

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

NATALIA SILVA SIQUEIRA

Perseguição Visual em Ações Interceptativas em Situações de Incerteza
sobre a Direção de Deslocamento do Alvo

São Paulo
2012

NATALIA SILVA SIQUEIRA

Perseguição Visual em Ações Interceptativas em Situações de Incerteza sobre a
Direção de Deslocamento do Alvo

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
2012

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.

Siqueira, Natalia Silva

Perseguição Visual em Ações Interceptativas em Situações de Incerteza sobre a Direção de Deslocamento do Alvo / Natalia Silva Siqueira. – São Paulo: [s.n.], 2012.

57p.

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

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira.

Nome: SIQUEIRA, Natalia Silva

Título: Perseguição Visual em Ações Interceptativas em Situações de Incerteza sobre a Direção de Deslocamento do Alvo

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 a meus pais, Rosângela e Lázaro pelo suporte e incentivo ao meu crescimento pessoal e intelectual. Meu irmão e grande cientista Diego, por me incentivar à dedicação à pesquisa. Ao meu companheiro, amigo e amor, José Mauro pelo carinho, pela paciência nos momentos de estresse e pelo incentivo quando eu achava que não seria mais capaz. Vocês são meu porto seguro!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu orientador de iniciação científica Sergio Tosi Rodrigues, por ter me introduzido na pesquisa, por me ensinar as bases desta arte e, mais uma vez, por me passar o ditado “se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim”. Sou grata também ao orientador desta dissertação de mestrado, Luis Augusto Teixeira, por ter me dado a oportunidade e ter me ensinado que pesquisa demanda paixão do pesquisador. Obrigada pela paciência e compreensão neste período difícil em São Paulo.

Agradeço a meus colegas de laboratório do SMH pelas risadas, pelas ajudas nas coletas de dados, pelos ensinamentos e pelo incentivo durante todo o período em que estive na capital. Em especial sou muito grata a minha amiga Ana Paula Kogake e ao querido técnico de laboratório e amigo Daniel Boari. Agradecida aos dois pela ajuda e pela paciência em “ouvir minhas pitangas”, pelas muitas piadas para alegrar as coletas de dados, pela imensa ajuda técnica e por não deixarem eu pensar em desistir. Vocês foram parte fundamental para que este trabalho fosse concluído!

Sou grata a todas as pessoas que ao menos admiraram e tiveram pensamento positivo para que esta dissertação fosse concluída. Agradeço meus familiares e amigos pelo orgulho e por, de alguma maneira, contribuírem para meu ânimo e dedicação nas horas difíceis.

Finalmente, do mais fundo de meu coração, agradeço minha fortaleza: Pai, Mãe, Irmão e meu Príncipe. Vocês são o que faz minha vida prosseguir com alegria, os que não me deixaram desistir, e os que confiaram em mim... Mesmo quando eu mesma deixei de confiar. Obrigada Deus pela força e por permitir que eu superasse este desafio e ter me fortalecido emocionalmente nas horas de desespero!

Agradeço ao apoio financeiro da FAFESP concedido na forma de bolsa de estudo (processo n.2008/08996-0), sem o qual este trabalho não teria sido desenvolvido.

RESUMO

SIQUEIRA, N.S. **Perseguição Visual em Ações Interceptativas em Situações de Incerteza sobre a Direção de Deslocamento do Alvo.** 2012. 57f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da incerteza a respeito da direção do deslocamento de um alvo na estratégia visual e controle motor em uma tarefa de interceptação. Participaram do Experimento I 17 voluntários, executando movimentos manuais interceptativos de um alvo virtual projetado em uma tela de LCD. A tarefa interceptativa foi executada com um mouse sem fio. Os participantes foram submetidos a três condições experimentais em duas velocidades: (1) certeza de deslocamento com direção inicial do alvo inalterada, (2) 50% de incerteza de mudança na direção de deslocamento do alvo, e (3) certeza de mudança na direção de deslocamento do alvo. Participaram do Experimento II 20 voluntários de outros grupos diferentes dos do experimento anterior, que executaram a mesma tarefa descrita no Experimento I. Dez voluntários integraram o grupo que recebeu informação prévia sobre a probabilidade de deslocamento do alvo antes de cada série de tentativas (INF), e os demais integraram o grupo que não recebeu informação prévia (SI). Ambos os grupos foram submetidos a três condições de avaliação: (1) 25% de certeza de mudança na direção do alvo, (2) 50% de certeza de mudança na direção do alvo, e (3) 75% de certeza de mudança na direção do alvo. Os resultados revelaram que o comportamento visual é modulado pela velocidade e incerteza sobre o deslocamento do alvo. Foi encontrado também que o conhecimento prévio sobre a probabilidade de deslocamento do alvo influenciou a estratégia visual utilizada e o desempenho da interceptação. Comportamentos preditivos foram evidenciados tanto no comportamento visual quanto no motor.

Palavras-chave: movimentos sacádicos, comportamento visual, interceptação, incerteza

ABSTRACT

SIQUEIRA, N.S. **Visual Pursuit in Interceptive Actions in Situations of Uncertainty about Direction of Target Displacement.** 2012. 57p. Master Thesis, School of Physical Education and Sport, University of São Paulo, São Paulo, 2012.

The present study aimed to evaluate the effect of uncertainty about direction of target displacement on the visual strategy and motor control in an interception task. Seventeen volunteers participated of Experiment I. They performed interceptive manual movements of a virtual target projected on a LCD screen. The task was performed with a wireless mouse. Participants were submitted to three experimental conditions in two speeds: (1) certainty about unchanged initial target displacement direction, (2) 50% of uncertainty about change of target displacement direction, and (3) certainty about change of initial target displacement direction. Twenty volunteers different from Experiment I participated of Experiment II. Participants performed the same task described in the first experiment. Ten volunteers were assigned to a group which received prior information about the probability of displacement of the target before each condition (INF), and the others were assigned to a group that received no prior information (SI). The groups were evaluated in three conditions: 25%, 50% and 75% of uncertainty about change of target direction. Results of this study revealed that visual behavior is modulated by target speed and uncertainty about the target's motion. We also found that prior knowledge about the probability of the target's movement influenced the visual strategy used and the performance of the interception. Predictive behaviors were evidenced in both the visual and motor behavior.

Keywords: saccadic movements, visual behavior, interception, uncertainty

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do arranjo experimental	26
Figura 2. Representação da divisão por zonas visuais.	29
Figura 3. Médias e desvios padrão da amplitude das sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.	32
Figura 4. Médias e desvios padrão da velocidade angular da perseguição visual nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.....	32
Figura 5. Médias e desvios padrão do número de sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.	33
Figura 6. Médias e desvios padrão do erro temporal absoluto nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.....	36
Figura 7. Médias e desvios padrão do tempo de iniciação do movimento motor nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.....	37
Figura 8. Médias e desvios padrão do tempo de movimento motor nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.	38
Figura 9. Médias e desvios padrão da amplitude das sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na direção, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na direção do alvo.....	41
Figura 10. Médias e desvios padrão da velocidade angular da perseguição visual nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na direção, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na direção do alvo.....	42
Figura 11. Médias e desvios padrão do número de sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na direção, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na direção do alvo.....	43

- Figura 12. Médias e desvios padrão do erro absoluto nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na trajetória, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na trajetória do alvo.....46
- Figura 14. Médias e desvios padrão do tempo de iniciação do movimento motor nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na trajetória, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na trajetória do alvo.47
- Figura 15. Representação da interação entre os fatores direção x grupo na variável tempo de movimento.48

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Médias de tempo de fixação (ms) por zonas de interesse para as velocidades alta e baixa.34
- Tabela 2. Frequências absolutas médias de sacadas visuais por zonas de interesse nas condições com velocidade alta e baixa.....35
- Tabela 3. Médias de tempo de fixação (ms) por zonas de interesse nas condições sem mudança e com mudança na direção do alvo.44
- Tabela 4. Frequências absolutas médias de sacadas visuais por zonas de interesse nas condições sem e com mudança na trajetória do alvo.45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2. 1 Rastreamento visual e movimentos sacádicos	16
2. 2 Interceptação e modelos internos	18
3 OBJETIVOS.....	22
4 HIPÓTESES.....	23
5 JUSTIFICATIVA.....	24
6 EXPERIMENTO I.....	25
6. 1 MÉTODO	25
6. 1. 1 Participantes	25
6. 1. 2 Tarefa e instruções	25
6. 1. 3 Equipamentos e procedimentos.....	26
6. 1. 4 Delineamento experimental.....	27
6. 1. 5 Análise dos dados.....	28
6. 2 RESULTADOS.....	31
6. 2. 1 Variáveis do comportamento visual	31
6. 2. 2 Variáveis do movimento interceptativo.....	35
7. EXPERIMENTO II.....	39
7. 1 MÉTODO	39
7. 1. 1 Participantes	39
7. 1. 2 Tarefa e instruções	39
7. 1. 3 Equipamentos e procedimentos.....	39
7. 1. 4 Delineamento experimental.....	40
7. 1. 5 Análise dos dados.....	40
7. 2 RESULTADOS.....	41
7. 2. 1 Variáveis do comportamento visual	41
7. 2. 2 Variáveis do movimento interceptativo.....	45
8. DISCUSSÃO GERAL.....	49
9 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Ações interceptativas são muito comuns no cotidiano dos humanos. Podemos pegar um fruto caindo da árvore, rebater uma bola para uma criança no parque ou tentar golpear um inseto voando em nossa direção. No âmbito esportivo o leque de ações interceptativas também é amplo, como a rebatida do badminton, a cortada do voleibol, ou a defesa e o ataque nas artes marciais. Nesta categoria de ações motoras somos requisitados a antecipar espaço-temporalmente a chegada e o momento de interceptação com base na velocidade e trajetória do alvo ao longo do deslocamento. A contribuição de diferentes sistemas de detecção de movimento (MONTAGNE, LAURENT e RIPOLL, 1993), assim como de variáveis visuais como tempo de fixação dos olhos em certas cenas (RODRIGUES e VICKERS, 1998; LAND e MCLEOD, 2000), perseguição visual de alvos móveis (VICKERS e ADOLPHE, 1997; PANCHUK e VICKERS, 2006), assim como movimentos sacádicos (ETCHELS et al., 2010, VON HOFSTEN e ROSANDER, 1996 e 1997, CROFT, BUTTON e DICKS, 2010; BRENNER, SMEETS e VAN DER BERG, 2001; WHITNEY e GOODALE, 2005) têm sido estudadas para tentar compreender esta integração sensório-motora.

Além das variáveis do comportamento visual, necessitamos ainda priorizar um sistema para rastrear visualmente o alvo. Para compreender os sistemas de detecção de um alvo em movimento Montagne, Laurent e Ripoll (1993) observaram o comportamento do olhar de participantes ao agarrarem bolas de tênis arremessadas em diferentes velocidades por uma máquina. Encontraram que os melhores desempenhos na interceptação quando o alvo se deslocava em alta velocidade ocorreram quando o sistema imagem-retina foi utilizado. O sistema cabeça-olhos foi mais eficaz para alvos que se deslocavam em menor velocidade. Esse achado revela uma capacidade pouco conhecida da visão periférica de extrair informação útil da cena visual sobre o tempo para contato. No entanto, o tipo de sistema mais eficaz para rastreamento do alvo depende da distância entre o observador e o alvo, e adicionalmente da velocidade deste alvo.

As estratégias visuais somente podem ser analisadas em tarefas em que os participantes fazem uso primordialmente da visão focal (sistema cabeça-olhos). Alguns estudos apontam a relação entre o tipo de estratégia visual utilizada e a

desempenho em diferentes tarefas com estas características. Panchuk e Vickers (2006) observaram que menores frequências e durações mais longas de perseguição contínua estão relacionadas com defesas bem sucedidas de goleiros de hóquei no gelo. Em tenistas de mesa as estratégias visuais foram estudadas por Rodrigues, Vickers e Williams (2002). Os achados revelaram que os participantes mais habilidosos demonstraram início prévio de perseguição visual da bola, obtendo melhor desempenho comparando com os participantes menos habilidosos. Resultados semelhantes também foram encontrados em estudo com jogadores de voleibol executando recepção de saques (VICKERS e ADOLPHE, 1997). Esta sequência de estudos remete a uma noção de que longa perseguição visual iniciada antes da ação (VICKERS, 1996) e a estabilização dos olhos-cabeça durante a ação (RIPOLL e FLEURANCE, 1988) podem levar a um melhor desempenho motor. No entanto, a perseguição visual durante somente uma parte do vôo do alvo e sacadas visuais preditivas em locais de importância do contexto da tarefa também podem ser eficazes. Land e McLoad (2000) estudaram estratégias visuais de batedores do críquet. Com perseguição visual somente até uma porção do vôo da bola os batedores analisados foram capazes de estimar o ponto de rebatida com boa acurácia. Estes estudos sobre estratégias visuais têm buscado entender como o controle de ações motoras é guiado pela informação visual e têm mostrado a íntima relação entre desempenho e o tipo de estratégia visual utilizada na tarefa.

