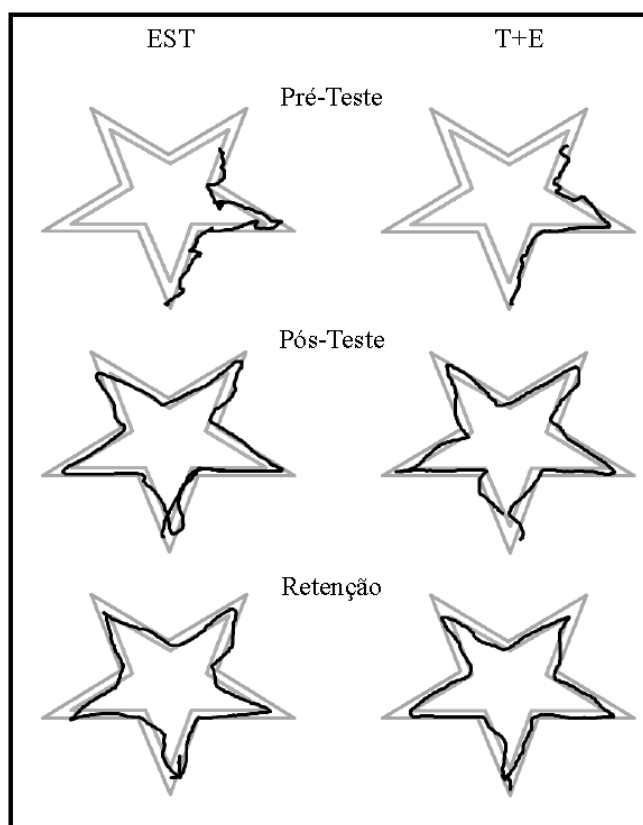


Figura 9 – Tentativas de traçado da estrela representativas dos grupos EST e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma singular. As linhas cinza representam os limites da estrela e a linha preta representa o traçado realizado pelo participante.

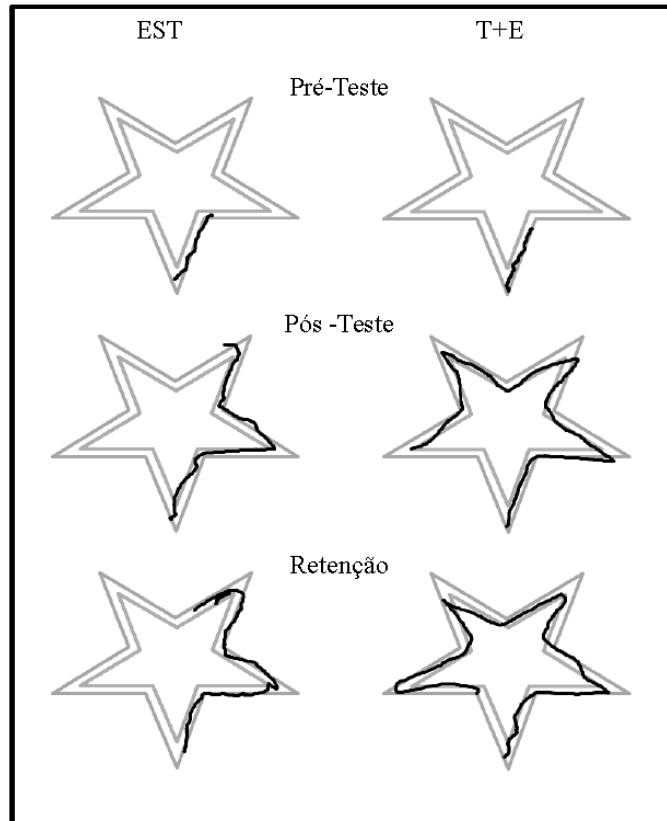


Figura 10 – Tentativas de traçado da estrela representativas dos grupos EST e T+E em cada teste na realização da tarefa de forma dual. As linhas cinza representam os limites da estrela e a linha preta representa o traçado realizado pelo participante.

