

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

**LOCOMOÇÃO VISUALMENTE GUIADA NA TRANSPOSIÇÃO
DE OBSTÁCULOS: EFEITOS DE AMOSTRAS VISUAIS
ESTÁTICAS E DINÂMICA**

MARCOS RODRIGO TRINDADE PINHEIRO MENUCHI

RIO CLARO

JUNHO/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

**LOCOMOÇÃO VISUALMENTE GUIADA NA TRANSPOSIÇÃO
DE OBSTÁCULOS: EFEITOS DE AMOSTRAS VISUAIS
ESTÁTICAS E DINÂMICA**

MARCOS RODRIGO TRINDADE PINHEIRO MENUCHI

Orientadora: PROFA. DRA. LILIAN TERESA BUCKEN GOBBI

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociência do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Motricidade – Área de Concentração em Biodinâmica da Motricidade Humana.

RIO CLARO

JUNHO/2005

RESUMO

Durante a locomoção, ocorre um padrão de movimento visual referido como um campo de fluxo óptico. Para explorar como os ajustamentos locomotores são influenciados por este padrão, um paradigma experimental foi desenvolvido para anular o fluxo óptico durante a locomoção e ultrapassagem de obstáculo. O objetivo deste estudo foi investigar a contribuição de amostragens visuais estáticas e dinâmica na locomoção e ultrapassagem de obstáculos de diferentes alturas. Dez indivíduos ($23,4 \pm 1,28$ anos de idade, de ambos os gêneros) foram convidados a andar sobre uma passarela e ultrapassar um de dois obstáculos personalizados (obstáculo alto = altura do joelho e obstáculo baixo = altura do tornozelo) posicionado a 5m do ponto de partida. Diodos emissores de luz foram afixados no 5º metatarso e face lateral do calcâneo em ambos os pés e suas trajetórias foram filmados por quatro filmadoras digitais posicionadas bilateralmente à passarela. Dois blocos de tentativas foram apresentados em função das condições de amostragens visuais. No primeiro bloco, 10 tentativas com amostragem visual dinâmica (iluminação normal) foram apresentadas. No segundo bloco de tentativas, duas condições de amostragens visuais estáticas foram apresentadas de forma aleatória por meio de uma luz estroboscópica (2 flashes/segundo e 4 flashes/segundo). A duração de cada flash não ultrapassou 16ms e forneceu apenas imagens estáticas do ambiente. A altura do obstáculo foi randomizada em cada bloco de tentativas. Cinco tentativas para cada condição foram coletadas, totalizando 30 tentativas por participante. Todas as imagens foram digitalizadas e reconstruídas no plano tri-dimensional. As variáveis dependentes na fase de aproximação (comprimentos dos dois passos anteriores à ultrapassagem) e na fase de ultrapassagem (distâncias horizontais dos pés ao obstáculo para a ultrapassagem, distâncias verticais de cada pé sobre o obstáculo e velocidades horizontais médias de ultrapassagem de cada pé) foram selecionadas. Os resultados revelaram diferenças entre a amostragem visual dinâmica e as estáticas no penúltimo passo e nas distâncias relativas ao obstáculo apenas para a perna de abordagem. A altura do obstáculo influenciou a distância vertical sobre o obstáculo e a velocidade horizontal média tanto para a perna de abordagem como para a perna de suporte. Estes resultados indicam que a informação visual de movimento obtido pelo fluxo óptico tem um importante papel na estimativa da distância e da altura do obstáculo. A utilização de um comportamento conservativo de ultrapassagem nas condições de amostragens visuais estáticas sugere que a informação de movimento visual favorece o acoplamento entre a visão e os ajustamentos adaptativos na negociação com o obstáculo.

Palavras-Chave: ultrapassagem de obstáculo, visão, fluxo óptico, informação de movimento, locomoção, amostragem visual.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. Estratégias locomotoras adaptativas.....	13
2.2. A visão na tarefa de ultrapassar obstáculo.....	19
2.3. Fluxo óptico como fonte de informação para a locomoção.....	25
2.4. Amostras visuais estáticas e dinâmica: o paradigma da luz estroboscópica.....	27
3. PROBLEMATIZAÇÃO.....	30
4. OBJETIVOS.....	34
5. HIPÓTESES.....	35
6. MATERIAL E MÉTODO.....	36
6.1. Participantes.....	36
6.2. Ambiente e instrumentos para coleta e análise dos dados.....	37
6.3. Procedimentos.....	41
6.4. Coleta e análise de dados.....	42
6.4.1. Filmagens.....	42
6.4.2. Captura, medição e sincronização das imagens.....	43
6.4.3. Calibração.....	44
6.4.4. Reconstrução tridimensional e matriz de dados.....	45
6.4.5. Cálculo das variáveis dependentes.....	45
6.5. Análise estatística.....	47
7. RESULTADOS.....	49

7.1 Estratégias adaptativas	49
7.1.1 Perna de abordagem.....	49
7.1.2 Fase de aproximação e ultrapassagem	51
7.2 Efeitos principais e de interação	53
8. DISCUSSÃO	60
8.1. Comportamento locomotor adaptativo: uma análise qualitativa.	61
8.2. Identificando a estratégia adaptativa de ultrapassagem na condição de amostragem visual dinâmica: estratégia dinâmica.....	62
8.3. Quais os efeitos das amostragens visuais estáticas? Identificando a estratégia estática.	66
8.3.1. Amostragens visuais estáticas geraram adaptações locomotoras antecipatórias diferentes da condição de amostragem visual dinâmica independentemente da altura do obstáculo.	67
8.3.2. Amostragens visuais estáticas geraram um comportamento de ultrapassagem conservativo com um maior efeito frente ao obstáculo alto: as velocidades médias de ultrapassagem não foram afetadas.	69
8.4. A estratégia estática foi semelhante para ambas as condições de amostragens visuais estáticas.....	72
8.5. Amostragem visual dinâmica e acoplamento entre informação ambiental e ajustamentos locomotores: projeções futuras.	74
9. CONCLUSÃO	77
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ABSTRACT.....	89
ANEXO 1: Aprovação do estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa.....	90

APÊNDICE 1: Relatório técnico do diodo emissor de luz.....	91
APÊNDICE 2: Termo de consentimento livre e esclarecido e ficha de coleta de dados.....	95

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Fotografia das sapatilhas antiderrapantes e do posicionamento dos diodos. .. 38
- Figura 2. Desenho ilustrativo do ambiente experimental: posicionamento das câmeras, do obstáculo e indicação do ponto de início da locomoção. A área sombreada representa a zona de captura. C1, C2, C3 e C4 representam as câmeras filmadoras. C1 e C2 capturaram o plano sagital esquerdo e C3 e C4 capturaram o plano sagital direito..... 38
- Figura 3. Vista frontal da luz estroboscópica. 40
- Figura 4. Ilustração dos obstáculos e as bases de suporte 40
- Figura 5. Representação esquemática do calibrador. As dimensões do paralelogramo (975mm, 560mm, 720mm) e a orientação adotada (y vertical; x ântero-posterior; z médio-lateral)..... 44
- Figura 6. A: Representação esquemática, vista superior, das variáveis dependentes (P2UT, P1UT, UT, DHPOpa, DHPOps). B: Representação esquemática, vista lateral, das variáveis dependentes (DVPOpa, DVPOps, VMpa, VMps). Perna de abordagem (PA) e perna de suporte (PS)..... 47
- Figura 7. A: Médias e Desvios padrão do P2UT normalizado, P1UT normalizado, DHPO e DVPO como uma função da amostragem visual e altura do obstáculo. *P2UT*: antepenúltimo passo antes da ultrapassagem; *P1UT*: último passo antes da ultrapassagem; *DHPO*: distância horizontal pé-obstáculo; e *DVPO*: distância vertical pé-obstáculo. *LN*: Luz normal (amostragem visual dinâmica); *2Hz*: amostragem visual estática a 2 flashes/segundo; e *4Hz*: amostragem visual estática a 4 flashes/segundo. *OB*: obstáculo baixo; e *OA*: obstáculo alto..... 52