Das estratégias descritas anteriormente, duas principais são usadas pelo sistema oculomotor buscando minimizar erros no desempenho. Estratégias preditivas para um bom desempenho motor e sacadas têm sido estudadas em busca de melhor compreender o comportamento visuomotor e como a previsão se reflete na visão de maneira a influenciar o desempenho motor. Previsão é usada quando a trajetória das metas é conhecida com antecedência, ou podem ser extrapolados a partir informação anteriores (KOWLER, 1989) Nestes casos, o sistema oculomotor antecipa um evento antes que ele aconteça. Uma recente abordagem sobre os sistemas preditivos de alta ordem propõe que modelos internos preditivos são construídos com a experiência de execução de tarefas. A prática enriquece este modelo, que a cada vez torna-se mais refinado, podendo prever de maneira acurada acontecimentos futuros relacionados à tarefa, contribuindo assim de forma direta com o desempenho. Estudos prévios têm mostrado que para interceptar um alvo em

movimento levamos em consideração não apenas as variáveis ópticas e visuais do contexto da tarefa, mas também o efeito esperado da força gravitacional que rege aceleração ou desaceleração sobre seu movimento (MCINTYRE et al., 2001; SENOT et al., 2003; ZAGO et al., 2004; ZAGO et al., 2005; INDOVINA et al., 2005). No entanto, devemos acrescentar o atraso visuomotor - período compreendendo o tempo requerido para que os neurônios do córtex visual primário respondam à estimulação na retina (SCHMOLESKY et al., 1998), a condução da informação visual pelas vias ventral e dorsal de processamento (MILNER e GOODALE, 1995), a produção de comandos motores centrais (VAN SONDEREN et al., 1989) e a ativação do sistema muscular. Supondo que a programação da ação fosse feita somente com base em informação visual, estaríamos sempre atrasados para realizar a interceptação. Recentemente um achado contribuiu para a compreensão desta complexa via entre a predição e o papel informação visual. De Azevedo Neto e Teixeira (2009) propuseram que as ações interceptativas são controladas por modelos internos preditivos construídos com base em vivências anteriores e que esses modelos são atualizados, também durante a tarefa em execução, com base na informação visual extraída do contexto.

Um fator que afeta a eficácia do modelo interno preditivo e, portanto, o desempenho motor, é a incerteza sobre o deslocamento do alvo (DE AZEVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009; TEIXEIRA et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2006; GRAY, 2002 a-b). Em uma simulação de rebatida no beisebol, Gray (2002 a-b) mostrou evidência adicional do efeito da incerteza. Nesse estudo, foi mostrado que tanto a precisão espacial quanto a temporal foram prejudicadas em situações nas quais havia alta incerteza sobre a velocidade de lançamento da bola em um mesmo bloco de arremessos. O ambiente vivenciado por atletas em modalidades esportivas requisitando interceptação de alvos móveis é caracterizado por alta incerteza, o que os induziria a cometer mais erros nessas situações. Gray mostrou evidências que indicam que para alcançar bom desempenho nas tarefas interceptativas os rebatedores suplementam a informação visual com uma expectativa baseada no histórico de lançamentos das bolas de tentativas anteriores. Essa informação mostrou ter clara influência tanto na organização quanto no desempenho espacial e temporal dos movimentos. Em uma análise geral, estes achados indicam que a expectativa/incerteza sobre o deslocamento futuro de alvos móveis modula o

desempenho motor e o processamento visual no controle de ações interceptativas. Esta proposta de Gray foi corroborada com os achados de De Azevedo Neto e Teixeira (2009) sugerindo a atualização do modelo interno preditivo por informação visual. Uma vez que a seleção de parâmetros deste modelo é modulada pela incerteza, a estratégia visual pode também sofrer influência deste efeito.

A literatura não apresenta estudos que tenham avaliado de maneira direta as estratégias visuais em ações interceptativas sob efeitos da incerteza. A proposta deste estudo foi avaliar como a incerteza sobre o deslocamento futuro de um alvo para interceptação modula as estratégias visuais que alimentam o modelo interno em uma tarefa visuomotora.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2. 1 Rastreamento visual e movimentos sacádicos

Ao pensar em interceptar um alvo podemos imaginar que quanto mais tempo conseguirmos manter o olhar na bola e segui-la em sua trajetória, mais bem sucedidos seríamos em nossa tarefa. Estudos mostram que diferentes variáveis do deslocamento de alvo, como velocidade, trajetória e mudança de direção afetam a estratégia visual utilizada durante o rastreamento de um alvo. O movimento dos olhos, assim como as estratégias de rastreamento e fixação do alvo visual em tarefas esportivas, estão dentre os fatores mais importantes para um bom desempenho. Neste capítulo serão abordados não apenas as estratégias visuais, mas também sua relação com a regulação da ação motora.

O tipo de sistema utilizado para rastreamento e seleção de informação visual relevante à programação e reprogramação do movimento motor é importante para um bom desempenho. Montagne, Laurent e Ripoll (1993) avaliaram as estratégias de rastreamento visual de deslocamento de bolas em habilidades interceptativas. Os resultados mostraram que quando a bola deslocava-se em velocidade relativamente baixa os atletas utilizavam com maior frequência o sistema cabeça-olhos. No entanto, quando a velocidade era mais alta o melhor desempenho foi obtido com o sistema imagem-retina. Esse achado revela uma capacidade pouco conhecida da visão periférica de extrair informação útil da cena visual sobre o tempo para contato, especialmente para altas velocidades.

O avanço recente dos sistemas móveis para medidas de movimento dos olhos tem permitido a investigação de atletas nos seus ambientes naturais. Este método tem sido aplicado ao estudo do acoplamento entre comportamento visual e motor em uma variedade de atividades nas quais o principal sistema de rastreamento utilizado é o cabeça-olhos. Land e McLoad (2000) verificaram que a perseguição parcial do alvo visual também é eficaz na estimativa de tempo para contato. Os autores estudaram estratégias visuais de batedores do críquet e os resultados mostraram que os batedores perseguem a bola durante 50% a 80% do vôo. Após este período

de perseguição os participantes fizeram um movimento sacádico ao ponto esperado de contato com a bola. Tal achado revela uma estratégia preditiva indicada pelo movimento sacádico no local da rebatida. Com perseguição visual somente até uma porção do vôo da bola os batedores ainda foram capazes de estimar o ponto de rebatida de maneira eficaz. Etchells e colaboradores (2010) investigaram a integração da velocidade de um alvo visual em movimento em função de sacadas visuais. Os participantes do estudo foram convidados a fixar o olhar em uma cruz preta projetada no centro de um display e executar sacada visual para um dos dois alvos móveis assim que fossem apresentados na tela. Os autores propuseram que o padrão de erro na posição final da sacada foi fruto de uma estimativa que leva em conta a velocidade do alvo no planejamento da sacada. Foi encontrado ainda que o sistema tem uma lacuna instantânea da velocidade do alvo antes do início da sacada. Estes resultados indicam que uma estimativa seria utilizada para gerar uma predição atualizada dinamicamente sobre a provável localização futura do alvo. Estes estudos sobre estratégias visuais têm buscado entender como o controle de ações motoras é guiado pela informação visual e têm mostrado a íntima relação entre desempenho e o tipo de estratégia visual utilizada na tarefa.

A fim de testar a capacidade do cérebro de estimar espaço-temporalmente as coordenadas de um alvo em uma sacada visual final, Fleuriet e Goffart (2012) analisaram macacos em uma tarefa enquanto sofriam breves microestimulações cerebrais no colículo superior. Os autores testaram esta estimativa em macacos enquanto uma mudança na posição do olho e um atraso eram experimentalmente adicionados antes do início da sacada e na ausência de feedback visual. Quando a micro-estimulação movia os olhos na direção oposta ao alvo, uma sacada de correção trazia o olhar para trás no caminho de destino ou muito próximo. Quando se movia o olho na mesma direção, o desempenho foi mais variável e dependente dos locais estimulados. As sacadas visuais eram direcionadas à frente do alvo com um erro que aumentava quando a estimulação era aplicada mais caudalmente no colículo superior. Os resultados encontrados por Fleuriet e Goffart indicam que o cérebro é capaz de manter uma estimativa precisa e robusta da localização do alvo em movimento. O principal achado foi que o cérebro é capaz de compensar as mudanças de posição do olho e os atrasos que foram adicionados antes da movimentação do alvo na periferia visual e foi capaz de transmití-los à fóvea por uma

sacada visual interceptativa para atualização de informação. Tal capacidade sugere a existência de mecanismos neurais que continuamente codificam as coordenadas espaço-temporais em curso de um alvo em movimento para orientar os movimentos sacádicos.

2. 2 Interceptação e modelos internos

Recentemente tem sido testada a proposição de que em movimentos interceptativos a integração entre informação visual e controle motor é mediada por processos perceptivos capazes de estimar o tempo para contato entre alvo e interceptador. Zago e colaboradores (MCINTYRE et al., 2001; SENOT et al., 2003; ZAGO et al., 2004; INDOVINA et al., 2005; ZAGO et al., 2005) têm mostrado que para interceptar um alvo em movimento um indivíduo leva em consideração não apenas a informação visual do deslocamento do alvo, mas também o efeito esperado da força gravitacional impondo aceleração ou desaceleração sobre seu movimento. A expectativa do deslocamento futuro do alvo tem mostrado exercer um notável efeito sobre o controle motor, levando à noção de que ações interceptativas são controladas com base em um modelo interno do deslocamento futuro do alvo ao invés de informação visual pura. Experiências práticas parecem ajustar os parâmetros deste modelo interno (ZAGO et al., 2005), revelando que ele é sensível ao contexto e incorpora a expectativa do deslocamento futuro a partir de eventos prévios (ver ZAGO et al., 2009, para uma revisão).

Um dos pontos principais desta proposição é a elaboração de uma explicação sustentável sobre como lidamos com o atraso visuomotor (cf. SMEETS et al., 1998). Isto é, o período compreendendo o tempo requerido para que os neurônios do córtex visual primário respondam à estimulação na retina (SCHMOLESKY et al., 1998), condução da informação visual pelas vias ventral e dorsal de processamento (MILNER; GOODALE, 1995), produção de comandos motores centrais (VAN SONDEREN et al., 1989) e ativação do sistema muscular. Uma série de estudos exigindo a reorganização de movimentos interceptativos indicam que tal atraso visuomotor é da ordem de 150-250 ms (BRENNER e SMEETS, 1997; BRENNER et

al., 1998; BOCK ; JUNGLING 1999; DAY; LYON, 2000; ENGEL; SOECHTING, 2000; LE RUNIGO et al., 2005; SAUNDERS; KNILL, 2005). Caso este atraso não fosse compensado por processos perceptivos, ações interceptativas teriam que ser controladas a partir de informação visual atrasada do alvo em movimento.

Achados recentes têm indicado que a expectativa sobre o deslocamento futuro de um alvo móvel molda percepção da informação visual para fins de controle motor. Em uma tarefa de atingir alvos se movendo sobre uma tela de monitor com velocidades variadas constantemente, de De Lussanet e colaboradores (2001) mostraram resultados indicando que o planejamento de movimentos interceptativos rápidos está baseado na velocidade da tentativa anterior, ao invés de usar a velocidade atual do alvo em movimento. Em uma simulação de rebatida no beisebol, Gray (2002ab) proveu evidência adicional do efeito de expectativa. Nesse estudo, foi mostrado que tanto a precisão espacial quanto a temporal foram empobrecidas em situações nas quais havia maior variabilidade na velocidade de lançamento da bola em um bloco de arremessos. Isto é, em situações com alta incerteza sobre as características de deslocamento futuro do alvo. O ambiente vivenciado por atletas em modalidades esportivas requisitando interceptação de alvos móveis é caracterizado por alta incerteza, o que os induziria a cometer mais erros nessas situações. Gray mostrou evidências favoráveis à interpretação de que para alcançar bom desempenho nessas tarefas os rebatedores suplementam a informação visual com uma expectativa baseada no histórico de lançamentos das bolas em tentativas anteriores, e que essa informação mostrou ter clara influência tanto na organização quanto no desempenho espacial e temporal dos movimentos. Em uma análise geral, estes achados indicam que a expectativa sobre o deslocamento futuro de alvos móveis, formado com base em experiência prévia, modula o processamento visual no controle de ações interceptativas.

Montagne et al. (1999) buscaram esclarecer se a ativação da interceptação de um alvo móvel ocorre por predição ou prospecção. Os resultados mostraram a atualização contínua pela posição do alvo, e não pela velocidade. Essa atualização contínua da posição permitiu que a tendência inicial do movimento fosse corrigida pelos participantes. Outro aspecto importante é que a reversão do movimento mesmo quando os participantes já estavam no ponto de interceptação não ocorreu em todas as tentativas. Isto indica que a experiência na tarefa fez com que os

participantes não utilizassem somente a informação inicial de deslocamento do alvo para iniciar a ação, mas também informação de suas experiências passadas. Esta estratégia, portanto, evidencia a utilização de um modelo interno que busca impedir movimentos desnecessários que possam interferir no desempenho. A este respeito, Land e McLeod (2000) no estudo de batedores do críquet encontram estratégias de perseguição visual indicadoras de comportamento preditivo. Após perseguição parcial do alvo visual, os jogadores antecipavam seus olhares ao local de contato com a bola. Esses resultados sugerem que olhar é orientado preditivamente para uma região crítica para antecipação do futuro padrão de deslocamento da bola. Após breve perseguição visual foi feita predição do local/tempo de chegada da bola para interceptação, sem perseguição visual até o ponto de interceptação. Estes resultados sugerem a intermediação de um modelo interno preditivo intermediando informação visual e controle motor.