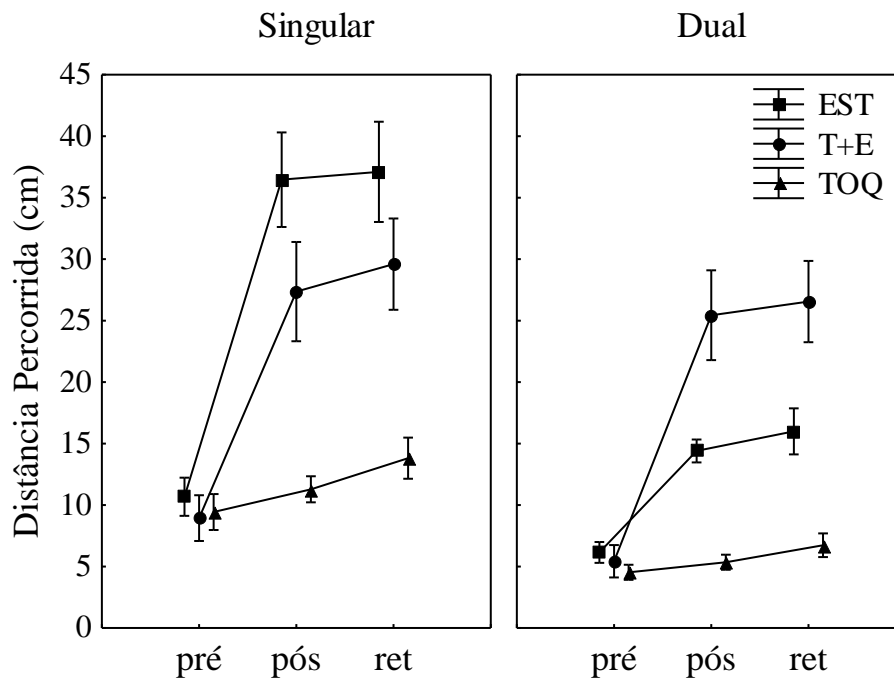


Figura 11 – Distância percorrida no traçado da estrela (cm), comparando os grupos em função da tarefa (singular x dual) e testes. Erro padrão representado por barras verticais.

8. DISCUSSÃO

Um dos objetivos principais deste estudo foi avaliar a variação da demanda atencional durante a aprendizagem de tarefas singulares versus a aprendizagem de tarefa dual. A análise do tempo de reação probatório mostrou que a demanda atencional exigida para realizar tarefas singulares é menor do que a demanda atencional da tarefa dual. Além disso, foi verificado que a demanda atencional diminuiu consistentemente após a prática apenas na tarefa dual, enquanto que nas tarefas singulares houve uma diminuição transitória da demanda atencional. O segundo objetivo deste estudo foi avaliar a variação de desempenho durante a aprendizagem de tarefas singulares versus dual. A análise da curva de aprendizagem mostrou que os grupos obtiveram taxa de aprendizagem equivalente. O desempenho atingido pelos praticantes da tarefa dual foi equivalente ao atingido pelos praticantes da tarefa singular quando comparados os desempenhos em cada tarefa singular. Para desempenho na tarefa dual, o grupo T+E atingiu valores superiores ao grupo EST e valores equivalentes ao grupo TOQ nas respectivas tarefas praticadas por estes dois grupos. Tais resultados indicam que o compartilhamento dos recursos atencionais durante a tarefa dual não prejudicou a aprendizagem motora em comparação com a prática com atenção focal em uma tarefa singular.

8.1. Efeito da prática sobre a demanda atencional

No presente estudo foi verificado que o TR probatório foi mais longo durante a realização da tarefa dual em comparação às duas tarefas singulares, toque entre os dedos e traçado da estrela, que obtiveram valores similares entre si. A mensuração do TR probatório é uma forma indireta de avaliar a demanda atencional requisitada pela tarefa principal (LAJOIE et al., 1993). Nesse sentido, os resultados indicam que a tarefa dual foi efetivamente mais complexa do que as duas tarefas singulares, como havia sido previsto, e que as tarefas singulares apresentaram níveis de complexidades equivalentes entre si. Os resultados do presente estudo corroboram os achados de Summers et al. (2008), mostrando TR mais curto na tarefa singular envolvendo movimentos circulares em comparação a situações de tarefa dual. O uso de mais recursos atencionais em tarefas complexas parece estar associado à maior ativação cerebral

(WU et al., 2004), redundando em maior sensibilidade e seletividade neural para as atividades de processamento central na execução da tarefa (SPITZER; DESIMONE; MORAN, 1988).