- Figura 8. Médias e desvios padrão de P2UT normalizado e representado pela porcentagem do comprimento do membro inferior por condição de amostragem visual. O *asterisco* indica diferenças significativas obtidas pelo teste de Tukey (*LN* amostragem visual dinâmica, *4Hz* amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, *2Hz* amostragem visual estática a 2 flashes/segundo). 54
- Figura 9. Médias e desvios padrão da DHPOpa. O *asterisco* indica diferenças significativas obtidas pelo teste de Tukey (*LN* amostragem visual dinâmica, *4Hz* amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, *2Hz* amostragem visual estática a 2 flashes/segundo)..... 55
- Figura 10. Médias e desvios padrão da DHPOps nas condições de amostragem visual e obstáculo. As linhas contínua e tracejada representam as condições de obstáculo baixo e alto respectivamente (*LN* amostragem visual dinâmica, *4Hz* amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, *2Hz* amostragem visual estática a 2 flashes/segundo; *OB* obstáculo baixo, *OA* obstáculo alto). 56
- Figura 11. Médias e desvios padrão da DVPOpa. A: nas condições de amostragens visuais. O *asterisco* indica diferenças significativas obtidas pelo teste de Tukey (*LN* amostragem visual dinâmica, *4Hz* amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, *2Hz* amostragem visual estática a 2 flashes/segundo). B: nas condições de obstáculo (*OB* obstáculo baixo, *OA* obstáculo alto). 57
- Figura 12. Médias e desvios padrão da DVPOps para a condição de obstáculo (*OB* obstáculo baixo, *OA* obstáculo alto). 58
- Figura 13. Médias e desvios padrão da velocidade média. A: VMpa e B: VMps (*OB* obstáculo baixo, *OA* obstáculo alto). 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Gênero (M/F), idade (meses), estatura (cm) e massa corporal (kg) de cada participante e valores médios e de desvio padrão (DP) para idade, estatura e massa corporal.	37
Tabela 2. Distribuição das tentativas, por participante, de acordo com a perna utilizada para abordagem do obstáculo e número de trocas de perna por bloco.	50
Tabela 3. Valores de F encontrados, graus de liberdade e níveis de significância para efeito principal de amostragem visual ou altura do obstáculo e interação entre amostragem visual e altura do obstáculo por variável dependente. O <i>asterisco</i> indica diferença significativa.	53

1. INTRODUÇÃO

A capacidade locomotora adaptativa depende da habilidade de interagir com as restrições espaço-temporais do ambiente. Modulações no comprimento e na largura dos passos para posicionar os pés adequadamente na relação com obstáculos é apenas um exemplo de tais adaptações. A visão favorece a obtenção de informação ambiental à distância permitindo adaptar a locomoção às diferentes condições de terreno.

Gibson (1958) foi o primeiro a desenvolver alguns postulados sobre a locomoção visualmente guiada. De acordo com o autor, os movimentos do observador em um ambiente visualmente estruturado apresentam mudanças na imagem que lhe fornecem informação para o controle de sua locomoção relativamente aos objetos no ambiente. Gibson (1950) verificou que os padrões de mudança formam um campo de fluxo óptico. Pesquisas têm revelado a contribuição do fluxo óptico no controle da direção (FAJEN; WARREN, 2000; WARREN; KAY; ZOSH; DUCHON; SAHUC, 2001; SCHUBERT; BOHNER; BERGER; SPRUNDEL; DUYSSENS, 2003), da velocidade (PROKOP; SCHUBERT; BERGER, 1997; LAPPE; BREMMER; VAN DEN BERG, 1999), do tempo de contato (TRESILIAN, 1999; DE RUGY; MONTAGNE; BUEKERS; LAURENT, 2002) e da discriminação de distâncias (LAPPE; BREMMER; PEKEL; THIELE; HOFFMAN, 1996; BREMMER; LAPPE,

1999; HARRIS; JENKIN; ZIKOVITZ, 2000; REDLICK; JENKIN; HARRIS, 2001; FRENZ; BREMMER; LAPPE, 2003). Contudo, pouca ênfase tem sido dada à contribuição do fluxo óptico no comportamento locomotor adaptativo.

A presença de um obstáculo no caminho de progressão oferece uma oportunidade para verificar as estratégias utilizadas para resolver o desafio imposto pela perturbação em potencial. As características do obstáculo e sua localização devem ser visualmente percebidas para que modulações apropriadas sejam implementadas. O conjunto de modulações implementado frente a uma condição específica pode ser entendido em termos de estratégias adaptativas. Documentar as estratégias adaptativas em condições onde o fluxo óptico é ausente e comparar com a estratégia adaptativa implementada em condições normais possibilita verificar a contribuição do fluxo óptico no comportamento locomotor adaptativo.

Patla (1998) mostrou evidências da contribuição do fluxo óptico no controle locomotor adaptativo durante a ultrapassagem de obstáculo. Foi verificado que a taxa de erros (contatos acidentais no obstáculo) foi maior quando participantes obtiveram amostragem visual estática ao invés da amostragem dinâmica do ambiente. Na condição de amostragem visual estática, os participantes amostraram o ambiente por aproximadamente 1,5 segundo e iniciaram a locomoção sem visão até o momento de ultrapassagem do obstáculo (~5 passos). Na condição de amostragem visual dinâmica, os participantes iniciaram a locomoção com visão três passos antes da condição estática (~1,5 segundo) antes dos mesmos 5 passos sem visão.

Outra forma de anular o fluxo óptico, garantindo amostragem visual durante todo o deslocamento, foi proposta no presente estudo. Diferentemente de Patla (1998), a luz estroboscópica foi utilizada para gerar amostragens visuais estáticas mesmo com o

deslocamento do participante, suprimindo ou minimizando o fluxo óptico. A luz estroboscópica fornece uma breve amostra (imagem visual com velocidade nula) a cada flash, permitindo controlar a frequência e mantendo a duração do flash. Duas frequências de amostragens visuais estáticas (2 flashes/segundo e 4 flashes/segundo) e duas alturas de obstáculo (altura do tornozelo e altura do joelho) foram empregadas. A análise dos dois passos anteriores à ultrapassagem, as distâncias horizontais e verticais dos pés ao obstáculo e as velocidades de ultrapassagem possibilitam descrever as estratégias adaptativas. Com base na identificação destas estratégias, a seguinte questão foi explorada: Qual a contribuição do fluxo óptico no controle da locomoção na tarefa de ultrapassar obstáculos de diferentes alturas?

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para explorar como a visão é usada para guiar e modular o comportamento locomotor, um primeiro passo é considerar quais informações ambientais são relevantes para o comportamento, como estas informações são adquiridas durante a locomoção, quais modulações são empregadas e os fatores que influenciam estas modulações e o acoplamento entre percepção visual e ação locomotora. Inicialmente são abordadas as modulações do sistema efetor onde estratégias adaptativas podem ser identificadas e interpretadas. Posteriormente, o papel da visão na tarefa de ultrapassagem de obstáculo é focado. Por fim, o fluxo óptico é explorado e a utilização da luz estroboscópica neste estudo é explicitada.

2.1. Estratégias locomotoras adaptativas

O sucesso da ação locomotora depende da habilidade em adaptar o padrão do andar para satisfazer as demandas ambientais e/ou o objetivo individual. O controle do equilíbrio corporal dinâmico durante o deslocamento a uma direção desejada é um dos principais requerimentos para o sucesso locomotor (PATLA, 1991; 1997; 2003). Para satisfazer os requerimentos frente às demandas ambientais, modulações no padrão do andar são requeridas (WINTER, 1987; PATLA, 1991). O repertório de modulações do

padrão do andar confere a versatilidade locomotora para negociar com diferentes condições de terreno onde obstáculos estacionários ou móveis estão presentes. Patla e colaboradores (PATLA; ROBINSON; SAMWAYS; ARMSTRONG, 1989; PATLA, 1991; PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991; PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996; PATLA, 1997; PATLA; PRENTICE; RIETDYK; ALLARD; MARTIN, 1999) têm caracterizado como estratégias locomotoras adaptativas o conjunto de modulações empregado no padrão do andar para satisfazer as restrições ambientais. Estas estratégias são selecionadas com base na magnitude das restrições impostas pelo terreno e as possibilidades do sistema efetor em satisfazê-las. Esta escolha leva em consideração a segurança/estabilidade e a eficiência/economia da ação (PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991; CHOU; DRAGANICH, 1997) e está baseada em alguma análise de custo e benefício (PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996). Patla (1991) classificou as modulações do padrão do andar em dois grandes grupos de estratégias adaptativas: estratégias de acomodação e de desvio. Ambas as estratégias podem envolver tanto modulações mais amplas quanto ajustes finos no padrão do andar.