Uma avaliação mais direta do efeito da expectativa sobre o controle motor em tarefas interceptativas tem sido feita ao informar aos participantes a probabilidade de mudança da velocidade de um alvo em situações de mudança inesperada de velocidade (AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009; TEIXEIRA et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2006). Os resultados sob este paradigma - mudança probabilística de velocidade do alvo - têm mostrado que a reorganização em tarefas interceptativas depende da probabilidade de mudança da velocidade, com maiores chances de ocorrência de mudança de velocidade levando a correções temporais mais efetivas do que quando um evento tem menor chance de ocorrer. Essas observações sugerem que o controle visuomotor na interceptação é mediado por processos de ordem superior, e que o conhecimento da probabilidade de um evento no domínio cognitivo é utilizado para estabelecer pesos no modelo interno preditivo, tornando mais efetiva a reorganização dos movimentos na situação de mudança de velocidade do alvo em eventos com alta probabilidade de ocorrência do que eventos com baixa probabilidade. Um dos aspectos marcantes do efeito da expectativa foi que o declínio de precisão temporal foi observado em baixa probabilidade de ocorrência mesmo quando a velocidade do alvo foi mantida constante, sob alta probabilidade de mudança de velocidade (DE AZEVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009). Estes resultados sustentam a concepção de um modelo interno cujos pesos podem ser finamente ajustados com referência à expectativa do tempo para contato. Mais

especificamente, tem sido desenvolvida a proposição de que sob alta probabilidade de redução de velocidade, por exemplo, um alto peso é dado à integração visuomotora para as consequências previstas de redução de velocidade e um peso baixo é dado para as consequências de manutenção da velocidade inicial. Neste caso, a organização de movimento é guiada por tais pesos, levando a interceptações temporalmente mais precisas quando a velocidade do alvo é efetivamente reduzida. Para a mesma probabilidade de evento, quando a velocidade é mantida inalterada os pesos da integração visuomotora precisam ser rapidamente alterados na porção final do deslocamento do alvo. Observação de um acréscimo progressivo da precisão temporal em função da probabilidade de evento sugere que situações em que a expectativa não é confirmada levam a uma reorganização progressiva e de duração relativamente longa da ação.

Em ações interceptativas a integração entre o comportamento ocular e manual é um elemento chave para compreender a maneira pela qual a expectativa sobre o deslocamento do alvo afeta o uso de informação visual no controle motor. Informação preliminar sobre este aspecto foi oferecida em uma investigação em que os participantes eram requisitados a perseguir visualmente um alvo em movimento acelerado com oclusão visual transitória, com velocidades bloqueadas ou aleatórias em cada série de tentativas (BENNETT e BARNES, 2006). O rastreamento da visão durante o período de oclusão visual indicou que na situação de velocidade bloqueada os movimentos dos olhos foram coerentes com o ganho de velocidade do alvo, com aumento de velocidade de deslocamento ocular entre o início e o fim da oclusão. Nas séries de tentativas com velocidades aleatorizadas, por outro lado, a velocidade dos olhos decaiu no período de oclusão. Estes achados são consistentes com a noção de regulação dos movimentos dos olhos com base em uma representação preditiva do deslocamento do alvo móvel.

3 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo são avaliar os seguintes aspectos no comportamento visual e motor em uma ação interceptativa de um alvo móvel:

- (a) Efeito da incerteza a respeito da mudança de direção do deslocamento do alvo móvel.
- (b) Efeito de dica verbal sobre futura mudança de direção do deslocamento do alvo móvel.

4 HIPÓTESES

Foram formuladas as seguintes hipóteses para este estudo:

- (a) Situações de baixa incerteza sobre a futura direção do alvo levam à sua interceptação mais precisa do que situações de alta incerteza.
- (b) Baixa incerteza sobre a mudança de direção do alvo induz predominância de fixação visual antecipatória no local de mudança de velocidade do alvo.
- (c) Alvos rápidos induzem estabilização visual como estratégia de rastreamento.
- (d) Alvos lentos induzem perseguição contínua como estratégia de rastreamento.
- (e) Dicas prévias induzem desempenho superior nas tentativas iniciais de uma série de tentativas.

5 JUSTIFICATIVA

O presente estudo justifica-se pela busca do aprofundamento da compreensão da natureza das ligações entre informação visual e controle das ações interceptativas. De modo aplicado, pela variedade de implicações deste conhecimento, que poderia auxiliar tanto no ensino e treinamento esportivo de ações motoras requisitando interceptação de alvos móveis, quanto no desenvolvimento de modelos computacionais e de robótica voltados a aperfeiçoar os padrões perceptivos e dinâmicos de sistemas virtuais complexos.

6 EXPERIMENTO I

6.1 MÉTODO

6.1.1 Participantes

Participaram deste estudo 17 voluntários universitários com idade entre 18 e 25 anos, destros, de ambos os sexos, com acuidade visual normal ou corrigida para normal por cirurgias ou uso de lentes de contato. Antes do experimento os participantes leram e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido

6.1.2 Tarefa e instruções

A tarefa experimental consistiu em contatar um alvo visual circular com o cursor de um mouse. Um software feito sob encomenda foi utilizado para gerar a tarefa interceptativa no computador. A imagem do software foi projetada em um televisor de 42" que estava fixado à parede. Os participantes realizaram a tarefa interceptativa sentados em uma cadeira, em uma posição confortável, com os olhos distando em média 1,3 m ($dp=7,7$) do televisor. O experimento tinha início com o alvo visual (círculo azul) parado do lado esquerdo da tela e o cursor (círculo vermelho) parado do lado direito da tela (Figura 1). A distância entre o alvo e a linha de interceptação era em média 154 graus visuais, e entre o cursor e a linha era em média 66 graus visuais. A tentativa tinha início quando o participante posicionava o cursor do mouse sobre o círculo vermelho. Em seguida, o deslocamento do alvo visual era iniciado, da esquerda para a direita, até uma linha indicadora da posição de interceptação. A meta dos participantes era contatar o alvo visual com o cursor simultaneamente à sua chegada à linha demarcatória. Esta linha localizava-se a 65 cm da extremidade esquerda da tela. Os participantes eram instruídos a posicionar o mouse sobre o círculo vermelho e em seguida fixar o olhar no alvo azul. Os

movimentos dos olhos deveriam iniciar somente após o alvo visual começar a se deslocar. Após este início os participantes estavam livres para mover os olhos e executar quaisquer estratégias visuais que desejassem. Era enfatizado ainda que mantivessem a cabeça fixa voltada para frente e que utilizassem apenas os movimentos dos olhos durante a tarefa. Para garantir a estabilização da cabeça os participantes vestiram um colar cervical com apoio durante o experimento.

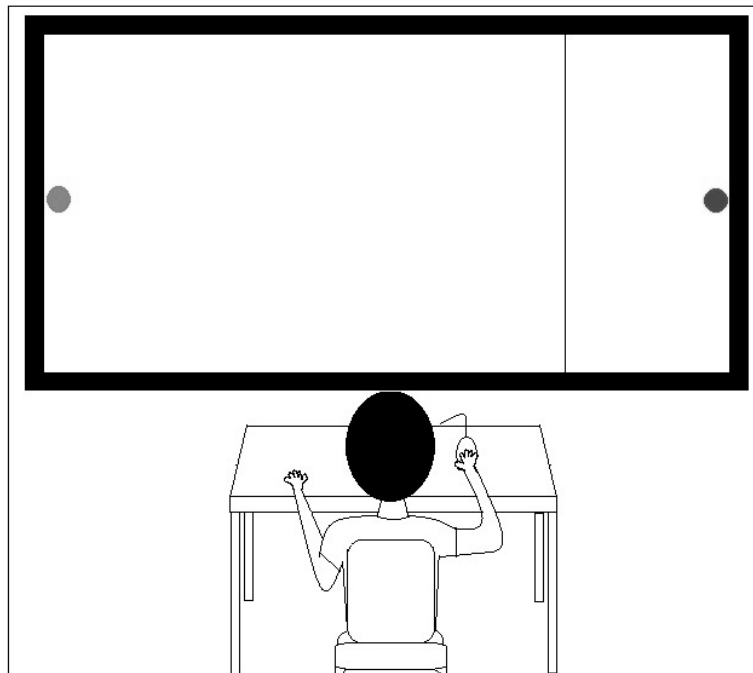


Figura 1. Representação do arranjo experimental

6. 1. 3 Equipamentos e procedimentos

O software Intercept foi utilizado para gerar a situação de interceptação nas diferentes condições experimentais, assim como para captura das coordenadas x e y do cursor no plano do alvo. Para execução do software e da tarefa foi utilizado um notebook da marca Apple modelo Pro. A frequência de aquisição de dados foi de 200 Hz. Para interceptação do alvo visual foi utilizado um mouse sem fio com tecnologia bluetrack da marca Microsoft, modelo 5000, 2,4 GHz de alta confiabilidade, resolução de 1000 DPI.

Para rastreamento monocular dos movimentos do olhar foi utilizado o sistema Mobile Eye (frequência de aquisição de dados de 30 Hz). As coletas foram realizadas no modo online, de maneira que os dados foram transferidos diretamente para um notebook (Lenovo), que integra o sistema, em tempo real através do software Eye Vision. Antes do início do experimento os participantes vestiram o colar cervical com apoio (Mentoni) e os óculos do sistema Mobile Eye, que foram ajustados de acordo com a luz do ambiente e características anatômicas do olho. Em seguida foi realizada a calibração do espaço para que as câmeras do olho e da cena fossem sincronizadas.

Foram afixados 16 pontos ao longo das extremidades do televisor e zona de deslocamento do alvo visual, nos quais os participantes fixaram o olhar durante alguns segundos para calibração do equipamento. Após esta etapa a acurácia do sistema foi testada observando se o olhar do participante perseguia o alvo nas tentativas de familiarização. Caso a calibração não tivesse sido satisfatória o procedimento era repetido até que a perseguição do alvo no software fosse detectada corretamente. Ao longo do experimento, se o participante sentisse algum desconforto pelo uso do colar cervical, era feita uma pausa e retirado o colar. Em seguida, após o participante ter se recomposto, todo procedimento acima descrito era repetido para a re-calibração do equipamento.

6. 1. 4 Delineamento experimental

Cada participante executava 20 tentativas de familiarização divididas em dois blocos. Em um bloco o alvo deslocava-se linearmente na velocidade de 1,8 cm/s (baixa) e no outro em velocidade de 2,7 cm/s (alta). Na fase principal subsequente, os participantes eram submetidos a seis condições experimentais em velocidade alta e seis em velocidade baixa. As velocidades alta e baixa foram definidas através de um estudo piloto realizado com distintas velocidades. As velocidades escolhidas para o presente experimento mostraram-se sensíveis às variáveis de interesse, além de proporcionarem boa distinção alta/baixa pelos participantes e maior qualidade de amostragem pelo sistema de rastreamento visual. Para cada velocidade foram executadas as seguintes condições experimentais: (1) 100% de probabilidade de o alvo

visual deslocar-se linearmente durante todo o percurso, (2) 50% de probabilidade de o alvo visual deslocar-se linearmente durante todo o trajeto e 50% de probabilidade de o alvo visual sofrer uma mudança na direção de 15° para cima na metade do percurso, e (3) condição de 100% de probabilidade de mudança na direção de 15° para cima na metade do percurso. Nas condições em que havia 100% de probabilidade foram executadas 25 tentativas em cada condição. Nas condições em que havia 50% de probabilidade de deslocamento linear e 50% de probabilidade de mudança de direção do alvo os participantes executaram 50 tentativas, sendo 25 tentativas em cada probabilidade aleatorizadas ao longo da condição. As tentativas eram realizadas em bloco, e o participante é quem ditava o intervalo entre elas (aproximadamente 5 s). As tentativas com mudança e sem mudanças foram apresentadas de forma aleatorizada aos participantes em cada bloco. A ordem das condições realizadas durante o experimento também foram aleatorizadas, para descarte de possíveis efeitos de ordem. Em todas as condições os participantes foram informados previamente a respeito da respectiva probabilidade de mudança antes de iniciarem o bloco.

6. 1. 5 Análise dos dados

Para a análise dos dados foram utilizadas as últimas dez tentativas válidas de cada condição experimental, sendo que para a condição de 50% de probabilidade foram extraídas as dez últimas tentativas com mudança na trajetória e as dez últimas sem mudança na trajetória. Foram excluídas da análise as tentativas em que o participante realizou movimentos com a cabeça, quando o olhar começava a se deslocar antes do alvo visual e quando o sistema Mobile Eye perdia mais do que três quadros de dados na tentativa.

Na análise do comportamento visual foram avaliadas as seguintes variáveis dependentes:

Amplitude média de sacadas em graus visuais. Foi considerado movimento sacádico quando a velocidade angular da perseguição ultrapassava o limiar de 50 graus/s.

Velocidade média do olhar durante a perseguição do alvo em graus visuais.

Número total de sacadas: frequência total de sacadas durante a perseguição do alvo. Para isto, foram identificados os picos de velocidade que ultrapassaram 50º/s. Os picos de velocidade deveriam estar distantes no mínimo 0,066 s.

Tempo de iniciação do movimento do olhar: latência entre o início do movimento do alvo e o início do movimento do olhar. O início foi determinado no instante de tempo em que o limiar de deslocamento angular fosse maior do que 3º.

Frequência de sacadas para cada zonado do espaço entre a posição inicial e final (linha de interceptação) do alvo: zona zero, terço inicial; zona 1, terço médio; zona 2, terço final; zona 3, posição lateral ao terço final (Figura 2).

Tempo de fixação após cada sacada: permanência no mesmo ponto com liberdade de até 3 graus visuais e no mínimo por 0,66 s.