Um dos resultados aqui relatados de particular interesse diz respeito à persistência do efeito atencional. Foi verificada maior persistência da redução de demanda atencional com a prática na tarefa dual em comparação com os efeitos de prática nas tarefas singulares. Assim, a hipótese de que haveria redução persistente do tempo de reação probatório em função da aprendizagem em ambos os tipos de tarefa foi apenas parcialmente confirmada. A redução persistente da demanda atencional confirma resultados prévios de pesquisa em tarefa de coordenação bimanual (TEMPRADO et al., 2002). Nessa situação é exigida a distribuição da atenção simultaneamente entre duas ações, induzindo alta carga de processamento central. É possível que em face desse estresse, o sistema nervoso central busque acomodação em um modo de controle mais econômico, requisitando menor uso dos recursos atencionais. Assim, os resultados do grupo T+E indicam que um dos efeitos da prática nesse tipo de tarefa motora é a redução duradoura da atenção requisitada para realizar a tarefa. O efeito mais surpreendente foi observado na prática das tarefas singulares. A revelação de que houve apenas uma redução transitória da demanda atencional é contraditória com o pensamento consensual de que a prática leva à redução duradoura da demanda atencional como subproduto da aprendizagem (SCHMIDT; LEE, 2005). Os resultados indicaram que tal efeito ocorre apenas durante o período de prática, mas se dissipa após alguns dias de repouso. Neste caso, uma possível explicação é de que, mesmo se empenhando para realizar as tarefas singulares com o melhor desempenho, a demanda atencional é relativamente pequena em comparação com o desempenho em tarefas duais. Aparentemente o menor uso de recursos atencionais pode fazer com que a redução mais modesta da demanda atencional pelo efeito da prática seja superada pela pressão em obter o melhor desempenho após um período de repouso. É possível que o esperado efeito de redução atencional persistente em tarefas mais simples seja observado apenas após prática extensiva da tarefa motora.

8.2. Desempenho nas tarefas principais

8.2.1. Fase de prática

A análise do desempenho durante a prática mostrou que os grupos que praticaram tarefas singulares conseguiram atingir melhor desempenho em comparação com o grupo T+E. Assim, a diferença do desempenho durante a prática entre as tarefas singulares e dual parece estar associado à demanda atencional da tarefa, uma vez que em ambas as análises foi verificado o efeito de complexidade da tarefa. Tais resultados estão de acordo com os achados de Sabaté, Gonzalez e Rodriguez (2004) mostrando um aumento no tempo de execução durante a tarefa dual de toques sequenciais dos dedos de forma assimétrica em comparação à tarefa unimanual e bimanual com movimentos simétricos. De acordo com os autores, com a realização do movimento de forma simétrica existe uma facilitação inter-hemisférica, o que levaria a um aumento da rapidez de execução da mão esquerda, que tende ser mais lenta em virtude da especialização hemisférica. Por outro lado, a facilitação hemisférica não foi encontrada para a situação de movimentos assimétricos, os autores sugerem que o planejamento motor distinto não pode ser processado simultaneamente e a atenção precisa ser continuamente alternada entre ambas as mãos. Ambos os fatores seriam responsáveis pelo aumento do tempo de movimento. Como no presente estudo foram utilizadas duas tarefas distintas fica aparente que o menor número de toques dos dedos e a menor distância percorrida na estrela durante a tarefa dual podem ter sido ocasionados pela necessidade da utilização de dois planejamentos motores distintos e a necessidade de compartilhamento da atenção para ambas as mãos.