Estratégias de acomodação são adotadas quando a superfície não pode ser desviada (PATLA, 1991). Exemplos de superfícies que cotidianamente indivíduos utilizam tais estratégias são as guias das calçadas, escadas, superfícies carpetadas, gramadas, asfaltadas, molhadas, etc. As estratégias de acomodação podem envolver mudanças em um simples passo, tal como subir em uma calçada, ou podem requerer modificações em muitos passos, como quando andando em uma superfície inclinada ou simplesmente passeando pela areia da praia.

As estratégias de desvio, foco principal deste estudo, incluem todas as modificações do padrão do andar para desviar e pisar sobre uma superfície específica

percebida ser insegura ou indesejável (PATLA, 1991). Um buraco ou um obstáculo, por exemplo, apresentam características que influenciam a progressão do andar. Para negociar com tais superfícies, modulações nos parâmetros espaciais e temporais dos passos são exigidas para ultrapassar, contornar ou parar.

Para ultrapassar obstáculos, a trajetória dos membros inferiores deve apresentar amplitude apropriada para evitar o contato e, conseqüentemente, o risco de quedas (CHEN; ASHTON-MILLER; ALEXANDER; SCHULTZ, 1991; PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991; PATLA; RIETDYK, 1993; PATLA; RIETDYK; MARTIN; PRENTICE, 1996; PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996; SPARROW; SHINKFIELD; CHOW; BEGG, 1996; CHOU; DRAGANICH, 1997, 1998; ARMAND; HUISSOON; PATLA, 1998; TAGA, 1998; AUSTIN; GARRETT; BOHANNON, 1999; BYRNE; PRENTICE, 2003). Têm sido evidenciado que a escolha em ultrapassar ou não um obstáculo é obtida com base na escala corporal do indivíduo (PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996; PATLA, 1997), onde principalmente a altura do obstáculo é levada em consideração. De acordo com Patla, Prentice e Gobbi (1996) e Patla (1997), participantes preferem contornar o obstáculo quando a altura do obstáculo é superior à altura do joelho. Quando a altura do obstáculo é inferior à altura do joelho, participantes escolhem ultrapassá-lo.

Estudos têm demonstrado que diferentes características do obstáculo, tais como fragilidade (PATLA; RIETDYK; MARTIN; PRENTICE, 1996), largura (PATLA; RIETDYK, 1993; FREITAS JUNIOR; BARELA, 2000) e altura (PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991; PATLA; RIETDYK, 1993; SPARROW; SHINKFIELD; CHOW; BEGG, 1996; PATLA, 1997; CHOU; DRAGANICH, 1998;

AUSTIN; GARRETT; BOHANNON, 1999) influenciam a modulação do sistema efetor.

Para verificar estes efeitos no comportamento locomotor, Patla e colaboradores têm identificado os principais parâmetros cinemáticos da trajetória dos membros sobre obstáculos, que refletem as estratégias locomotoras de ultrapassagem (PATLA; RIETDYK, 1993; PATLA; RIETDYK; MARTIN; PRENTICE, 1996; KRELL; PATLA, 2002). O primeiro parâmetro é o mais crítico e representa a distância entre o pé e a borda superior do obstáculo no momento em que o pé está alinhado verticalmente com o obstáculo (DVPO: distância vertical pé-obstáculo), considerada como uma medida de segurança (PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996). O sucesso da ultrapassagem está em garantir adequada margem de segurança tanto para a perna de abordagem (primeira perna a ultrapassar o obstáculo) quanto para a perna de suporte (segunda perna a ultrapassar o obstáculo) (PATLA; RIETDYK; MARTIN; PRENTICE, 1996; KRELL; PATLA, 2002). Para garantir adequada margem de segurança, ajustamentos cumulativos dos comprimentos dos passos na fase de aproximação são necessários (PATLA, 1997; 1998; CROSBIE; KO, 2000; KRELL; PATLA, 2002; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004). Estes ajustamentos são importantes para adquirir uma distância adequada dos pés ao obstáculo antes da ultrapassagem. As distâncias do obstáculo relativas ao pé de abordagem e ao pé de suporte (DHPO: distância horizontal pé-obstáculo) capturam estes ajustamentos da fase de aproximação e formam o segundo parâmetro crítico para garantir adequada ultrapassagem (PATLA, 1997; 1998; KRELL; PATLA, 2002; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004).

Patla e Rietdyk (1993) verificaram a influência da altura do obstáculo (6,7 cm, 13,4 cm e 26,8 cm) nestes parâmetros quando participantes foram instruídos a

ultrapassar um obstáculo localizado 4 – 5 passos à frente. Os participantes revelaram notável consistência da DHPO independente da altura do obstáculo. A fase de aproximação (4 – 5 passos) foi suficiente para visualmente guiar ajustamentos nos comprimentos dos passos para garantir consistente DHPO antes do obstáculo. A DVPO, por outro lado, foi significativamente maior para o obstáculo alto quando comparada com os outros dois obstáculos, permitindo aos autores afirmar que a DVPO é uma função do tamanho do obstáculo, ou seja, à medida que a altura do obstáculo aumenta, a DVPO também aumenta.

Para explorar o controle da trajetória dos membros durante a ultrapassagem de obstáculos de diferentes alturas, Patla, Rietdyk, Martin e Prentice (1996) mediram a DVPO e sua variabilidade para a perna de abordagem (PA) e perna de suporte (PS) durante a ultrapassagem de obstáculos de 4, 14 e 26cm. Os valores médios da DVPO da perna de abordagem (DVPO_{pa}) se apresentaram maiores do que os da perna de suporte (DVPO_{ps}) para as alturas de 4 e 14cm, sendo semelhantes na altura de 26cm. A associação entre as DVPO da perna de abordagem e da perna de suporte, medida pela correlação de Pearson, foi baixa e não significativa. Os autores sugeriram, desta forma, que as informações das características do obstáculo obtidas visualmente são usadas para controlar a elevação da PA e da PS de maneira relativamente independente. Os autores verificaram ainda que a variabilidade da DVPO aumentou nas duas maiores alturas de obstáculo. Este aumento foi atribuído à maior demanda biomecânica (maior exigência de atividade muscular média) durante a ultrapassagem de obstáculos altos.

Austin, Garrett e Bohannon (1999) também observaram a DHPO e a DVPO em diferentes alturas de obstáculos (3,1 cm, 7,6 cm e 12,6 cm) e verificaram que a altura do obstáculo influenciou diferentemente estes parâmetros. A DVPO foi significativamente

diferente apenas entre as alturas de 3,1 e 7,6 cm, enquanto que a DHPO não variou significativamente com as mudanças da altura do obstáculo. Os autores propuseram um modelo teórico em que a DVPO é aumentada de forma gradual com o aumento do obstáculo até aproximadamente 8 cm. Após esta altura, uma fase de transição onde a DVPO atinge um platô é encontrada (sugerido entre 8 e 12 cm). A partir de 12 cm, a DVPO diminui com o aumento na altura do obstáculo.

Estudos que personalizam a altura do obstáculo às características antropométricas individuais têm demonstrado, por outro lado, uma forte consistência da DHPO e DVPO. Gonçalves, Moraes e Gobbi (2000) demonstraram que, mesmo em obstáculos muito altos, quando esta foi personalizada em relação à altura do joelho (obstáculo baixo = 10cm abaixo do joelho e obstáculo alto = 10cm acima do joelho), os participantes não alteraram a DHPO nem a DVPO. De forma semelhante, Sparrow, Shinkfield, Chow e Begg (1996), com alturas de obstáculo normalizadas a 10, 25 e 40% da altura do joelho, também não encontraram diferenças na DVPO. Recentemente, Mohagheghi, Moraes e Patla (2004) também não encontraram efeito da altura do obstáculo para ambas as pernas. Uma ampla variedade de alturas de obstáculos não personalizados (obstáculos de 4, 10, 18, 22 e 30 cm) foi verificada e tanto a DVPO quanto a DHPO não foram afetadas.