Na análise da interceptação foram avaliadas as seguintes variáveis dependentes:

Erro temporal absoluto: média do erro entre o momento de chegada do alvo e do cursor à posição de interceptação.

Tempo de iniciação: latência entre o início do movimento do alvo e o início do movimento do cursor. O início foi determinado como o primeiro instante de tempo diferente da coordenada de início do movimento.

Tempo de movimento: média do tempo gasto no movimento interceptativo com o cursor. Foi determinado como intervalo de tempo entre o início do movimento do cursor e o momento de cruzamento da linha média.

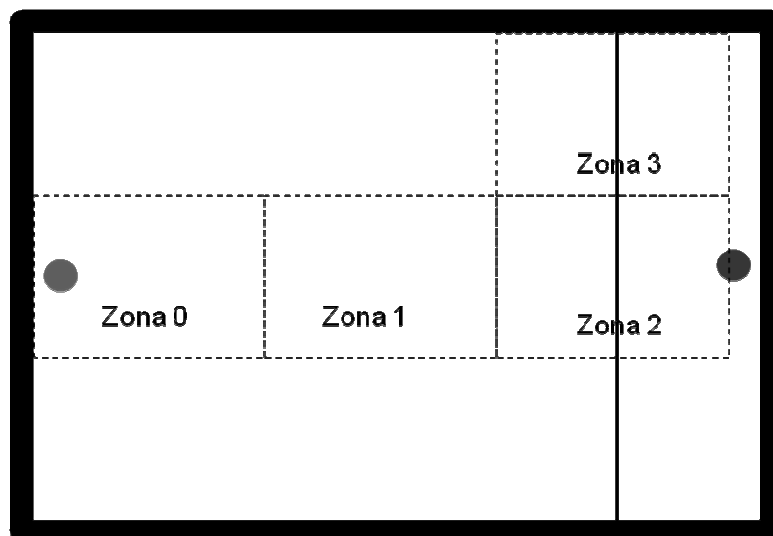


Figura 2. Representação da divisão por zonas visuais.

O limiar de detecção de sacadas foi definido através de estudo piloto que analisou limiares a 20, 30, 40, 50 e 60%/s. Este estudo mostrou que em limiares mais baixos os ruídos poderiam ser considerados como sacadas, e em limiares acima de 60%/s movimentos sacádicos deixavam de ser considerados na análise. O limiar que se mostrou mais sensível e robusto para detecção de sacadas foi o de velocidade igual a 50 %/s, corroborando os limiares de detecção utilizados em estudos prévios (VON HOFSTEN e ROSANDER, 1996; VON HOFSTEN e ROSANDER, 1997; ROSANDER, K. e VON HOFSTEN, C., 2000; ROSANDER, K. e VON HOFSTEN, C., 2002).

Na análise dos dados, os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Bartlett foram utilizados preliminarmente para testar a normalidade e a homocedasticidade dos dados, respectivamente. A análise estatística de cada variável foi conduzida por meio de uma análise de variância de três fatores, 2 (mudança: sem mudança x com mudança) x 2 (velocidade: alta x baixa) x 2 (incerteza: incerteza x certeza) com medidas repetidas nos três fatores. As comparações posteriores foram feitas por meio da prova de Tukey. O nível mínimo de significância foi estabelecido em 5%. Apenas efeitos significantes serão relatados na sessão seguinte.

6. 2 RESULTADOS

6. 2. 1 Variáveis do comportamento visual

A Figura 3 mostra a amplitude das sacadas visuais. As análises apontaram efeitos principais significantes para incerteza [$F(1, 16)=21,69$, $p=0,00026$, com sacadas mais amplas na condição de certeza, e velocidade [$F(1, 16)=21,69$, $p<0,0001$], com velocidades mais altas induzindo sacadas mais amplas.

Para a variável velocidade angular (Figura 4), a análise indicou efeitos principais significantes para incerteza, [$F(1,16)=12,52$, $p=0,00273$], revelando velocidades mais altas em condição com certeza sobre o deslocamento do alvo [$F(1, 16)=204,11$, $p=0,0001$] devido à detecção de velocidades angulares mais altas na velocidade alta de deslocamento do alvo.

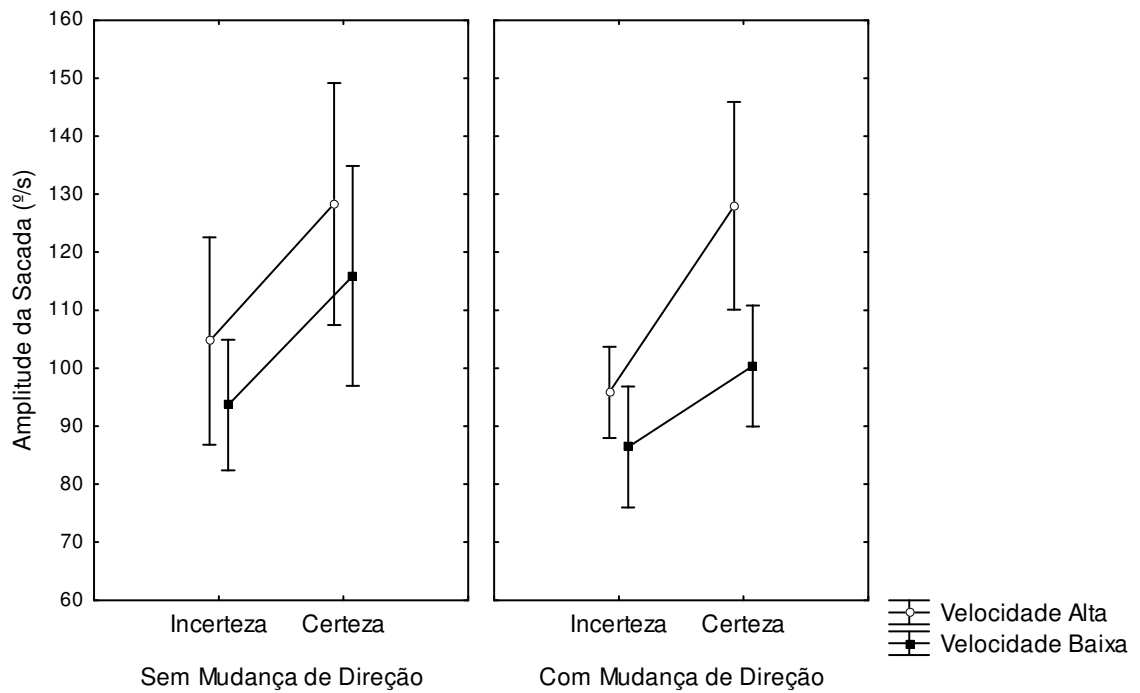


Figura 3. Médias e desvios padrão da amplitude das sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.

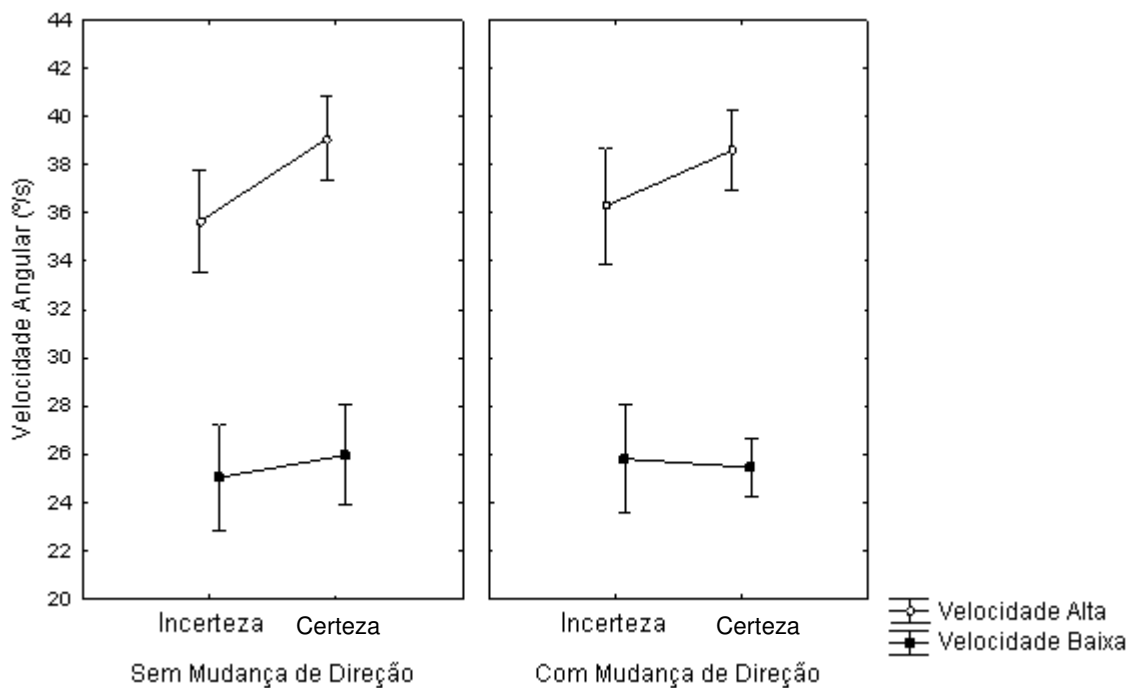


Figura 4. Médias e desvios padrão da velocidade angular da perseguição visual nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.

A análise da frequência de sacadas visuais indicou interação significativa entre os fatores velocidade e certeza [$F(1, 16)=25,55, p=0,0001$], como representado na Figura 5. As comparações post hoc indicaram que em velocidade alta a condição de certeza induziu menor frequência de sacadas em comparação com a condição de incerteza. Em contrapartida, quando o alvo estava em velocidade baixa, menor frequência foi encontrada na condição de incerteza.

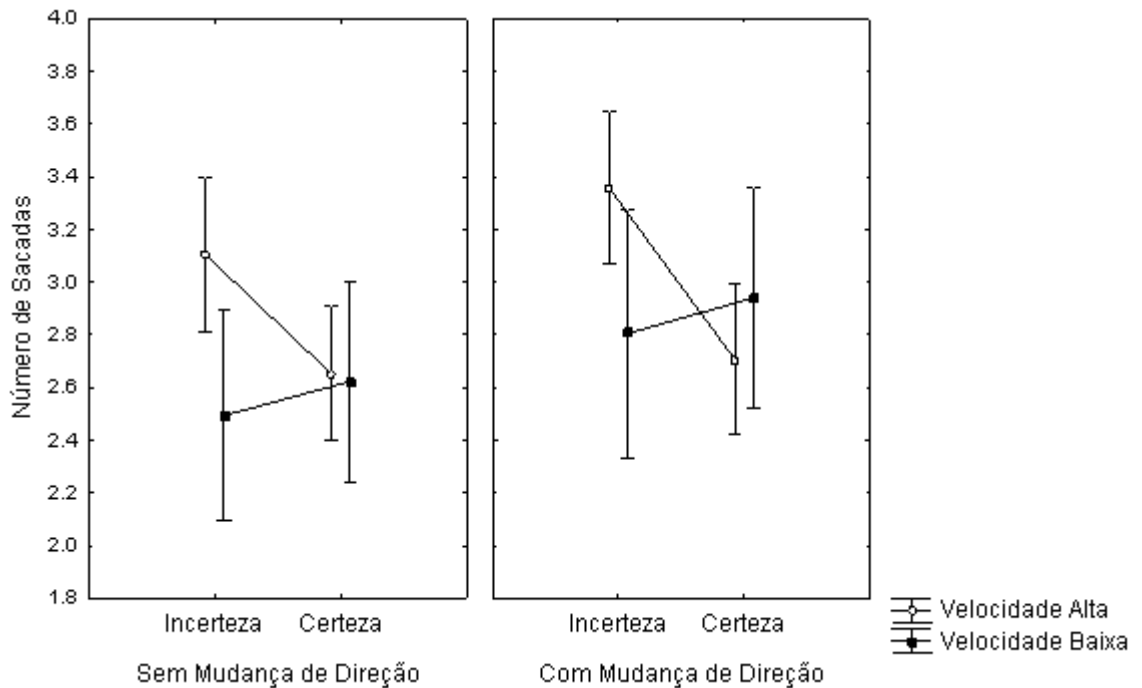


Figura 5. Médias e desvios padrão do número de sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.

Para as variáveis analisadas em função das zonas espaciais de rastreamento do alvo foi realizada análise descritiva dos resultados. A Tabela 1 mostra as médias de tempo de fixação do olhar nas zonas de interesse, respectivamente para as velocidades alta e baixa.

A análise indicou que a média de tempo de fixação visual foi maior na zona 3 nas condições associando mudança de direção e certeza, comparado com a condição de incerteza em ambas as velocidades. Tal tendência indica que quando os participantes tinham certeza sobre o deslocamento final do alvo dirigiam sua visão para o local de interceptação e permaneciam nele por mais tempo aguardando a chegada do alvo. Nas condições em velocidade alta e sem mudança na direção do

alvo os participantes fixaram o olhar por mais tempo na zona 2, que era a zona de interceptação quando o alvo não sofria mudança. Esse comportamento foi observado tanto para a situação de certeza quanto para a situação de incerteza.

Tabela 1. Médias de tempo de fixação (ms) por zonas de interesse para as velocidades alta e baixa.