Apesar de os estudos comportamentais evidenciarem o efeito da atenção compartilhada e da possibilidade de execução de dois planos motores simultâneos, estudos neurofisiológicos apontam que a ativação de áreas corticais ótimas para o controle motor e de áreas imprescindíveis para a aprendizagem motora (PASCUAL-LEONE et al., 2005), assim como o aumento do potencial dos mecanismos de plasticidade neural em áreas sensório-motoras (CONTE et al., 2007; ROSENKRANZ; ROTHWELL, 2006; STEFAN et al., 2004), são dependentes do foco atencional. Assim, espera-se que o compartilhamento de atenção em tarefas duais com movimentos assimétricos leve a uma diminuição da ativação nessas áreas corticais. Além disso, alguns autores têm sugerido que em tarefas duais existe uma

diminuição do desempenho em virtude de ambas as tarefas recrutarem os mesmos campos corticais (GERLOFF; ANDRES, 2002; PASSINGHAM, 1996; REMY et al., 2010; WU et al., 2004). A este respeito, Remy et al. (2010) realizaram um estudo sobre a interferência da tarefa dupla no estágio inicial de uma nova habilidade motora de coordenação e analisaram a ativação cerebral usando a técnica de imageamento funcional por ressonância magnética. Os resultados mostraram que houve uma clara interferência no início da aprendizagem, com desempenho superior do grupo de prática singular em comparação com o grupo T+E. Porém, tal diferença não foi encontrada na fase final da aprendizagem. Os autores concluíram que a interferência da tarefa dual no início da aprendizagem motora ocorreu em virtude da competição pelos mesmos recursos neurais, pois ambas as tarefas envolviam ativação das áreas frontal e parietal. A partir da hipótese de interferência, espera-se que se as tarefas realizadas não utilizarem os mesmos campos de ativação não haverá uma interferência no processo de aprendizagem. Tal efeito foi encontrado no presente estudo, sendo que o platô de aprendizagem ocorreu no mesmo instante para todas as condições experimentais (singulares e dual) e a taxa de aprendizagem das tarefas foram equivalentes entre a condição singular e dual. Tais resultados mostram a capacidade de aprendizagem em uma situação dual em que existe a necessidade de compartilhamento da atenção entre duas tarefas motoras distintas. Tais resultados dão suporte para a especialização hemisférica, em que tarefas visuoespaciais possuem predomínio de ativação no hemisfério cerebral direito (SERRIEN et al., 2006), enquanto que tarefas sequenciais ativam principalmente o hemisfério cerebral esquerdo (GRAFTON et al., 2002). Com isso, o resultado inferior de desempenho apresentado pelo grupo de prática dual estaria relacionado somente com a disputa por recursos atencionais.

8.2.2. Testes

Foi verificado que os participantes da prática dual quando realizaram as tarefas de forma singular obtiveram desempenhos equivalentes aos participantes que realizaram a prática singular. Tal resultado dá suporte à noção de capacidade de processamentos distintos realizados simultaneamente, sendo um para cada tarefa com mecanismos neurais distintos (JANSSEN et al., 2010), como mostrado pela capacidade de aprendizagem equivalente entre as condições experimentais. Outro ponto de interesse é que os resultados do presente estudo corroboram achados prévios em tarefas com campos de força distintos para cada braço

(HOWARD et al., 2008; TCHEANG et al., 2007). Tais estudos evidenciaram que a prática de forma bimanual não prejudicou nem facilitou a aprendizagem e que os campos de força diferentes aplicados a cada braço são aprendidos de forma independente. No presente estudo, ficou evidenciado que o aprendizado de uma habilidade sequencial com uma mão não prejudica o aprendizado de uma habilidade visuoespacial com a mão oposta e vice-versa. Uma possível explicação para tal fenômeno seria por maior ativação do cerebelo durante a atenção dividida em comparação com a atenção focada (IIDAKA et al., 2000). O cerebelo tem importância fundamental para a aprendizagem motora, pois é responsável pela comparação entre o movimento intencional e o real a fim de diminuir o erro motor (PURVES et al., 2005).