Os resultados contraditórios da DVPO podem ser atribuídos às diferenças metodológicas, como a personalização do obstáculo às características antropométricas dos participantes e as características do obstáculo (espessura e material). Apesar disso, há concordância quanto à importância dos parâmetros DHPO e DVPO para capturar o acoplamento entre o sistema visual e a ação locomotora. Explorar as características da amostragem visual usadas para modular o padrão do andar é crítico para o entendimento

do controle da locomoção adaptativa (PATLA, 1991; PATLA; RIETDYK, 1993; PATLA, 1997, 2003). Uma possibilidade é experimentalmente manipular a amostragem visual disponível.

2.2. A visão na tarefa de ultrapassar obstáculo

A maioria dos estudos preocupados em identificar a função visual na tarefa de ultrapassar obstáculo é voltada para a manipulação da amostragem visual em eventos locomotores específicos (contato do calcanhar e retirada do quinto metatarso) (por exemplo, PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991; PATLA, 1998; PATLA; NIECHWIEJ; RACCO; GOODALE, 2002; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004; PATLA; DAVIES; NIECHWIEJ, 2004).

A visão pode possuir papéis diferenciados durante a realização desta tarefa. Para entender estes papéis, a tarefa de ultrapassar obstáculo deve ser analisada em duas partes: a aproximação ao obstáculo e a ultrapassagem propriamente dita. A fase de aproximação corresponde aos passos anteriores à ultrapassagem. Durante a aproximação, ajustes cumulativos nos comprimentos dos passos são realizados para adequar as distâncias dos pés ao obstáculo passo a passo (PATLA, 1997; MOHAGHEGHI; PATLA, 2004; PATLA; DAVIES; NIECHWIEJ, 2004) e a visão possui um papel preditivo à perturbação (LEE, 1976; LEE; LISHMAN; THOMSON, 1982; PATLA, 1997; 2003; HOLLANDS; PATLA; VICKERS, 2002; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004). Os dois últimos passos (último passo: P1UT e penúltimo passo: P2UT) capturam os últimos ajustamentos para garantir uma DHPO adequada (PATLA, 1997), onde estratégias adaptativas são implementadas

(PATLA; ROBINSON; SAMWAYS; ARMSTRONG, 1989; PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991; PATLA, 1997). A fase de ultrapassagem corresponde ao ciclo da passada adaptativa, em que ambas as pernas ultrapassam o obstáculo. Esta fase é ainda subdividida em abordagem (retirada do pé até o alinhamento vertical com o obstáculo) e aterrissagem (do alinhamento vertical com o obstáculo até o contato do pé depois da ultrapassagem), tanto para a perna de abordagem como para a perna de suporte. A diferença principal nesta fase é que a perna de abordagem e o obstáculo podem ser visualmente monitorados durante a ultrapassagem. Isso garante a possibilidade de controle *on-line*, ou seja, modulações finas podem ser implementadas (PATLA, 1997; 1998). Nestas condições, os parâmetros DHPO e DVPO descrevem o comportamento e permitem observar estratégias locomotoras adaptativas nesta fase.

Patla (1998) apresentou alguns experimentos realizados em seu laboratório para demonstrar a contribuição da visão em cada fase da tarefa de ultrapassar obstáculo. A disponibilidade visual sobre o obstáculo foi manipulada e a DHPO, DVPO e suas variabilidades foram medidas. Três condições de disponibilidade visual (último passo sem visão, dois últimos passos sem visão e visão disponível) foram testadas em duas alturas de obstáculo (12 e 15 cm). Somente a DVPO foi significativamente afetada pelas condições de disponibilidade visual, sendo maior quando o obstáculo não foi visível nos dois últimos passos antes da ultrapassagem. Com base nestes resultados, Patla (1998) sugeriu que a informação visual sobre o ambiente amostrado em uma passada é suficiente para o controle preditivo da passada subsequente. A contribuição da visualização dos membros inferiores durante a ultrapassagem, que sugerem um controle *on-line*, também pôde ser verificado em outro experimento. Um par de óculos que impossibilitou a visualização dos membros inferiores foi empregado e a DVPO, a

variabilidade da DVPO e a DHPO foram aumentadas. Patla (1998) concluiu que a informação visual sobre os membros inferiores influencia não somente a trajetória dos membros durante a ultrapassagem (DVPO), mas também a aproximação ao obstáculo (DHPO).

Recentemente, Mohagueghi, Moraes e Patla (2004) expandiram estas questões verificando os efeitos da informação visual obtida em diferentes momentos da fase de aproximação (considerada neste estudo como os últimos três passos antes do obstáculo) e da fase de ultrapassagem, classificados por eventos específicos. Oito condições experimentais visuais combinaram diferentes momentos de disponibilidade visual nestas duas fases. Cinco alturas de obstáculo (4, 10, 18, 22 e 30 cm) foram randomizadas entre as condições e, em todas as tentativas, os participantes tiveram uma fase de amostragem visual dinâmica até o terceiro passo antes do obstáculo. Em todas as condições experimentais, os participantes foram hábeis em ultrapassar o obstáculo, confirmando a capacidade preditiva dos ajustamentos locomotores reportados anteriormente (PATLA, 1998). Contudo, efeitos na DVPO para ambas as pernas foram evidenciados quando a visão não foi disponível na fase de aproximação. Os participantes adotaram uma distância maior do obstáculo quando a visão foi ausente durante a fase de aproximação. Por outro lado, a disponibilidade visual durante a fase de ultrapassagem não afetou as DVPO. Mohagueghi, Moraes e Patla (2004) destacaram a importância da amostragem dinâmica na fase inicial do deslocamento locomotor para o planejamento dos ajustamentos antecipatórios e para a elevação das pernas para a abordagem ao obstáculo. Contudo, o acoplamento entre a informação ambiental e os ajustamentos locomotores foi afetado pela disponibilidade de amostragem visual.

Os estudos de Patla (1998) e de Mohagueghi, Moraes e Patla (2004) permitem identificar, de forma indireta, o intervalo entre a obtenção da informação visual e a modulação locomotora. Os resultados mostraram que, em média, os participantes olham dois passos à frente, sendo esta distância suficiente para extrair as características do terreno para que ajustamentos locomotores antecipatórios sejam implementados.

Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996) publicaram um único estudo onde as características da amostragem visual auto-selecionada pelos participantes são documentadas. Identificar quando, por quanto tempo e a frequência da amostragem visual em ambientes manipulados possibilita explorar como a necessidade de modulações motoras afeta a demanda visual. Para tal, Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996) investigaram as características da amostragem visual e os efeitos das condições do terreno nos padrões de amostragem, documentando o padrão espacial e temporal de amostragem visual voluntária de participantes quando andavam em diferentes condições de terreno. Foram utilizadas passarelas que continham pegadas, que exigiam modulações no comprimento e largura dos passos; obstáculos, requerendo diferentes elevações dos membros inferiores; buracos, exigindo ajustes no comprimento das passadas; e curvas, solicitando mudanças de direção. Os participantes usaram óculos com lentes de cristal líquido que eliminaram a informação visual do ambiente. A frequência, o local e a duração da amostragem visual durante a realização de cada tarefa foram controlados pelos próprios participantes. Para a tarefa de ultrapassagem de obstáculo, os resultados mostraram um padrão de amostragem visual com frequência de aproximadamente 0,5 a 1 amostra/segundo. Duas estratégias de amostragem foram evidentes: 1) A cada ciclo de passada em longa duração (~500ms); ou 2) Em todos os passos em curta duração (~250ms). Não foi identificada nenhuma fase do ciclo da

passada onde a necessidade de amostragem visual foi crítica e o número de amostras não excedeu uma amostragem por passo. Contudo, a ultrapassagem do obstáculo influenciou a demanda de amostragem visual em até quatro vezes mais que o andar livre e plano. O tempo de execução da tarefa, o número de amostras e a duração total da amostragem foram influenciados pela altura do obstáculo. O aumento na altura do obstáculo (0,5, 18 e 38 cm) proporcionou um aumento em todos os parâmetros. Os pesquisadores também verificaram o número e a duração das amostras na fase de aproximação e durante a ultrapassagem separadamente. Pôde-se observar que a demanda visual foi maior durante a aproximação ao obstáculo do que durante a ultrapassagem. Diferenças quanto à altura de obstáculo foram encontradas apenas na fase de aproximação e foram relacionadas à frequência de amostragem e à duração média das amostragens. Quanto maior o obstáculo maiores os valores dos dois parâmetros. Na fase de ultrapassagem, nenhuma diferença foi encontrada e o tempo médio de amostragem foi de aproximadamente 25 ms. Estes resultados estão de acordo com resultados de manipulações visuais durante as fases da tarefa de ultrapassar obstáculo (PATLA, 1998; MOHAGUEGHI; MORAES; PATLA, 2004), onde manipulações da disponibilidade visual na fase de aproximação afetaram mais o comportamento quando comparadas com manipulações durante a ultrapassagem. Tomados juntos, os resultados dos estudos apresentados sugerem que a visão é primeiramente usada para ajustar os passos anteriores à ultrapassagem para garantir adequada DHPO; enquanto que a fase de ultrapassagem é primariamente operada sobre controle balístico, com limitado uso da visão. Os resultados de Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996), onde a amostragem visual foi controlada pelos próprios participantes, evidenciam o importante papel que a visão tem no controle locomotor

preditivo. Este tipo de controle permite ajustamentos locomotores antecipatórios à perturbação em potencial (PATLA, 1997).