Velocidade	Zonas	Sem Mudança		Com Mudança	
		Incerteza	Certeza	Incerteza	Certeza
Alta	0	0,104	0,097	0,107	0,091
	1	0,106	0,119	0,106	0,108
	2	0,157	0,180	0,117	0,044
	3	0,049	0,005	0,187	0,220
Baixa	0	0,149	0,166	0,167	0,157
	1	0,187	0,191	0,156	0,167
	2	0,326	0,386	0,183	0,117
	3	0,104	0,026	0,217	0,317

A Tabela 2 mostra as frequências médias de sacadas por zonas de interesse nas condições em velocidade alta e baixa, respectivamente. A incerteza e a probabilidade de mudança na direção do alvo parecem não influir na frequência média de sacadas nas zonas iniciais 0 e 1 em nenhum nível de velocidade. Observa-se que quando não houve mudança na direção do alvo os participantes tenderam a apresentar mais sacadas na zona 2 comparado com a zona 3. Nesta mesma categoria de condições sem mudança, quando a situação foi de incerteza, a frequência de sacadas na zona 2 foi mais baixa comparada com a situação de certeza em velocidade baixa. Essa tendência mostra que quando os participantes tinham certeza sobre o deslocamento do alvo executavam mais sacadas visuais na zona de interceptação correta para interceptação do alvo, comparado com a situação de incerteza. Nas condições com mudança de direção em ambas as velocidades os participantes mostraram frequências mais altas de sacada na zona 3, comparado com as condições sem mudança.

Tabela 2. Frequências absolutas médias de sacadas visuais por zonas de interesse nas condições com velocidade alta e baixa.

Velocidade	Zonas	Sem Mudança		Com Mudança	
		Incerteza	Certeza	Incerteza	Certeza
Alta	0	0,284	0,260	0,274	0,263
	1	0,417	0,434	0,347	0,346
	2	0,283	0,299	0,095	0,044
	3	0,016	0,006	0,284	0,346
Baixa	0	0,361	0,313	0,353	0,335
	1	0,267	0,232	0,251	0,217
	2	0,348	0,426	0,124	0,066
	3	0,024	0,010	0,306	0,367

6. 2. 2 Variáveis do movimento interceptativo

Na variável erro temporal absoluto foram detectadas interações significantes de velocidade x certeza [$F(1, 16)=12,01, p=0,003$] e velocidade x mudança [$F(1, 16)=12,65, p=0,003$]. As comparações post hoc para a interação velocidade x certeza indicaram erros maiores para a situação de incerteza apenas em velocidade alta, enquanto que para a interação velocidade x mudança foram detectados erros maiores para mudança de direção apenas em velocidade alta (Figura 6).

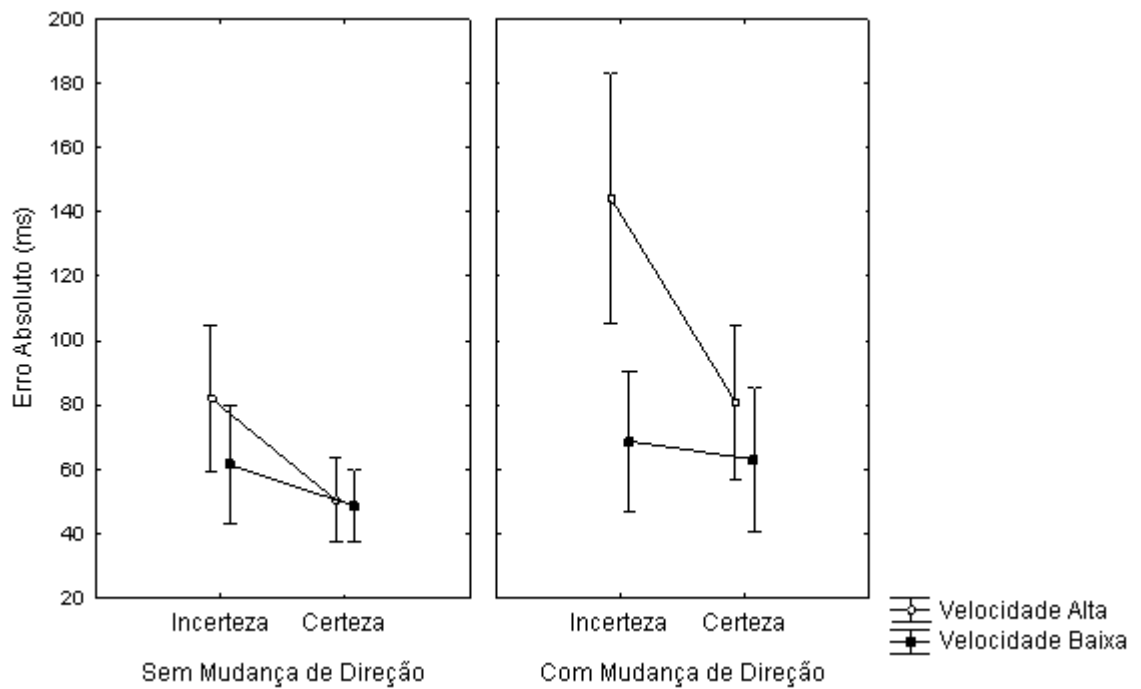


Figura 6. Médias e desvios padrão do erro temporal absoluto nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.

A análise de tempo de iniciação do movimento (Figura 7) indicou efeito principal significativa de velocidade [$F(1, 16)=32,71, p=0,0001$], com médias menores em velocidade alta.

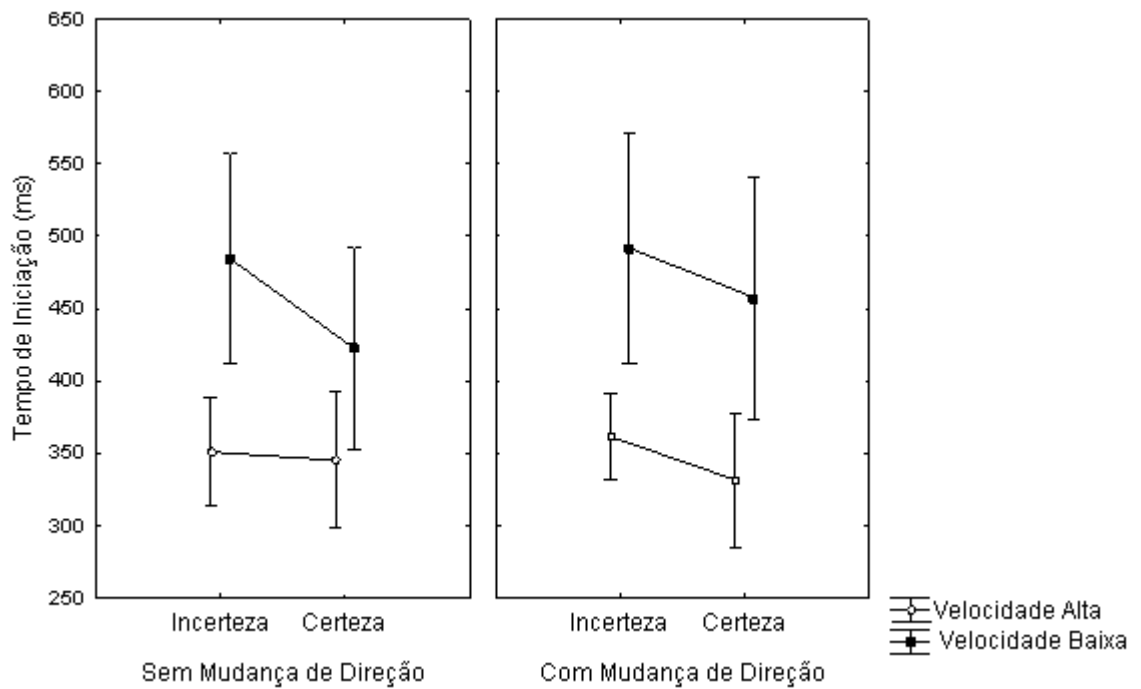


Figura 7. Médias e desvios padrão do tempo de iniciação do movimento motor nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa

A análise de tempo de movimento (Figura 8) revelou interações de velocidade x certeza [$F(1, 16)=7,12$, $p=0,017$], e velocidade x mudança [$F(1, 16)=10,75$, $p=0,005$]. Comparações post hoc revelaram a primeira interação foi devida ao fato de que na situação de certeza houve maior tempo de movimento em velocidade baixa, enquanto que a relação contrária foi encontrada em velocidade alta; as comparações para a interação velocidade x mudança indicou que a mudança de direção induziu valores mais altos na velocidade alta, mas não na velocidade baixa.

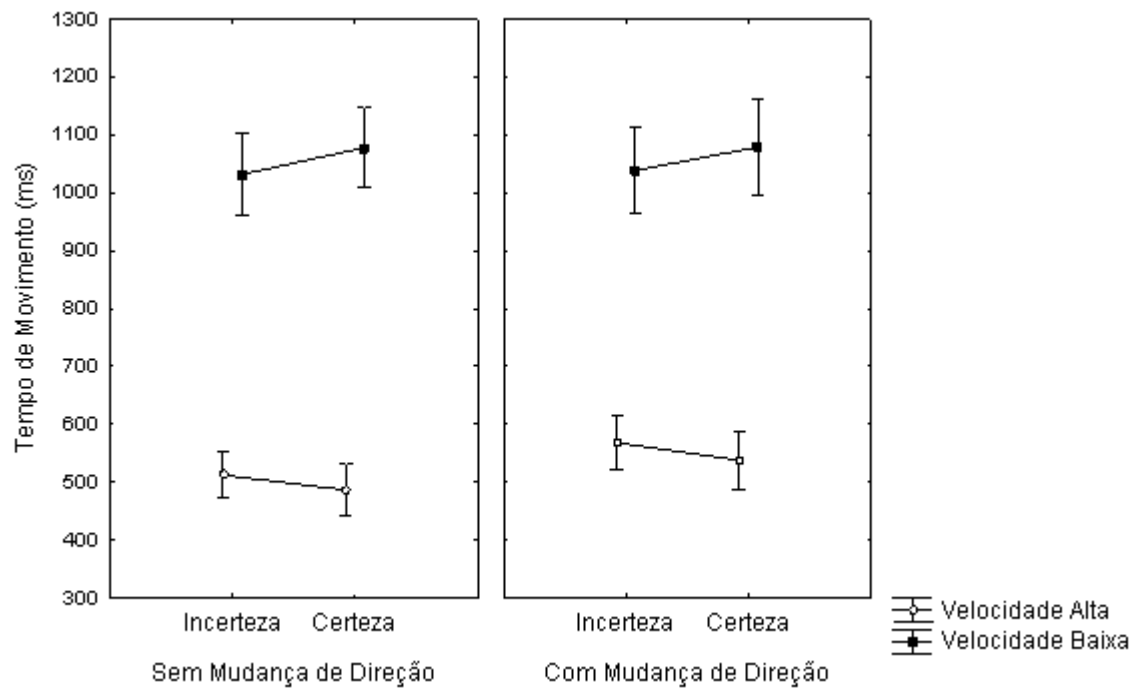


Figura 8. Médias e desvios padrão do tempo de movimento motor nos três fatores analisados: incerteza e certeza sobre o deslocamento do alvo, com e sem mudança na direção, velocidade alta e baixa.

7. EXPERIMENTO II

7. 1 MÉTODO

7. 1. 1 Participantes

Participaram deste estudo 20 universitários voluntários com idade entre 18 e 25 anos, destros, de ambos os sexos, com acuidade visual normal ou corrigida para normal por cirurgia ou uso de lentes de contato. Os participantes foram divididos em dois blocos com 10 integrantes cada: com informação verbal prévia sobre o deslocamento do alvo visual (INF) e sem informação prévia (SI). Antes do experimento os participantes leram e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

7. 1. 2 Tarefa e instruções

A tarefa e as instruções foram as mesmas apresentadas no Experimento I. No presente experimento o grupo INF foi acrescido sobre a probabilidade de mudança de direção do alvo visual. Foi enfatizado previamente ao início dos blocos, em suas respectivas ordens, que o alvo teria 25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança de direção para cima na metade da trajetória. Ao grupo SI não foi dada informação sobre as probabilidades de mudança de direção de deslocamento do alvo.

7. 1. 3 Equipamentos e procedimentos

Os equipamentos utilizados no presente experimento, assim como os procedimentos realizados foram os mesmos descritos no Experimento I.

7. 1. 4 Delineamento experimental

Cada participante executou 12 tentativas de familiarização. Em metade das tentativas o alvo tinha deslocamento linear e na outra metade o alvo sofria mudança de direção para cima na metade de seu deslocamento. As tentativas foram apresentadas de forma aleatorizada. A velocidade do alvo na fase de familiarização foi de 2,7 cm/s.

Na fase principal do experimento foram utilizadas três probabilidades de mudança de direção do alvo visual: 25%, 50% e 75%. O alvo sofria uma mudança de direção de 15° para cima na metade de sua trajetória. A velocidade do alvo em todas as condições experimentais era de 1,8 cm/s. Para um dos grupos experimentais ($n=10$) foi fornecida informação verbal sobre a probabilidade de mudança do alvo visual previamente ao início de cada bloco de tentativas (INF). Para o segundo grupo ($n=10$) não foi fornecida informação sobre a probabilidade de mudança do alvo (SI). Para o grupo SI foi enfatizado apenas que o alvo sofreria mudança na direção para cima na metade do percurso em parte das tentativas. Os participantes foram submetidos a dois blocos iguais e consecutivos de 64 tentativas em cada probabilidade de mudança. Assim, a situação de 25% foi composta por 16 tentativas com mudança de direção e 48 com deslocamento linear em todo percurso. Na situação de 75% ocorreu o contrário, com mudança na direção em 16 tentativas e deslocamento linear em 48 tentativas. A situação de 50% foi composta por 32 tentativas em cada situação de deslocamento do alvo visual. A ordem das condições realizadas durante o experimento foram aleatorizadas entre os participantes.