A capacidade de aprendizagem de duas habilidades motoras simultâneas como mostrado no presente trabalho dá suporte para a teoria de vários recursos atencionais. Navon e Gopher (1979) foram os primeiros autores a propor que a atenção não deve ser vista como uma fonte única de recursos a serem distribuídos para os diferentes processos mentais. Alternativamente, são propostos vários recursos atencionais que poderiam ser alocados para cada processo realizado sem sofrer interferência central. Complementando a idéia apresentada por Navon e Gopher (1979), Friedman e Polson (1981) sugeriram que o modelo de recursos múltiplos estaria relacionado com a especialização hemisférica cerebral. Dessa maneira, cada hemisfério cerebral, esquerdo e direito, seria uma fonte com recursos mutuamente inacessíveis e finitos. A partir desta teoria, a realização de tarefas que demandam processamentos diferentes levaria a uma interferência menor para a realização de ambas as tarefas. Além disso, os estudos de Asai, Sugimori e Tanno (2010) e Sainburg e Kalakanis (2000) sugerem que cada braço demanda mecanismos neurais distintos e possuem modelos internos distintos. Tal efeito complementa a teoria de recursos múltiplos (NAVON; GOPHER, 1979) e segregação de recursos atencionais inter-hemisférios cerebrais (FRIEDMAN; POLSON, 1981) e trazem suporte para a compreensão de como é possível aprender duas tarefas motoras simultaneamente.

As diferenças de transferência vertical de aprendizagem, de tarefa singular para dual e vice-versa, podem estar relacionadas às características de processamento de cada tarefa no cérebro. O desempenho na tarefa de toques dos dedos, por exemplo, parece ser amplamente responsabilidade de processamento de uma área mais delimitada ao córtex parietal posterior (GRAFTON et al., 2002). Além disso, o planejamento de movimentos sequenciais envolve ativação do córtex pré-motor dorsal e parietal do hemisfério esquerdo independente da mão de execução da tarefa (HAALAND et al., 2004). É possível que em função desta característica, a realização em paralelo da tarefa de traçado de estrela não tenha afetado o desempenho dos

toques sequenciais dos dedos nas avaliações pós-prática, levando a um desempenho similar entre os grupos TOQ e T+E. Tal similaridade de desempenho entre estas condições experimentais já havia sido detectada ao final da fase de prática, com ausência de diferença significativa entre os grupos TOQ e T+E nos últimos blocos. A tarefa de traçado, por outro lado, pode sofrer maior interferência da execução de outras tarefas simultâneas. Apesar de a tarefa de desenhar uma figura dentro de limites estritos e com feedback invertido exigir uma demanda de processamento visuoespacial bastante evidente, outras funções importantes de processamento central poderiam ser compartilhadas com outras tarefas. Como a tarefa de desenhar é realizada quase que exclusivamente com a mão direita em indivíduos destros, é possível que áreas homólogas no hemisfério esquerdo sejam ativadas quando tal ação é desempenhada com a mão esquerda. Além disso, a execução de um desenho exige uma organização sequencial de traços, o que tem sido sugerido ser uma função desempenhada predominantemente pelo hemisfério cerebral esquerdo (GRAFTON et al., 2002). Os resultados aqui apresentados, assim, evidenciam que a transferência entre tarefas motoras com diferentes níveis de complexidade é específica às exigências de controle de cada tarefa.

9. CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo conduziram às seguintes conclusões:

A prática levou a uma redução transitória da demanda atencional em tarefas singulares, enquanto que foi detectada redução persistente da demanda atencional na tarefa dual.

Ficou evidenciada a capacidade de aprendizagem em duas tarefas praticadas simultaneamente, uma com cada mão.

A aprendizagem em cada tarefa foi semelhante entre as práticas de tarefa dual e de tarefa singular, quando o desempenho em cada tarefa foi avaliado individualmente.

Para desempenho na tarefa dual, o grupo T+E atingiu valores superiores ao grupo EST e valores equivalentes ao grupo TOQ nas respectivas tarefas praticadas por estes dois grupos.

A transferência vertical de aprendizagem entre tarefas singulares e tarefa dual foi assimétrica.