Medidas diretas de quando e onde as pessoas olham durante o controle locomotor adaptativo também têm sido investigadas (PATLA; VICKERS, 1997; HOLLANDS; PATLA; VICKERS, 2002; PATLA; VICKERS, 2003) e contribuem ao entendimento de quais atributos do ambiente visual são relevantes para este controle.

Patla e Vickers (1997) utilizaram um sistema de câmeras em um capacete (*mobile eye tracker*) para monitorar o comportamento do olhar na tarefa de ultrapassar obstáculo. Dois importantes achados emergiram deste estudo. Primeiro, que os participantes fixam o olhar de forma intermitente no obstáculo somente na fase de aproximação e não durante a ultrapassagem. Segundo, que quando não fixando seus olhares no obstáculo, os participantes gastam a maioria do tempo (~40%) com os olhos estabilizados na direção da locomoção, aproximadamente dois passos à frente, e levados durante a progressão. Esta característica do olhar foi definida pelos autores como fixação no percurso (*travel fixation*): comportamento do olhar caracterizado pela estabilização dos olhos em relação à direção da locomoção (PATLA; VICKERS, 1997; HOLLANDS; PATLA; VICKERS, 2002; PATLA; VICKERS, 2003).

Recentemente, Patla e Vickers (2003) exploraram o relacionamento temporal entre o comportamento do olhar e os passos em uma tarefa que exigiu posicionamento alternado dos pés em locais especificados no solo (pegadas). A métrica dos ciclos dos passos foi empregada para estabelecer o relacionamento espaço-temporal entre onde os participantes olham e quando eles pisam naquele local previamente visualizado. Neste estudo, semelhante aos resultados da ultrapassagem de obstáculo de Patla e Vickers (1997), o comportamento do olhar caracterizado pela estabilização dos olhos em relação

à direção da locomoção foi identificado e sua duração média foi de 600ms. A localização no espaço onde este comportamento ocorreu variou: participantes olharam ao final do caminho ou entre as marcas de posicionamento dos pés (pegadas) à frente.

Patla e Vickers (2003) destacaram que quando o caminho a ser percorrido é relativamente livre, com nenhum ou poucos objetos a serem desviados ou ultrapassados, este tipo dominante de comportamento do olhar (fixação no percurso) parece ser o mais apropriado e eficiente. Contudo, pouco se sabe sobre a importância deste comportamento do olhar para o controle locomotor adaptativo. Muitos pesquisadores têm sugerido que a estimativa sobre a aproximação ao obstáculo é adquirida pela variável tempo-de-contato, onde ajustamentos no comprimento dos passos são controlados para alcançar o alvo especificado (ver LEE; LISHMAN; THOMSON, 1982; MONTAGNE; CORNUS; GLIZE; QUAINÉ; LAURENT, 2000). Desta forma, fixações em pontos específicos podem ser importantes tanto na extração de características relevantes dos eventos ou na extração de informação inerente ao fluxo óptico gerado pelo deslocamento. Esta questão é explorada a seguir.

2.3. Fluxo óptico como fonte de informação para a locomoção

Uma das noções fundamentais do presente estudo é a de fluxo óptico. O conceito e as propriedades do fluxo óptico foram descritos inicialmente por James J. Gibson (1966; 1979) e têm sido detalhados pelos teóricos desde então (por exemplo, KOENDERINK, 1986; ATCHLEY; ANDERSEN, 1998). Gibson (1950) inicialmente notou que quando um observador se move no ambiente, existe uma transformação correspondente da textura ambiental projetada na retina. Gibson (1966) chamou esta

transformação de fluxo óptico, que se baseia na natureza invariante do relacionamento geométrico entre o observador em movimento e o ambiente. O fluxo óptico fornece ao observador informações sobre a estruturação da cena, as localizações dos objetos e o próprio movimento relativo aos objetos. Quando um observador está deslocando-se para frente, a imagem retinal do ambiente está necessariamente sofrendo uma contínua transformação geométrica (REGAN; BEVERLEY, 1982). Estudos têm demonstrado que o fluxo óptico é importante para especificar a direção da locomoção (FAJEN; WARREN, 2000; WARREN; KAY; ZOSH; DUCHON; SAHUC, 2001; SCHUBERT; BOHNER; BERGER; SPRUNDEL; DUYSSENS, 2003), a aproximação dos objetos relativa ao observador (TRESILIAN, 1999; DE RUGY; MONTAGNE; BUEKERS; LAURENT, 2002), a velocidade do próprio movimento (PROKOP; SCHUBERT; BERGER, 1997; LAPPE; BREMMER; VAN DEN BERG, 1999) e a discriminação de distâncias (LAPPE; BREMMER; PEKEL; THIELE; HOFFMAN, 1996; BREMMER; LAPPE, 1999; HARRIS; JENKIN; ZIKOVITZ, 2000; REDLICK; JENKIN; HARRIS, 2001; FRENZ; BREMMER; LAPPE, 2003).

Em consenso com esta proposta, Patla (1998) mostrou a superioridade da informação adquirida pelo fluxo óptico (amostragem visual dinâmica) em relação à informação recebida sem fluxo óptico (amostragem visual estática) no controle locomotor adaptativo durante a ultrapassagem de obstáculo. Em ambas as condições, os participantes amostraram o ambiente por 1,5 segundo. Na condição de amostragem visual estática, a amostragem do ambiente foi dada antes de iniciar o deslocamento locomotor (participantes parados). Após o período de amostragem (1,5s), os participantes foram instruídos a andar (~5 passos) e ultrapassar um obstáculo sem visão. Na condição de amostragem visual dinâmica, os participantes amostraram o ambiente

pelo mesmo período de tempo durante o deslocamento (correspondente a aproximadamente 3 passos com visão). Os resultados revelaram que a taxa de erro para a perna de abordagem foi maior na condição de amostragem visual estática quando comparada com a dinâmica (respectivamente 24,6% e 10%). Pouca diferença foi identificada para a perna de suporte na taxa de erro entre as condições de amostragem estática e dinâmica (6,7% e 7,5% respectivamente). Patla (1998) atribuiu os contatos com o obstáculo à variabilidade dos passos durante a fase de aproximação, sugerindo a importância da amostragem visual dinâmica nos ajustamentos do posicionamento dos pés antes do obstáculo (DHPO).

Para explorar a contribuição da amostragem visual dinâmica, o presente estudo propõe uma forma alternativa para investigar os efeitos do fluxo óptico no comportamento locomotor adaptativo.

2.4. Amostras visuais estáticas e dinâmica: o paradigma da luz estroboscópica

Experimentos utilizando luz estroboscópica, com o objetivo de eliminar o fluxo óptico, têm sido delineados para tarefas de equilíbrio estático (AMBLARD; CREMIEUX; MARCHAND; CARBLANC, 1985; CREMIEUX; MESURE, 1994; ROBERTSON; COLLINS; ELLIOTT; STARKES, 1994), de prensão manual (LYONS; FONTAINE; ELLIOTT, 1997; BUEKERS; HELSEN, 2000) e de locomoção (ASSAIANTE; MARCHAND; AMBLARD, 1989; AZULAY; MESURE; AMBLARD; BLIN; SANGLA; POUGET, 1999). Como pressuposto básico destes experimentos, o fluxo óptico pode ser anulado pelo emprego de baixa frequência de luz estroboscópica.