7. 1. 5 Análise dos dados

A análise dos dados foi feita para as dez últimas tentativas com mudança na direção e as dez últimas sem mudança na direção de cada condição experimental. Na análise do comportamento visual e movimento interceptativo foram utilizadas as mesmas variáveis dependentes do Experimento I. A análise estatística de cada variável foi conduzida por meio de análises de variância de três fatores, 2 (grupo: INF

x SI) x 2 (mudança: sem mudança x com mudança) x 3 (incerteza: 25% x 50% x 75%) com medidas repetidas nos três fatores. As comparações posteriores foram feitas por meio da prova de Tukey. O nível mínimo de significância foi estabelecido em 5%.

7.2 RESULTADOS

7.2.1 Variáveis do comportamento visual

A Figura 9 mostra a amplitude das sacadas visuais. As análises apontaram interação significativa entre os fatores incerteza x direção [$F(1, 16)=7,67, p=0,001$]. As comparações post hoc indicaram que na condição 25% foram observadas sacadas mais amplas comparando com as demais condições, que não diferiram entre si.

Para a variável velocidade angular (Figura 10) não foram encontrados efeitos significantes.

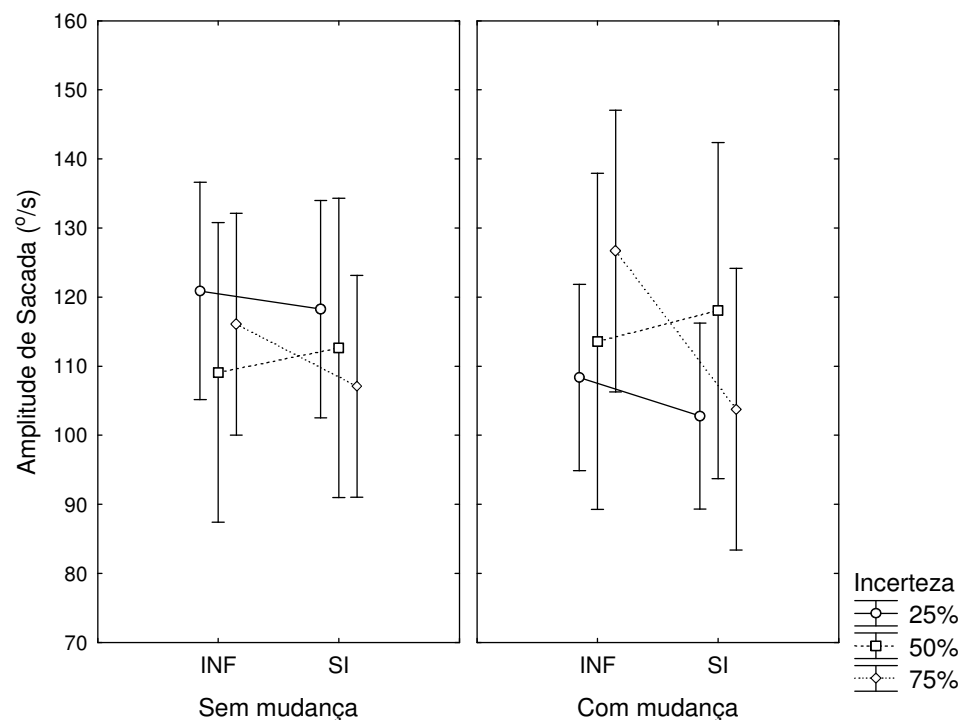


Figura 9. Médias e desvios padrão da amplitude das sacadas visuais nos três fatores

analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na direção, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na direção do alvo.

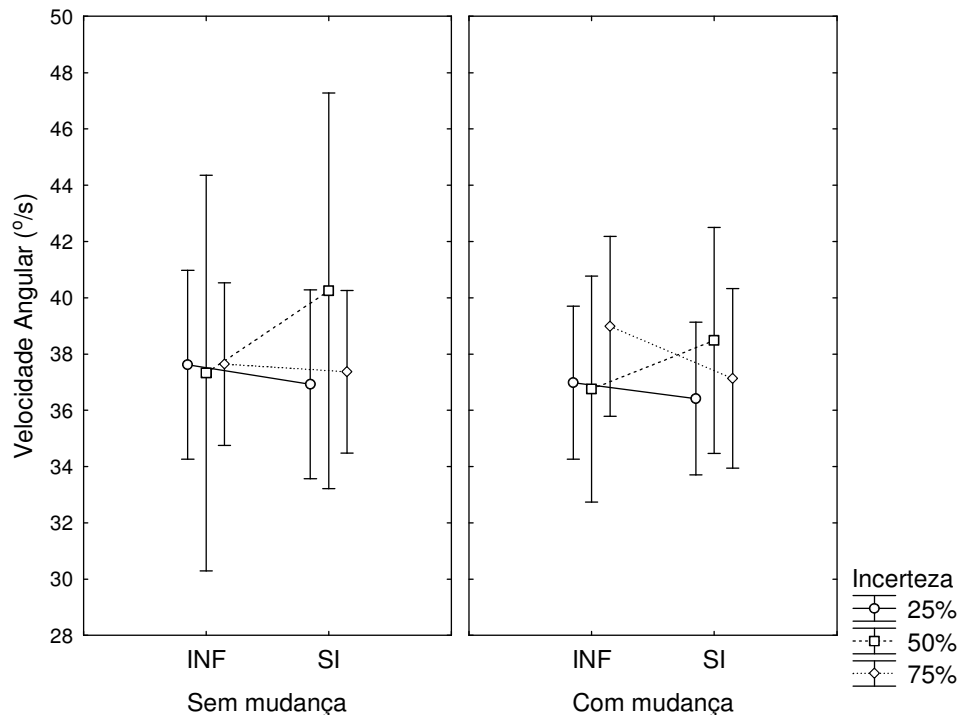


Figura 10. Médias e desvios padrão da velocidade angular da perseguição visual nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na direção, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na direção do alvo.

A análise do número de sacadas visuais detectou efeito principal significativo para o fator direção [$F(1, 16)=9,12, p=0,007$], com maior frequência de sacadas em situação sem mudança. A análise mostrou interação entre os fatores incerteza x direção [$F(1, 16)=10,35, p=0,0001$]. As comparações post hoc indicaram que em situação sem mudança de velocidade e 25% de incerteza o número de sacadas visuais foi menor do que nas demais condições de incerteza e mudança na direção do alvo (Figura 11).

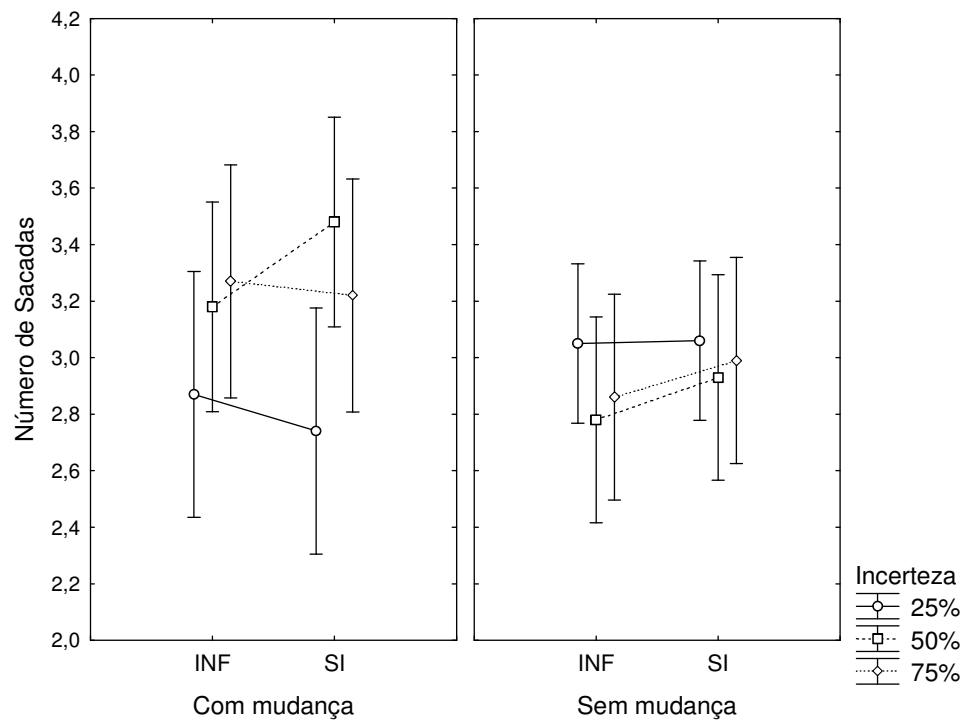


Figura 11. Médias e desvios padrão do número de sacadas visuais nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na direção, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na direção do alvo.

Para as variáveis divididas por zonas foi realizada análise descritiva dos resultados. A Tabela 3 mostra as médias de tempo de fixação do olhar nas zonas de interesse para ambos os grupos, respectivamente para as situações sem e com mudança de direção do alvo. A análise indicou que a média de tempo de fixação visual foi maior na zona 3 nas condições associando mudança de direção, comparado com a condição sem mudança. As fixações foram mais longas nas condições com baixa incerteza. Tal tendência indica que quando os participantes tinham certeza sobre o deslocamento final do alvo dirigiam seu olhar ao local de interceptação e permaneciam neste por mais tempo aguardando a chegada do alvo. Não houve diferença clara entre os grupos INF e SI para esta variável.

Tabela 3. Médias de tempo de fixação (ms) por zonas de interesse nas condições sem mudança e com mudança na direção do alvo.

Mudança	Zonas	INF			SI		
		25	50	75	25	50	75
Sem	0	0,094	0,097	0,099	0,102	0,095	0,095
	1	0,115	0,117	0,099	0,102	0,106	0,101
	2	0,197	0,165	0,103	0,202	0,179	0,162
	3	0,039	0,017	0,197	0,026	0,035	0,163
Com	0	0,087	0,094	0,097	0,097	0,096	0,094
	1	0,099	0,104	0,102	0,102	0,100	0,098
	2	0,180	0,140	0,091	0,172	0,079	0,085
	3	0,016	0,206	0,211	0,061	0,164	0,124

A Tabela 4 mostra as frequências médias de sacadas por zonas de interesse para ambos os grupos experimentais. A incerteza parece influir na frequência média de sacadas nas zonas de interesse. Ambos os grupos, em situação com alta incerteza, os participantes executaram mais sacadas na zona 1 (local de ocorrência de evento para condição com mudança) tanto em condição com mudança quanto em condição sem mudança. O grupo INF exibiu maior frequência de fixação visual na zona 2 em situação sem mudança, comparado com o grupo SI. Em situação com mudança o grupo SI apresentou frequência mais alta na zona 3, indicando assim sacadas preditivas ao local da interceptação.

Tabela 4. Frequências absolutas médias de sacadas visuais por zonas de interesse nas condições sem e com mudança na trajetória do alvo.

Mudança	Zonas	INF			SI		
		25	50	75	25	50	75
Sem	0	0,206	0,272	0,237	0,281	0,268	0,209
	1	0,435	0,433	0,354	0,404	0,402	0,350
	2	0,347	0,288	0,123	0,312	0,319	0,095
	3	0,012	0,007	0,285	0,003	0,011	0,345
Com	0	0,241	0,189	0,253	0,255	0,211	0,239
	1	0,439	0,380	0,328	0,435	0,375	0,353
	2	0,317	0,142	0,113	0,297	0,128	0,119
	3	0,003	0,288	0,305	0,012	0,286	0,289

7. 2. 2 Variáveis do movimento interceptativo

Na análise de erro absoluto (Figura 12) foi detectada interação significativa de incerteza x direção [$F(1, 16)=9,30, p=0,0001$], com erros maiores para a situação sem mudança e de alta incerteza. Outra interação encontrada foi entre os fatores direção x grupo [$F(1, 16)=6,09, p=0,023$], com erros maiores do grupo INF em situação sem mudança de direção comparado com o grupo SI (Figura 13).