REFERÊNCIAS

- ASAI, T.; SUGIMORI, E.; TANNO, Y. (2010). Two agents in the brain: motor control of unimanual and bimanual reaching movements. **PLoS One**, 5(4), e10086.
- BINKOFSKI, F.; FINK, G. R.; GEYER, S.; BUCCINO, G.; GRUBER, O.; SHAH, N. J., et al. (2002). Neural activity in human primary motor cortex areas 4a and 4p is modulated differentially by attention to action. **Journal of Neurophysiology**, 88, 514-519.
- CONTE, A.; GILIO, F.; IEZZI, E.; FRASCA, V.; INGHILLERI, M.; BERARDELLI, A. (2007). Attention influences the excitability of cortical motor areas in healthy humans. **Experimental Brain Research**, 182(1), 109-117.
- CORBETTA, M.; MIEZIN, F. M.; DOBMEYER, S.; SHULMAN, G. L.; PETERSEN, S. E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: functional anatomy by positron emission tomography. **The Journal of Neuroscience**, 11(8), 2383-2402.
- DEBAERE, F.; WENDEROTH, N.; SUNAERT, S.; VAN HECKE, P.; SWINNEN, S. P. (2004). Changes in brain activation during the acquisition of a new bimanual coordination task. **Neuropsychologia**, 42(7), 855-867.
- FISK, A. D.; SCHNEIDER, W. (1984). Memory as a function of attention, level of processing, and automatization. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, 10(2), 181-197.
- FRANZ, E. A.; ZELAZNIK, H. N.; SWINNEN, S. S.; WALTER, C. (2001). Spatial conceptual influences on the coordination of bimanual actions: when a dual task becomes a single task. **Journal of Motor Behavior**, 33(1), 103-112.
- FRIEDMAN, A.; POLSON, M. C. (1981). Hemispheres as independent resource systems: Limited-capacity processing and cerebral specialization. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 7(5), 1031-1058.
- FRIEDMAN, A.; POLSON, M. C.; DAFOE, C. G. (1988). Dividing attention between the hands and the head: Performance trade-offs between rapid finger tapping and verbal memory. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 14(1), 60-68.

GAZZANIGA, M. S.; IVRY, R. B.; MANGUN, G. R. (2006). **Neurociência cognitiva: A biologia da mente**. São Paulo: Manole.

GERLOFF, C.; ANDRES, F. G. (2002). Bimanual coordination and interhemispheric interaction. *Acta psychologica*, *110*(2-3), 161-186.

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

HAALAND, K. Y.; ELSINGER, C. L.; MAYER, A. R.; DURGERIAN, S.; RAO, S. M. (2004). Motor sequence complexity and performing hand produce differential patterns of hemispheric lateralization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(4), 621-636.

HASHER, L.; ZACKS, R. T. (1979). Automatic and Effortful Processes in Memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *108*(3), 356-388.

HAZELTINE, E.; GRAFTON, S. T.; IVRY, R. (1997). Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence encoding. A PET study. *Brain*, *120* (Pt 1), 123-140.

HEUER, H. (1988). Pseudoautomatization in manual control - a simulation study. *Ergonomics*, *31*(12), 1729-1742.

HOWARD, I. S.; INGRAM, J. N.; WOLPERT, D. M. (2008). Composition and decomposition in bimanual dynamic learning. *Journal of Neuroscience*, *28*(42), 10531-10540.

IIDAKA, T.; ANDERSON, N. D.; KAPUR, S.; CABEZA, R.; CRAIK, F. I. (2000). The effect of divided attention on encoding and retrieval in episodic memory revealed by positron emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(2), 267-280.

JANSSEN, L.; CRAJE, C.; WEIGELT, M.; STEENBERGEN, B. (2010). Motor planning in bimanual object manipulation: two plans for two hands? *Motor Control*, *14*(2), 240-254.

JOHANSEN-BERG, H.; MATTHEWS, P. M. (2002). Attention to movement modulates activity in sensori-motor areas, including primary motor cortex. *Experimental Brain Research*, *142*(1), 13-24.

JUEPTNER, M.; FRITH, C. D.; BROOKS, D. J.; FRACKOWIAK, R. S.; PASSINGHAM, R. E. (1997). Anatomy of motor learning. II. Subcortical structures and learning by trial and error. **Journal of Neurophysiology**, 77(3), 1325-1337.

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

LAJOIE, Y.; TEASDALE, N.; BARD, C.; FLEURY, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. **Experimental Brain Research**, 97(1), 139-144.