Cada flash de luz fornece breves amostras estáticas do ambiente visual. Estas imagens não permitem que ocorra transformação da textura ambiental projetada na retina e fornecem apenas informação sobre posição e orientação. Nestas condições, a velocidade de movimento ou de aproximação de um objeto deve ser avaliada por meio das mudanças na amplitude e localização dos objetos e eventos no ambiente.

O que se tem observado através de estudos com a locomoção humana (ASSAIANTE; MARCHAND; AMBLARD, 1989; AZULAY; MESURE; AMBLARD; BLIN; SANGLA; POUGET, 1999) e com a locomoção de gatos (SHERK; FOWLER, 2001) é que o movimento da imagem gerado pelo próprio deslocamento (fluxo óptico) contribui no desempenho da tarefa.

Assaiante, Marchand e Amblard (1989) estudaram a contribuição de amostragens visuais estáticas e dinâmicas em tarefas locomotoras. Na tarefa que exigia precisão, os participantes foram solicitados a andar por uma passarela que exigia modulações no comprimento dos passos com pequenos obstáculos intercalados espacialmente. A iluminação estroboscópica (breves flashes: ~2ms) foi usada para manipular a frequência de amostragem visual estática (2, 3, 4,5, 6, 9 ou 12Hz). A performance locomotora, medida pela velocidade média, foi analisada e comparada entre as condições de amostragens visuais estáticas e duas condições controle (iluminação total presente e ausente). Os resultados evidenciaram que o controle visual do posicionamento do pé pôde ser realizado eficientemente nas condições de frequência de amostragens visuais estáticas acima de 3 Hz. Também, a velocidade média aumentou linearmente com o aumento da frequência de amostragem visual estática. Os autores sugeriram que a qualidade da informação visual sobre o próprio movimento e sobre as características do terreno depende do período entre as amostras visuais estáticas.

Contudo, a performance locomotora foi avaliada apenas pela velocidade média, não incluindo as características cinemáticas do comportamento locomotor.

Recentemente, Sherk e Fowler (2001), utilizando o paradigma da luz estroboscópica, investigaram a contribuição da amostragem visual dinâmica na locomoção de gatos percorrendo um corredor contendo pequenos objetos aleatoriamente distribuídos. As condições de iluminação empregadas foram: iluminação total forte, iluminação total fraca, iluminação estroboscópica forte (~ 5 Hz) e iluminação estroboscópica fraca (~ 5 Hz). O posicionamento das patas no solo e a velocidade média do percurso foram coletados e a taxa de erro por animal em ambas as condições foi avaliada e comparada. Os resultados mostraram que, sob condições de iluminação total, os gatos ultrapassaram ou desviaram os objetos com alto grau de precisão. Quando o fluxo óptico foi eliminado pelo uso da luz estroboscópica, ocorreu aumento da taxa de erro para todos os animais. Os autores sugeriram que o fluxo óptico tem um papel importante na precisão da locomoção em ambientes complexos e que a amostragem visual estática pode apenas guiar a colocação dos pés se a velocidade da locomoção for diminuída.

Estes resultados em gatos sugerem que inferir movimento por meio de amostragens estáticas pode afetar a precisão na realização de tarefa locomotora em ambiente complexo. Para investigar este aspecto em humanos, o presente estudo focou a atenção nos parâmetros espaciais na negociação com o obstáculo. Os protocolos de ultrapassagem de obstáculos permitem avaliar as modificações no padrão básico do andar nas fases de aproximação e nos parâmetros específicos de ultrapassagem. Se inferir movimento através de amostras visuais estáticas pode ser impreciso, espera-se que os indivíduos modulem o sistema efetor de acordo com as condições visuais.

3. PROBLEMATIZAÇÃO

Os estudos de ultrapassagem de obstáculo identificam que as informações sobre a localização e as características do obstáculo são percebidas visualmente à distância e permitem o planejamento da ação locomotora com antecedência.

De acordo com o exposto, duas questões principais norteiam este estudo: a) Qual a contribuição da amostragem visual (estática ou dinâmica) para o controle do sistema efetor na tarefa de ultrapassar obstáculo?; e b) Como a altura do obstáculo interage com a amostragem visual no controle locomotor? Para responder estas questões, duas variáveis independentes foram manipuladas em diferentes combinações: amostragem visual e altura do obstáculo.

A amostragem visual foi manipulada sob duas condições: dinâmica e estática. A amostragem visual dinâmica foi fornecida com a iluminação normal do laboratório. A amostragem visual estática foi manipulada por uma luz estroboscópica em duas condições de frequência (2 e 4Hz – flashes/s) com duração menor do que 16ms. A escolha deste protocolo experimental surgiu com base em algumas evidências na literatura:

(1) *Amostras visuais estáticas durante o deslocamento*: Patla (1998) mostrou evidências da contribuição da amostragem visual dinâmica no controle locomotor

adaptativo durante a ultrapassagem de obstáculo. Na condição de amostragem visual dinâmica, os participantes erraram menos quando o desempenho foi comparado com as condições de amostragem visual estática. Contudo, altas taxas de erro para a perna de abordagem foram encontradas em ambas as condições, provavelmente pelos muitos passos sem disponibilidade visual até o obstáculo. A primeira preocupação neste estudo foi fornecer informação visual também durante a fase de aproximação. A luz estroboscópica possibilita a manipulação de amostras visuais estáticas durante a execução de toda a tarefa;

(2) *Frequência da amostragem visual*: Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996) monitoraram o padrão espacial e temporal de amostragem visual voluntária de participantes quando andavam em condições específicas de terreno. Os resultados mostraram que a necessidade de informação visual se caracterizou por um padrão intermitente com frequência de amostragem de aproximadamente 0,5 a 1Hz. Os participantes amostraram o ambiente a cada ciclo de passada em longa duração (~500ms) ou em todos os passos em curta duração (~250ms). Apesar da baixa duração das amostragens visuais, este período foi suficiente para extrair diretamente informação de movimento (PATLA, 1997). A preocupação na escolha das frequências de amostragens visuais estáticas no presente estudo foi garantir uma quantidade suficiente de amostras visuais estáticas. Considerando as estratégias de amostragem visual, encontradas no estudo de Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996), e os valores médios da duração das passadas em adultos jovens (uma passada por segundo; WINTER, 1987), as frequências de 2Hz e 4Hz foram estabelecidas. Assim sendo, quando os participantes se aproximam do obstáculo (~1 passada/segundo), a condição de amostragem visual estática de 4Hz fornece aproximadamente 2 amostras visuais por

passo e a condição de amostragem visual estática de 2Hz fornece aproximadamente 1 amostra visual por passo. A duração de cada flash é menor do que 16ms e não varia de acordo com a frequência de amostragem.

A segunda variável independente foi a altura do obstáculo. As duas alturas de obstáculo foram escolhidas considerando as exigências de modulação. O obstáculo correspondente à altura do joelho solicita maior demanda biomecânica, especialmente em relação ao controle dos segmentos corporais, quando comparado com o obstáculo na altura do tornozelo, onde as modulações requeridas do sistema efetor são menores. Patla, Prentice e Gobbi (1996) relataram os efeitos da escala corporal do indivíduo na decisão de ultrapassar ou desviar obstáculos de diferentes alturas. Quando a altura do obstáculo corresponde à altura do joelho, o sistema locomotor é elevado a um estado crítico, aumentando a demanda da tarefa e possibilitando maiores riscos de fracasso. Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996) também observaram que obstáculos altos exigiram maior demanda de amostragem visual quando comparados a obstáculos baixos. A outra altura do obstáculo, correspondente à altura do tornozelo, caracteriza-se por uma altura facilmente encontrada na locomoção cotidiana e, normalmente, não requer tomada de decisão sobre ultrapassar ou desviar. Manipulando estas duas variáveis independentes, este estudo avança no conhecimento de como a demanda da tarefa pode afetar o comportamento locomotor adaptativo quando o fluxo óptico está ausente.

Assim, adultos jovens foram convidados a andar e ultrapassar um dos obstáculos nas diferentes condições de amostragem visual. Para verificar a contribuição da amostragem visual na tarefa locomotora de ultrapassar obstáculo, o comportamento

locomotor foi avaliado na fase de aproximação do obstáculo e durante sua ultrapassagem.