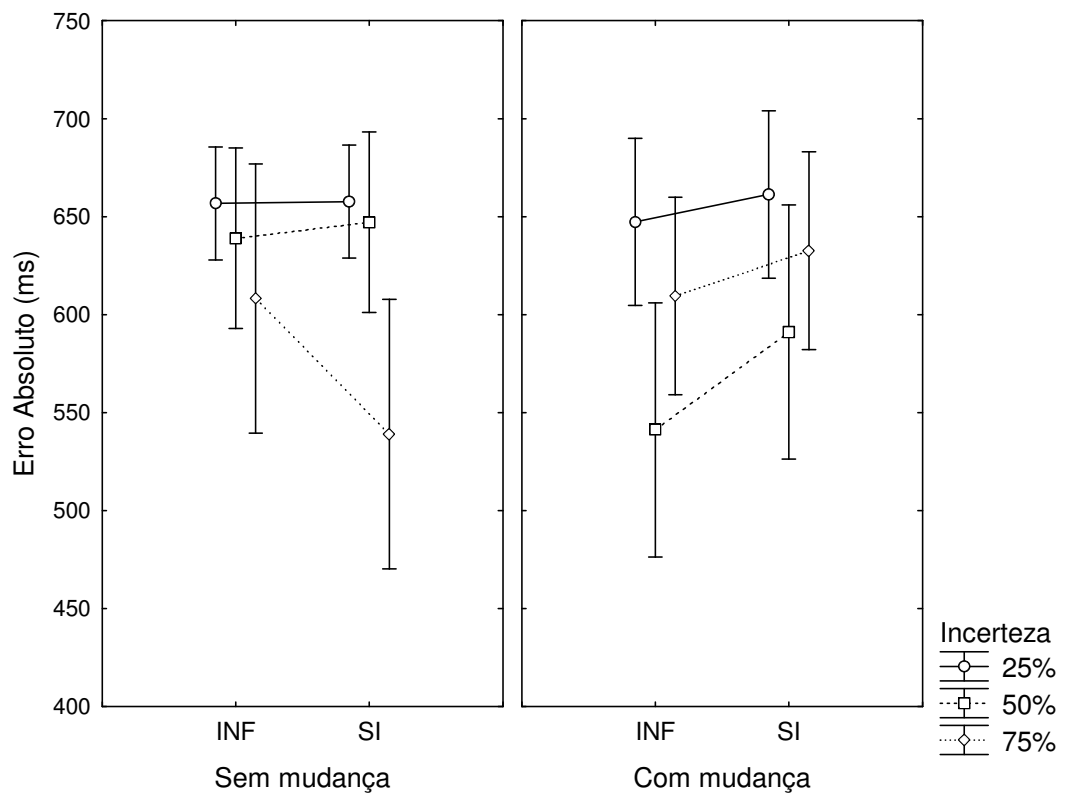


Figura 12. Médias e desvios padrão do erro absoluto nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na trajetória, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na trajetória do alvo.

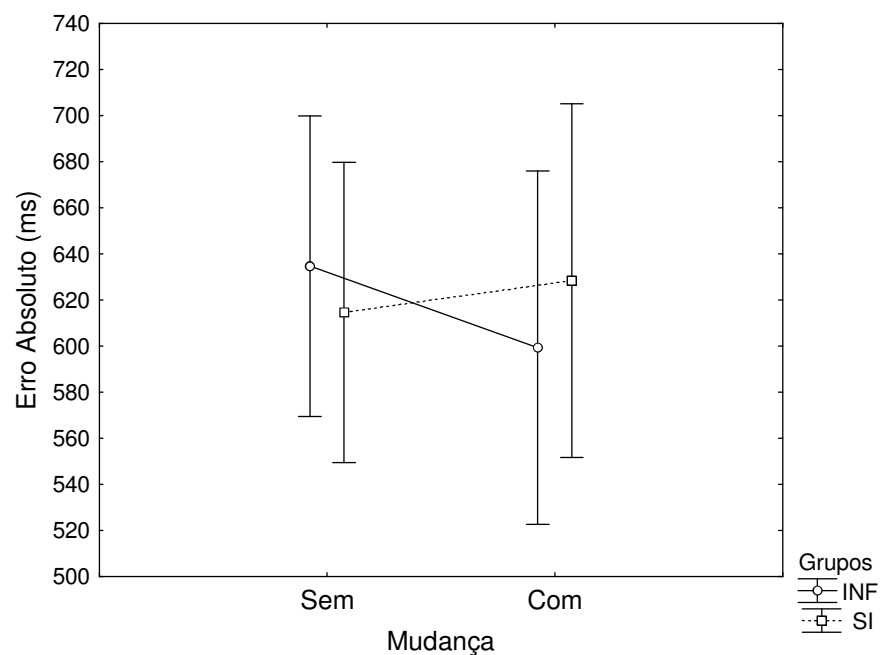


Figura 13. Representação da interação entre os fatores direção x grupo na variável erro absoluto.

A análise da variável tempo de iniciação do movimento do cursor revelou interação entre os fatores incerteza x direção x grupo (Figura 14), $[F(1, 16)=3,42, p=0,043]$. O grupo INF apresentou tempo de iniciação mais baixo em condição com baixa incerteza e mudança. O grupo SI apresentou tempo de iniciação mais baixo em situações de alta incerteza e com mudança. Esse comportamento indica o efeito exercido pela informação verbal prévia fornecida ao grupo INF, que os possibilitou uma programação de movimento anterior ao grupo SI.

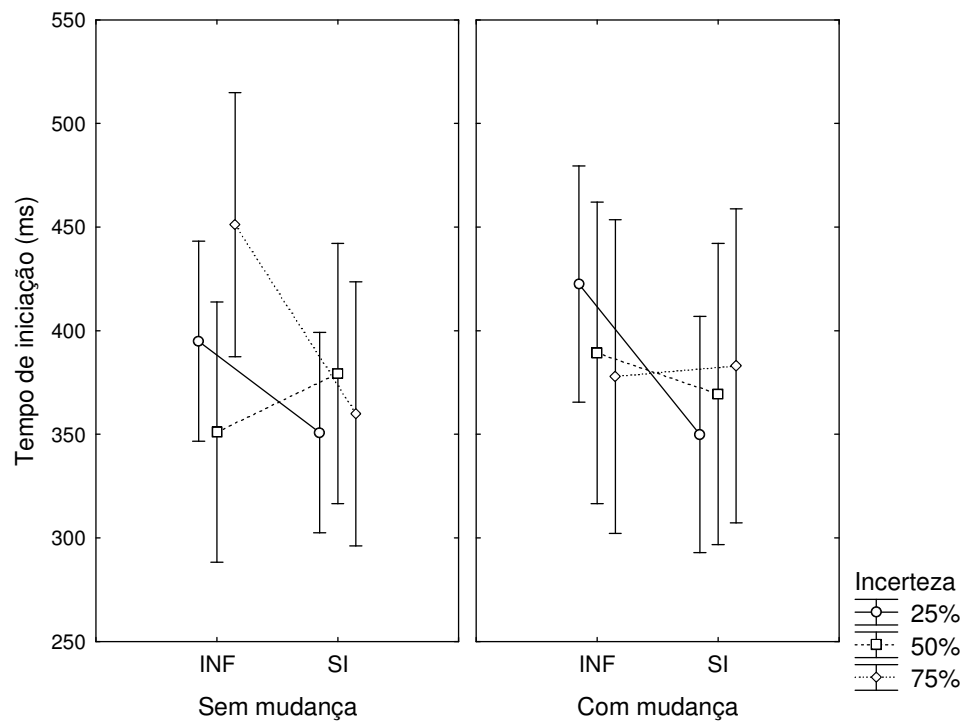


Figura 14. Médias e desvios padrão do tempo de iniciação do movimento motor nos três fatores analisados: incerteza sobre o deslocamento do alvo (25%, 50% e 75% de probabilidade de mudança na direção do alvo, sem e com mudança na trajetória, grupos sem e com informação prévia sobre a probabilidade de mudança na trajetória do alvo.

O tempo de movimento (Figura 15) revelou interação entre os fatores direção x grupo $[F(1, 16)=5,06, p=0,037]$, indicando que na situação sem mudança o grupo INF apresentou tempo de movimento mais baixo comparado com a situação com mudança. O inverso foi observado para o grupo SI.

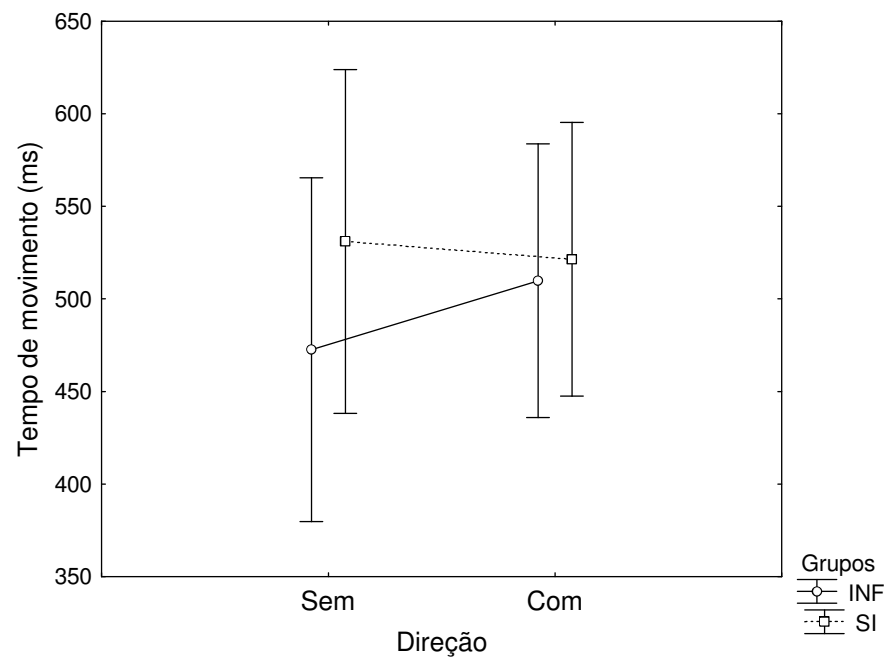


Figura 15. Representação da interação entre os fatores direção x grupo na variável tempo de movimento.

8. DISCUSSÃO GERAL

O presente estudo buscou esclarecer como a incerteza sobre o deslocamento de um alvo virtual móvel afeta as estratégias visuais, e se o conhecimento prévio sobre o deslocamento do alvo modula essas estratégias e o desempenho motor.

O efeito que a velocidade exerceu sobre as variáveis velocidade angular e amplitude de sacadas corroboram estudos anteriores que encontraram que a velocidade do alvo modula a velocidade de perseguição visual (Bennett e Barnes, 2006) e a amplitude de sacadas (ETCHELLS et al., 2010). No Experimento I em situação de certeza sobre o deslocamento do alvo os participantes fizeram movimentos mais rápidos e mais longos com o olhar, o que sugere que foram perseguições mais bem sucedidas. No Experimento II, sacadas mais amplas em situação com alta incerteza indica uma estratégia preditiva ao local de fixação. Estes achados destacam a noção de regulação dos movimentos dos olhos com base em uma representação preditiva do deslocamento do alvo móvel. Em outras palavras, o sistema regulador dos movimentos sacádicos parece ser capaz de aplicar uma integração com o sinal de velocidade de forma que atualize constantemente a média de velocidade e amplitude da sacada e usa isso para determinar a provável futura localização de um objeto a fim de produzir pontos finais de sacadas acurados (ETCHELLS et al., 2010; FLEURIET e GOFFART, 2012).

Segundo Collins e Barnes (2006), as sacadas preditivas podem ocorrer antes do movimento do alvo se iniciar. A instrução no presente estudo foi para que os participantes iniciassem a perseguição visual somente após o alvo se deslocar. Neste caso, os participantes atrasaram esta sacada preditiva inicial e a executaram no instante seguinte à saída do alvo, tentando prever seu local futuro de deslocamento. Pode-se observar esta sacada através concentração média de números de sacadas na zona 1 (Tabelas 2 e 4). A interação encontrada entre os fatores velocidade e incerteza na variável número de sacadas no Experimento I explica um comportamento similar independente da velocidade do alvo. Em velocidade baixa e incerteza foram realizadas menos sacadas comparando com a situação de certeza. Em velocidade alta a tendência inversa foi observada, em situação de incerteza mais sacadas foram realizadas comparando com a situação de certeza. As sacadas podem ser iniciadas quando o sistema de perseguição contínua

não é capaz de compensar o erro de tempo para contato (DE BROUWER et al., 2002). Em velocidade alta e incerteza o número de sacadas foi distribuído ao longo das zonas de deslocamento do alvo (Tabela 3) e estas sacadas apresentaram menor comprimento. Estes dados revelam um comportamento instável de busca por informação que consiga subsidiar e atualizar o modelo interno preditivo, assim como a seleção de pesos para este modelo (DE AZEVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009). Em velocidade baixa e incerteza estas variáveis apresentaram menores médias, pois a perseguição contínua foi capaz de rastrear o alvo ao longo do deslocamento sem arriscar uma predição imprecisa. No entanto, em situação de certeza, quando os participantes sabiam previamente as zonas de importância (mudança/interceptação), o número de sacadas foi maior e também de seus comprimentos, pois foi dado um peso maior para o fator preditivo (ETCHELLS et al., 2010). Estes achados confirmam a hipótese de que a certeza sobre o deslocamento do alvo exerce efeito sobre o tipo de estratégia visual observada durante uma tarefa de interceptação.

Em situações de baixa incerteza, após as sacadas os participantes fixaram o olhar durante um período mais longo nas zonas de interesse (mudança/interceptação) (Tabela 1 e 3). E quanto menor a incerteza, mais alta foi a concentração de sacadas nos locais de mudança de direção (zonas 1 e 3) no Experimento I, e em ambas as condições no Experimento II. Esta estratégia pode revelar uma busca para otimizar o tempo para reprogramar o movimento com base na informação visual extraída (DE AZEVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009) e está de acordo com os achados de Fleuriet e Goffart (2012), que destacam a eficácia das sacadas e da modulação de estruturas de alta ordem por sacadas e correção destas em tarefas com alvos móveis.