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

LI, Y.; WRIGHT, D. L. (2000). An assessment of the attention demands during random- and blocked-practice schedules. **Quarterly Journal of Experimental Psychology A**, 53(2), 591-606.

LIMA, R. F. (2005). Compreendendo os mecanismos atencionais. **Ciências & Cognição**, 6, 113-122.

LOGAN, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. **Psychological Review**, 95(4), 492-527.

LUCK, S. J. (1998). Sources of dual-task interference: Evidence from human electrophysiology. **Psychological Science**, 9(3), 223-227.

LUCK, S. J.; WOODMAN, G. F.; VOGEL, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. **Trends in Cognitive Sciences**, 4(11), 432-440.

MATTHEWS, A.; GARRY, M. I.; MARTIN, F.; SUMMERS, J. (2006). Neural correlates of performance trade-offs and dual-task interference in bimanual coordination: an ERP investigation. **Neuroscience Letters**, 400(1-2), 172-176.

MONNO, A.; TEMPRADO, J. J.; ZANONE, P. G.; LAURENT, M. (2002). The interplay of attention and bimanual coordination dynamics. **Acta Psychologica**, 110(2-3), 187-211.

MURIAN, A.; DESCHAMPS, T.; TEMPRADO, J. J. (2008). Effects of force production and trial duration on bimanual performance and attentional demands in a rhythmic coordination task. **Motor Control**, 12(1), 21-37.

NAVON, D.; GOPHER, D. (1979). Economy of the human-processing system. **Psychological Review**, 86(3), 214-255.

NEWELL, K. M.; HOSHIZAKI, L. E. F. (1980). Attention demands of movements as a function of their duration and velocity **Acta Psychologica**, 44(1), 59-69.

OLDFIELD, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, 9(1), 97-113.

PASCUAL-LEONE, A.; AMEDI, A.; FREGNI, F.; MERABET, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. **Annual Review of Neuroscience**, 28, 377-401.

PASHLER, H. (1990). Do response modality effects support multiprocessor models of divided attention? **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 16(4), 826-842.

PASHLER, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. **Psychological Bulletin**, 116(2), 220-244.

PASHLER, H.; JOHNSTON, J. C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler (Ed.), **Attention** (pp. 155-189). East Sussex, UK: Psychology Press.

PASHLER, H.; O'BRIEN, S. (1993). Dual-task interference and the cerebral hemispheres. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 19(2), 315-330.

PASSINGHAM, R. E. (1996). Attention to action. **Philosophical Transactions: Biological Sciences**, 351(1346), 1473-1479.

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

POSNER, M. I.; BOIES, S. J. (1971). Components of attention. **Psychological Review**, 78(5), 391-408.

PURVES, D.; AUGUSTINE, G. J.; FITZPATRICK, D.; KATZ, L. C.; LAMANTIA, A.; MCNAMARA, J. O., ET AL. (2005). **Neurociências** (2 ed.). Porto Alegre: Artmed.

PUTTEMANS, V.; WENDEROTH, N.; SWINNEN, S. P. (2005). Changes in brain activation during the acquisition of a multifrequency bimanual coordination task: from the cognitive stage to advanced levels of automaticity. **Journal of Neuroscience**, 25(17), 4270-4278.

REMY, F.; WENDEROTH, N.; LIPKENS, K.; SWINNEN, S. P. (2010). Dual-task interference during initial learning of a new motor task results from competition for the same brain areas. **Neuropsychologia**, 48(9), 2517-2527.

ROSENKRANZ, K.; ROTHWELL, J. C. (2006). Spatial attention affects sensorimotor reorganisation in human motor cortex. **Experimental Brain Research**, 170(1), 97-108.

ROWE, J.; FRISTON, K.; FRACKOWIAK, R.; PASSINGHAM, R. (2002). Attention to action: specific modulation of corticocortical interactions in humans. **Neuroimage**, 17(2), 988-998.

SABATE, M.; GONZALEZ, B.; RODRIGUEZ, M. (2004). Brain lateralization of motor imagery: motor planning asymmetry as a cause of movement lateralization. **Neuropsychologia**, 42(8), 1041-1049.