Na fase de aproximação, o comprimento dos dois passos anteriores ao obstáculo (P2UT e P1UT) foi medido para observar o controle dos ajustamentos do comprimento dos passos.

Na fase de ultrapassagem do obstáculo, foram obtidas as distâncias dos pés ao obstáculo (horizontal: DHPO e vertical: DVPO) que permitem avaliar o comportamento preparatório para a ultrapassagem e a margem de segurança sobre o obstáculo respectivamente. As velocidades médias horizontais das pernas de abordagem e de suporte (VMpa e VMps) foram medidas para verificar os efeitos nos parâmetros espaço-temporais.

A distância do ponto de partida ao obstáculo foi fixada em cinco metros para todos os participantes. As variáveis dependentes da perna de abordagem e da perna de suporte, independentemente da perna que é selecionada (direita ou esquerda), foram consideradas conjuntamente. Estudos com adultos têm demonstrado relativa consistência na preferência pedal (HART; GABBARD, 1998). Entretanto, Gobbi, Secco e Marins (2001) mostraram que, mesmo após a classificação dos participantes quanto à preferência pedal, não houve correlação entre a preferência pedal e efetiva utilização de uma das pernas como de abordagem e outra como suporte. Se a distância do obstáculo não é personalizada para cada participante, participantes parecem ultrapassar o obstáculo de forma aleatória, evidenciada tanto em ambiente natural (CROSBIE; KO, 2000) quanto em ambiente laboratorial (SPARROW; SHINKFIELD; CHOW; BEGG, 1996; GOBBI; SECCO; MARINS, 2001; PATLA; NIECHWIEJ; RACCO; GOODALE, 2002).

4. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi investigar a contribuição de amostras visuais estáticas e dinâmica na tarefa de ultrapassagem de obstáculos de diferentes alturas.

Mais especificamente objetivou-se verificar os efeitos das amostragens visuais estáticas e dinâmica:

- 1) Nos ajustamentos locomotores antecipatórios (comprimento dos passos) em ambas as alturas de obstáculo;
- 2) Nas relações espaciais (horizontais e verticais) entre os membros inferiores e o obstáculo durante a ultrapassagem em ambas as alturas de obstáculo;
- 3) Nas velocidades médias das pernas de abordagem e de suporte durante a ultrapassagem em ambas as alturas de obstáculo.

5. HIPÓTESES

H1: Amostragens visuais estáticas e a altura do obstáculo influenciam os comprimentos dos passos na fase de aproximação do obstáculo (P2UT e P1UT);

H2: Amostragens visuais estáticas aumentam a amplitude de ultrapassagem, refletida nas variáveis DHPO e DVPO, tanto para a perna de abordagem quanto para a perna de suporte, independentemente da altura do obstáculo;

H3: Amostragens visuais estáticas e altura do obstáculo influenciam a velocidade média de ultrapassagem.

6. MATERIAL E MÉTODO

Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências/UNESP/Rio Claro (ANEXO 1).

6.1. Participantes

Participaram deste estudo 10 voluntários adultos jovens de ambos os gêneros. O grupo foi constituído de alunos de graduação, pós-graduação da UNESP e da comunidade de Rio Claro. A caracterização dos participantes, em termos de idade, gênero, estatura e massa corporal, é apresentada na Tabela 1. Nenhum participante apresentou comprometimento neuromuscular ou prejuízos visuais não supridos com o uso de lentes corretivas e também não relataram histórico de manifestações convulsivas ou tonturas em ambientes estroboscópicos.

Tabela 1. Gênero (M/F), idade (meses), estatura (cm) e massa corporal (kg) de cada participante e valores médios e de desvio padrão (DP) para idade, estatura e massa corporal.

Participante	Gênero	Idade (meses)	Estatura (cm)	Massa (kg)
A	F	256	167	64,8
B	F	270	162,5	48,5
C	F	275	153,5	44,3
D	F	279	162	47,1
E	F	276	162	57,9
F	M	312	163,5	59,4
G	M	300	165	55,8
H	M	278	173	66
I	M	283	167	70
J	M	284	170	64,5
Média		281	164,55	57,83
DP		15	5,31	8,82

6.2. Ambiente e instrumentos para coleta e análise dos dados

Os dados dos participantes foram coletados na sala de coletas do Laboratório de Estudos da Postura e da Locomoção (LEPLO), Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências, UNESP – Campus de Rio Claro. A sala é constituída de piso liso e regular e suas dimensões (8 metros X 10 metros) foram ideais para a realização do protocolo experimental. Panos pretos opacos foram fixados nas janelas e portas para minimizar possíveis fontes luminosas externas que impedissem ou prejudicassem o efeito da luz estroboscópica.

Um par de sapatilhas elásticas e antiderrapantes revestidas com velcro formou a vestimenta dos participantes (FIGURA 1). As sapatilhas possibilitaram firmeza na fixação dos marcadores nos pontos articulares do pé. Diodos emissores de luz (LED's), com bateria independente, foram construídos especificamente para esta pesquisa (MENCHI; MENCHI, 2004; para detalhes ver APÊNDICE 1).



Figura 1. Fotografia das sapatilhas antiderrapantes e do posicionamento dos diodos.

O ambiente experimental compreendeu quatro filmadoras digitais de vídeo (marca JVC, modelo GR – DVL 9800) que foram distribuídas em pares nos dois lados do obstáculo e realizaram a captura dos deslocamentos dos LED's (FIGURA 2). Cada par de câmeras possibilitou uma análise tri-dimensional dos diodos de cada pé, sendo que as câmeras 1 e 2 captaram o pé esquerdo e as câmeras 3 e 4 o pé direito. As imagens foram armazenadas em fitas Mini-DV para posterior análise.

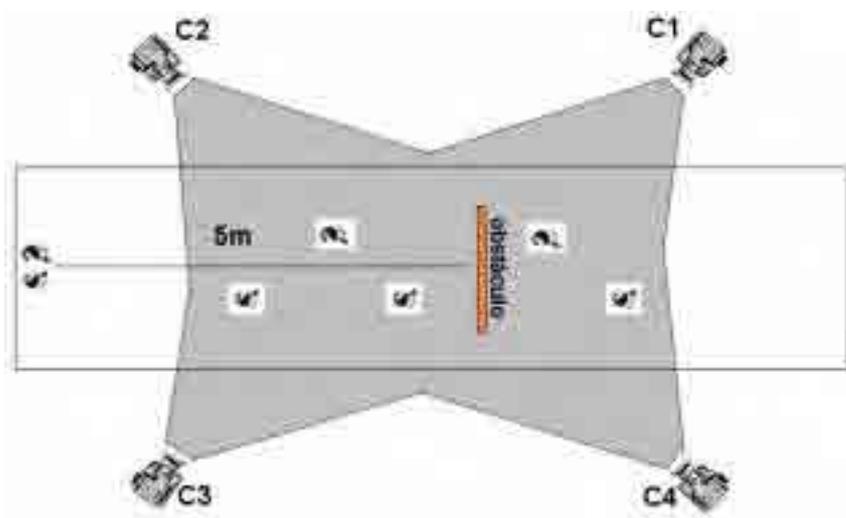


Figura 2. Desenho ilustrativo do ambiente experimental: posicionamento das câmeras, do obstáculo e indicação do ponto de início da locomoção. A área sombreada representa a zona de captura. C1, C2, C3 e C4 representam as câmeras filmadoras. C1 e C2 capturaram o plano sagital esquerdo e C3 e C4 capturaram o plano sagital direito.

As imagens foram capturadas por uma placa de vídeo (marca PINNACLE, modelo Studio DV, versão 1.05.307) acoplada a um computador (Pentium 4/ CPU 240Ghz/ 1.60Ghz/ 512MB de RAM). Cada tentativa foi enumerada através de dois cadernos classificatórios visíveis para os dois pares de filmadora. Uma armação metálica com a forma de um paralelogramo (975mm X 560mm X 720mm) foi empregada para calibrar a zona de captura. O procedimento fotogramétrico foi realizado pelo software Digital Video for Windows (Laboratório de Biomecânica e Instituto de Computação – Unicamp, 1998 – versão 5.1; BARROS; BRENNIKOFER; LEITE; FIGUEROA, 1999). Para os cálculos das variáveis foi utilizado o software MATLAB (The Matworks Inc., 1998 – versão 5.3).