No Experimento II o número de sacadas na situação com mudança e baixa incerteza foi maior comparado com alta incerteza. Esse resultado revela execução de mais sacadas nos locais de interesse, uma vez que em baixa incerteza os pesos selecionados para o modelo interno de interceptação (DE AZEVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009) têm maior probabilidade de ser adequados para a condição do contexto. O grupo INF exibiu maior frequência de fixação visual na zona 2 em situação sem mudança, comparado com o grupo SI. Em situação com mudança o grupo SI apresentou frequência mais alta na zona 3, indicando assim sacadas preditivas ao local da interceptação, como proposto por Land e McLeod (2000). O

tempo de iniciação em situação com mudança tendeu ser menor comparado com condição sem mudança para todos os níveis de incerteza. Os achados do presente estudo corroboram a hipóteses de que o conhecimento sobre o deslocamento do alvo e sobre os níveis de incerteza modulam a estratégia visual utilizada durante a interceptação.

Gray (2002ab) proveu evidências do efeito da incerteza no comportamento motor. Nesse estudo, foi mostrado que tanto a precisão espacial quanto a temporal são empobrecidas em situações nas quais há maior variabilidade na velocidade de lançamento da bola em um bloco de arremessos. Isto é, em situações com alta incerteza sobre as características de deslocamento futuro do alvo. A variável erro absoluto aqui analisada confirma estes resultados em ambos os experimentos. Os erros foram maiores em situações com alta incerteza. No Experimento II foi revelada interação entre os fatores incerteza x direção. O grupo INF, em situação sem mudança de direção e alta incerteza teve pior desempenho comparado com o grupo SI. O grupo INF apresentou tempo de iniciação posterior ao SI em situações de alta incerteza e com mudança. Esse comportamento indica o efeito exercido pela informação verbal prévia fornecida ao grupo INF, que os possibilitou uma programação de movimento anterior ao grupo SI. Esse indicativo ainda é evidenciado na variável tempo de movimento pela interação entre os fatores direção x grupo. Tal efeito indica que na situação sem mudança o grupo INF apresentou tempo de movimento menor comparado com a situação com mudança. Este conjunto de evidências remete à conclusão de que os participantes do grupo INF executaram a ação preditiva principalmente com base na informação prévia, o que os levou a maiores erros. Os participantes SI buscaram suprir este débito de informação prévia através da atualização dos parâmetros do modelo interna pela informação visual, o que pode ter favorecido o desempenho (KERZEL e GEGENFURTNER, 2003; DE AZAVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009).

Os resultados aqui apresentados sustentam a concepção de um modelo interno cujos pesos são selecionados e atualizados podem ser finamente ajustados com referência à expectativa do tempo para contato do alvo. Mais especificamente, tem sido desenvolvida a proposição de que em condições de certeza sobre a mudança de direção do alvo um grande peso é dado à integração visuomotora para as consequências preditas de mudança de direção e um baixo peso é dado para

manutenção da direção inicial. Neste caso, a organização de movimento é guiada por tais pesos, levando a intercepções temporalmente mais precisas quando a direção do alvo é efetivamente mudada, como observado por FLEURIET e GOFFART (2012). Para a mesma probabilidade de evento, quando a direção é mantida inalterada os pesos da integração visuomotora precisam ser rapidamente alterados na porção final do deslocamento do alvo. Observação de um acréscimo progressivo da precisão temporal em função da probabilidade de evento sugere que situações em que a expectativa não é confirmada levam a uma reorganização progressiva e de duração relativamente longa da ação (DE AZEVEDO NETO e TEIXEIRA, 2009).

9 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo conduziram às seguintes conclusões:

O comportamento visual é modulado pela velocidade e certeza sobre o deslocamento do alvo. Em velocidades altas a estratégia mais comum foi realizar sacadas preditivas para os locais de interesse da interceptação.

Situações com alvos rápidos induzem a estratégia visual de rastreamento por perseguição contínua, como hipotetizado previamente. A proposição inicial de que alvos rápidos induziriam a utilização do sistema de rastreamento imagem-retina (fixação visual) não foi corroborada. Nesta situação os participantes realizaram perseguição através de sacadas visuais ao longo do deslocamento do alvo.

A baixa incerteza sobre a futura direção do alvo visual gera melhor desempenho, confirmando a hipótese inicial. A informação verbal prévia dada ao grupo INF afetou significativamente as variáveis visuais. No entanto, o grupo SI foi capaz de suprimir este déficit de informação prévia pela informação visual ao longo da tarefa. SI mostrou melhor desempenho na tarefa do que o grupo INF. A situação de certeza revelou uma estratégia principal utilizando sacadas preditivas nos locais de eventos importantes do deslocamento do alvo.

REFERÊNCIAS

- BENNETT, S. J.; BARNES, G.R. (2006). Smooth ocular pursuit during the transient disappearance of an accelerating visual target: the role of reflexive and voluntary control. **Experimental Brain Research**, 175, 1-10.
- BOCK, O.; JUNGLING, S. (1999). Reprogramming of grip aperture in a double-step virtual grasping paradigm. **Experimental Brain Research**, 125, 61-66.
- BRENNER, E.; SMEETS J. B.; VAN DEN BERG, A. V. (2001). Smooth eye movements and spatial localization. **Vision Research**, 41, 2253-2259.
- BRENNER, E.; SMEETS, J.B. (1997). Fast responses of the human hand to changes in target position. **Journal of Motor Behavior**, 29, 297-310.
- BRENNER, E.; SMEETS, J.B.; DE LUSSANET, M.H. (1998). Hitting moving targets. Continuous control of the acceleration of the hand on the basis of the target's velocity. **Experimental Brain Research**, 122, 467-474.
- COLLINS, C. J.; BARNES, G. R. (2006). The occluded onset pursuit paradigm: Prolonging anticipatory smooth pursuit in the absence of visual feedback. **Experimental Brain Research**, 175, 11–20.
- CROFT, J. L.; BUTTON, C. ; DICKS, M. (2010). Visual strategies of sub-elite cricket batsmen in response to different ball velocities. **Human Movement Science**, 29, 751-763.
- DAY, B.L.; LYON, I.N. (2000). Voluntary modification of automatic arm movements evoked by motion of a visual target. **Experimental Brain Research**, 130, 159-168.
- DE AZEVEDO NETO, R. M.; TEIXEIRA, L. A. (2009). Control of interceptive actions is based on expectancy of time to target arrival. **Experimental Brain Research**, 199, 2, 135-143.
- DE BROUWER, S.; MISSAL, M.; BARNES, G.; LEFEVRE, P. (2002). Quantitative analysis of catch-up saccades during sustained pursuit. **Journal of Neurophysiology**, 87, 1772–1780.
- DE LUSSANET, M.H.; SMEETS, J.B.; BRENNER, E. (2001). The effect of expectations on hitting moving targets: influence of the preceding target's speed. **Experimental Brain Research**, 137, 246-248.
- ENGEL, K.C.; SOECHTING, J.F. (2000). Manual tracking in two dimensions. **Journal of Neurophysiology**, 83, 3483-3496.

- ETCHELLS, J.P.; BENTON, C.P.; LUDWIG, C.J.H.; GILCHRIST, I.D. (2010). The target velocity integration function for saccades. **Journal of Vision**, 10, 1–14.
- FLEURIET, J.; GOFFART, L. (2012). Saccadic Interception of a Moving Visual Target after a Spatiotemporal Perturbation. **The Journal of Neuroscience**, 32, 452– 461.
- GRAY, R. (2002a). Behavior of college baseball players in a virtual batting task. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 28, 1131-1148.
- GRAY, R. (2002b). "Markov at the bat": a model of cognitive processing in baseball batters. **Psychological Science**, 13, 542-547.
- INDOVINA, I.; MAFFEI, V.; BOSCO, G.; ZAGO, M.; MACALUSO, E.; LACQUANITI, F. (2005). Representation of visual gravitational motion in the human vestibular cortex. **Science**, 308, 416-419.
- KERZEL, D.; GEGENFURTNER, K.R. (2003). Neuronal processing delays are compensated in the sensorimotor branch of the visual system. **Current Biology**, 13, 1975–1978.
- KOWLER, E. (1989). Cognitive expectations, not habits, control anticipatory smooth oculomotor pursuit. **Vision Research**, 29, 1049–1057.
- LAND, M.F.; MCLEOD, P. (2000). From eye movements to actions: How batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, 3, 1340-1345.
- LE RUNIGO, C.; BENGUIGUI, N.; BARDY, B.G. (2005). Perception-action coupling and expertise in interceptive actions. **Human of Movement Science**, 24, 429-445.
- MCINTYRE, J.; ZAGO, M.; BERTHOZ, A.; LACQUANITI, F. (2001). Does the brain model Newton's laws? **Nature Neuroscience**, 4, 693-694.
- MILNER, A.D.; GOODALE, M.A. (1995). **The visual brain in action**. Oxford University Press, Oxford.
- MONTAGNE, G.; LAURENT, M.; DUREY, A.; BOOT SMA, R. (1999) Movement reversals in ball catching. **Experimental Brain Research**, 129, 87-92
- MONTAGNE, G.; LAURENT, M.; RIPOLL, H. (1993). Visual information pick-up in ball-catching. **Human Movement Science**, 12, 273-297.
- PANCHUK, D.; VICKERS, J. N. (2006). Gaze behaviors of goaltenders under spatial-temporal constrains. **Human Movement Sciences**, 25, 733-752.

- RIPOLL, H.; FLEURANCE, P. (1998). What does keeping one's eye on the ball mean? **Ergonomics**, 31, 1647-1654.
- RODRIGUES, S. T.; VICKERS, J. N. (1998). Eye-hand coordination in table tennis: Preliminary results. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, 20, S91.
- RODRIGUES, S. T.; VICKERS, J. N.; WILLIAMS, A. M. (2002). Head, eye and arm coordination in table tennis. **Journal of Sports Sciences**, 20, 187-200.
- ROSANDER, K.; VON HOFSTEN, C. (2000). Visual-vestibular interaction in early infancy. **Experimental Brain Research**, 133, 321-333.
- ROSANDER, K.; VON HOFSTEN, C. (2002). Development of gaze tracking of small and large objects. **Experimental Brain Research**, 146, 257-264.
- SAUNDERS, J.A.; KNILL, D.C. (2005). Humans use continuous visual feedback from the hand to control both the direction and distance of pointing movements. **Experimental Brain Research**, 162, 458-473.
- SCHMOLESKY, M.T.; WANG, Y.; HANES, D.P.; THOMPSON, K.G.; LEUTGEB, S.; SCHALL, J.D.; LEVENTHAL, A.G. (1998). Signal timing across the macaque visual system. **Journal of Neurophysiology**, 79, 3272-3278.
- SCHMOLESKY, M.T.; WANG, Y.; HANES, D.P.; THOMPSON, K.G.; LEUTGEB, S.; SCHALL, J.D.; LEVENTHAL, A.G. (1998). Signal timing across the macaque visual system. **Journal of Neurophysiology**, 79, 3272-3278.
- SENOT, P.; PREVOST, P.; MCINTYRE, J. (2003). Estimating time to contact and impact velocity when catching an accelerating object with the hand. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 29, 219-237.
- SENOT, P.; PREVOST, P.; MCINTYRE, J. (2003). Estimating time to contact and impact velocity when catching an accelerating object with the hand. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 29, 219-237.
- SMEETS, J.B.; BRENNER, E.; DE LUSSANET, M.H. (1998). Visuomotor delays when hitting running spiders. **Advances in perception-action coupling**. Paris. Éditions EDK, 36-40.
- TEIXEIRA, L. A.; CHUA, R.; NAGELKERKE, P.; FRANKS, I. H. (2006). Reprogramming of interceptive actions: time course of temporal corrections for unexpected target velocity change. **Journal of Motor Behavior**, 38, 467-477.
- TEIXEIRA, L. A.; LIMA, E. S.; FRANZONI, M. M. (2005). The continuous nature of timing reprogramming in an interceptive task. **Journal of Sports Sciences**, 23, 943-950.

- VAN SONDEREN, J.F.; GIELEN, C.C.; DENIER VAN DER GON, J.J. (1989). Motor programmes for goal-directed movements are continuously adjusted according to changes in target location. **Experimental Brain Research**, 78, 139-146.
- VICKERS, J. N. (1996). Visual control when aiming at a far target. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 22, 342-354.
- VICKERS, J. N.; ADOLPHE, R. M. (1997). Gaze behaviour during a ball tracking and aiming skill. **International Journal of Sports Vision**, 4, 18-27.
- VON HOFSTEN, C.; ROSANDER, K. (1996). The development of gaze control and predictive tracking in young infants. **Vision Research**, 36, 81-96.
- VON HOFSTEN, C.; ROSANDER, K. (1997). Development of smooth pursuit tracking in young infants. **Vision Research**, 37, 1799-1810.
- WHITNEY, D.; GOODALE, M. A. (2005). Visual motion due to eye movements helps guide the hand. **Experimental Brain Research**, 162, 394-400.
- ZAGO, M.; BOSCO, G.; MAFFEI, V.; IOSA, M.; IVANENKO, Y.P.; LACQUANITI, F. (2004). Internal models of target motion: expected dynamics overrides measured kinematics in timing manual interceptions. **Journal of Neurophysiology**, 91, 1620-1634.
- ZAGO, M.; BOSCO, G.; MAFFEI, V.; IOSA, M.; IVANENKO, Y.P.; LACQUANITI, F. (2005). Fast adaptation of the internal model of gravity for manual interceptions: evidence for event-dependent learning. **Journal of Neurophysiology**, 93, 1055-1068.
- ZAGO, M.; MCINTYRE, J.; SENOT, P.; LACQUANITI, F. (2009). Visuo-motor coordination and internal models for object interception. **Experimental Brain Research**, 192, 571-604.