SAINBURG, R. L.; KALAKANIS, D. (2000). Differences in control of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching. **Journal of Neurophysiology**, 83(5), 2661-2675.

SCHMIDT, R.A.; LEE, T.D. (2005). **Motor control and learning: A behavioral emphasis**. Champaign, IL, US: Human Kinetics.

SCHNEIDER, W.; CHEIN, J. M. (2003). Controlled & automatic processing: behavior, theory, and biological mechanisms. **Cognitive Science**, 27, 525-559.

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

SCHNEIDER, W.; SHIFFRIN, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. **Psychological Review**, 84(1), 1-66.

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

SHIFFRIN, R. M.; SCHNEIDER, W. (1977). Controlled and automatic human information-processing .2. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. **Psychological Review**, 84(2), 127-190.

SHIFFRIN, R. M.; SCHNEIDER, W. (1984). Automatic and controlled processing revisited. **Psychological Review**, 91(2), 269-276.

SPELKE, E.; HIRST, W.; NEISSER, U. (1976). Skills of divided attention. **Cognition**, 4(3), 215-230.

SPITZER, H.; DESIMONE, R.; MORAN, J. (1988). Increased attention enhances both behavioral and neuronal performance. **Science**, 240(4850), 338-340.

STAGER, P.; LAABS, G. J. (1977). The effect of divided attention on probe reaction time in multiple-task performance. **Canadian Journal of Psychology**, 31(4), 174-183.

STEFAN, K.; WYCISLO, M.; CLASSEN, J. (2004). Modulation of associative human motor cortical plasticity by attention. **Journal of Neurophysiology**, 92(1), 66-72.

SUMMERS, J. J.; MAEDER, S.; HIRAGA, C. Y.; ALEXANDER, J. R. (2008). Coordination dynamics and attentional costs of continuous and discontinuous bimanual circle drawing movements. **Human Movement Science**, 27(5), 823-837.

SWINNEN, S. P.; WALTER, C. B.; LEE, T. D.; SERRIEN, D. J. (1993). Acquiring bimanual skills: contrasting forms of information feedback for interlimb decoupling. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, 19(6), 1328-1344.

SWINNEN, S. P.; WENDEROTH, N. (2004). Two hands, one brain: cognitive neuroscience of bimanual skill. **Trends in Cognitive Sciences**, 8(1), 18-25.

TCHEANG, L.; BAYS, P. M.; INGRAM, J. N.; WOLPERT, D. M. (2007). Simultaneous bimanual dynamics are learned without interference. **Experimental Brain Research**, 183(1), 17-25.

TEIXEIRA, L. A. (2006). **Controle Motor**. Barueri-SP: Manole.

TEMPRADO, J. J.; CHARDENON, A.; LAURENT, M. (2001). Interplay of biomechanical and neuromuscular constraints on pattern stability and attentional demands in a bimanual coordination task in human subjects. **Neuroscience Letters**, 303(2), 127-131.

TEMPRADO, J. J.; MONNO, A.; ZANONE, P. G.; KELSO, J. A. (2002). Attentional demands reflect learning-induced alterations of bimanual coordination dynamics. **European Journal of Neuroscience**, 16(7), 1390-1394.

TREISMAN, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. **Psychological Review**, 76(3), 282-299.

WALTER, C. B.; SWINNEN, S. P. (1992). Adaptive tuning of interlimb attraction to facilitate bimanual decoupling. **Journal of Motor Behavior**, 24(1), 95-104.

WENDEROTH, N.; PUTTEMANS, V.; VANGHELUWE, S.; SWINNEN, S. P. (2003). Bimanual training reduces spatial interference. **Journal of Motor Behavior**, 35(3), 296-308.

WU, T.; KANSAKU, K.; HALLETT, M. (2004). How self-initiated memorized movements become automatic: A functional MRI study. **Journal of Neurophysiology**, 91, 1690-1698.

ZANONE, P. G.; MONNO, A.; TEMPRADO, J. J.; LAURENT, M. (2001). Shared dynamics of attentional cost and pattern stability. **Human Movement Science**, 20(6), 765-789.