A manipulação da frequência de amostragens visuais foi realizada por meio de uma luz estroboscópica (marca Party Light PL50; típica em casas noturnas), com regulagem analógica demarcada (FIGURA 3). A verificação da consistência das frequências manipuladas foi possível por meio de um contador de pulso, um voltímetro e um cronômetro. O voltímetro foi utilizado para avaliar a magnitude da voltagem em cada frequência. O contador de pulso e a marcação do tempo cronometrado registraram os disparos por minuto. Além disso, uma filmadora digital a 120Hz foi posicionada ao lado da caixa de suporte da luz para capturar o sinal de áudio disparado pelo relé de tempo. Através destes sinais foi confirmada a consistência dos intervalos entre os flashes (~500ms para 2Hz e ~250ms para 4Hz). Este procedimento foi repetido em 5 outras oportunidades e obteve-se resultados semelhantes. A duração da luz estroboscópica foi verificada, utilizando uma filmadora digital a 120Hz, por meio da quantidade de quadros em que o ambiente está iluminado por um flash e determinada

como sendo menor que 16ms. A luz foi posicionada no teto do laboratório exatamente sobre o obstáculo.



Figura 3. Vista frontal da luz estroboscópica.

Os obstáculos (FIGURA 4), de *eucadur* liso, têm 60 cm de comprimento e a altura varia de 5 a 60 cm (de 5 em 5 cm). As alturas de obstáculos foram personalizadas para cada participante, sendo o obstáculo baixo correspondente à altura do tornozelo e o obstáculo alto à altura do joelho. Uma claquete foi utilizada para sincronização das quatro filmadoras.

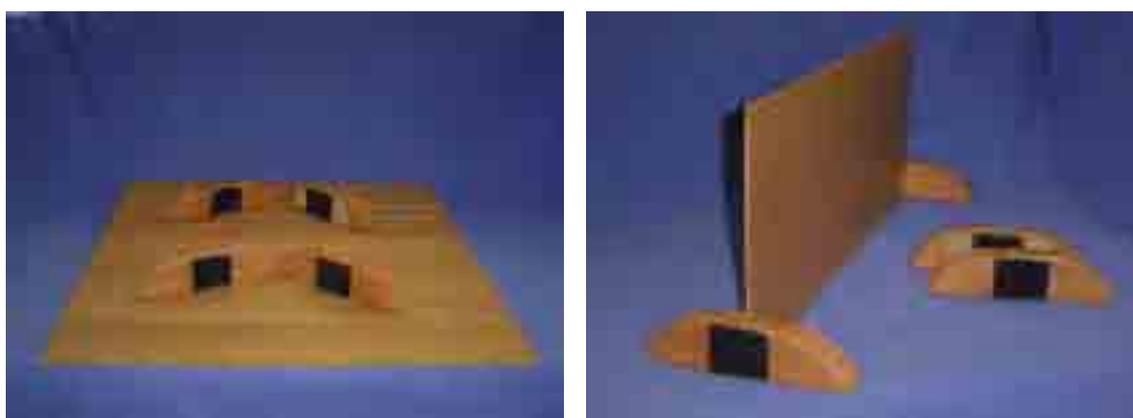


Figura 4. Ilustração dos obstáculos e as bases de suporte

6.3. Procedimentos

Cada participante, individualmente, compareceu ao Laboratório de Estudos da Postura e da Locomoção (LEPLO), Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências, UNESP – Campus de Rio Claro. Neste local, foi informado acerca dos procedimentos experimentais aos quais seria submetido e, após assinar um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE 2), foi convidado a realizar o seguinte protocolo:

1) *Medidas antropométricas.* A massa corporal e a estatura foram obtidas em uma balança WELMY modelo nº 110, com toeza, com precisão de 100g para massa e 0,5cm para estatura. O comprimento dos segmentos do membro inferior foi obtido por meio de uma fita métrica. O comprimento da perna compreendeu a distância entre o epicôndilo lateral do joelho e o maléolo lateral da fíbula. O comprimento da coxa compreendeu a distância entre o trocânter maior do fêmur e o epicôndilo lateral do joelho. A altura do tornozelo foi obtida pela distância entre o maléolo lateral da fíbula e o solo. O comprimento do membro inferior (somatória da altura do tornozelo, comprimento da perna e comprimento da coxa) foi utilizado para a normalização dos dados. A altura do tornozelo e a somatória da altura do tornozelo e o comprimento da perna foram empregados para personalizar as alturas do obstáculo.

2) *Tarefa:* o participante foi instruído a percorrer andando, em sua velocidade preferida, uma distância de 5 metros, ultrapassar um obstáculo e continuar andando por mais 3 metros. Os participantes iniciaram a tentativa após um dos avaliadores sinalizar duas vezes com a claquete. As tentativas foram apresentadas combinando condições de amostragem visual (estáticas: 2 amostras/segundo e 4 amostras/segundo e amostragem dinâmica) e altura do obstáculo (baixo e alto), em 5 tentativas por condição, totalizando

30 tentativas. A iluminação normal do laboratório permitiu a amostragem dinâmica e a luz estroboscópica propiciou as frequências de 2 e 4Hz para amostragens estáticas. Algumas tentativas iniciais foram realizadas para adaptação do participante à sapatilha e à tarefa, todas com iluminação normal. Após percorrer andando os 8m, as luzes do laboratório foram acesas para o retorno ao ponto inicial. Os participantes foram instruídos a iniciarem e/ou ultrapassarem o obstáculo com a perna que desejassem.

As tentativas foram realizadas em dois blocos. O primeiro bloco constituiu das tentativas com amostragem dinâmica que foram randomizadas apenas para obstáculo (10 tentativas). O segundo bloco constituiu nas tentativas de amostragens estáticas que foram randomizadas tanto para frequência como para obstáculo (20 tentativas). Não houve intervalo pré-determinado entre os blocos e entre as tentativas, mas foram concedidos intervalos quando requisitados pelo participante.

6.4. Coleta e análise de dados

6.4.1. Filmagens

Para as filmagens, foram utilizadas 4 filmadoras digitais, fixadas em tripés. As filmadoras operaram a uma frequência de 60Hz, com foco manual e velocidade de abertura do obturador (*shutter*) de 1/250. A configuração da velocidade de abertura do obturador foi necessária para manter a qualidade das imagens devido à intensidade de luz dos diodos emissores de luz (para detalhes ver MENUCHI; MENUCHI, 2004). Antes de iniciar as tentativas, foi filmado, por 5 segundos, o calibrador (armação metálica com dimensões conhecidas) com uma de suas bases no local correspondente à colocação do obstáculo (FIGURA 5). Após retirar o calibrador, um obstáculo, com

LED's fixados bilateralmente em sua base, foi filmado para obter sua localização precisa (*stand bias*). Esta localização foi fixa, previamente demarcada e utilizada para posicionamento do obstáculo em todas as tentativas de cada participante. A tentativa *stand bias* foi necessária porque os LED's do obstáculo foram retirados durante a coleta dos dados para impedir a identificação da posição do obstáculo, especialmente no segundo bloco de tentativas. Os participantes foram identificados por uma letra do alfabeto e cada tentativa foi enumerada de 1 a 30, por meio de dois cadernos classificatórios visíveis para os dois pares de filmadoras.

6.4.2. Captura, medição e sincronização das imagens

Para a análise das imagens, foram capturadas apenas as seqüências de imagens de cada tentativa, ficando armazenadas no computador na forma de arquivos AVI (*Audio Video Interlece*). Após a captura, por meio do software Dvideow foram realizados o desentrelaçamento dos campos (*fields*) e a compactação das imagens pelo compactador *Indeo video 5.11*, permitindo, assim, que estes novos arquivos de vídeo pudessem ser visualizados em qualquer computador. O mesmo software realizou as medições dos diodos quadro a quadro e a sincronização das imagens. Para a sincronização, foi necessária a identificação dos sinais sonoros da claquete anterior a cada tentativa (quadros correspondentes nas 4 filmadoras). Estes eventos foram identificados por meio do sinal de áudio e confirmados visualmente pela imagem.

Dentre as 300 tentativas possíveis, 287 foram analisadas. Destas, 10 tentativas impossibilitaram identificar os pontos luminosos dos LED's e em 3 tentativas não houve nitidez na imagem capturada.

6.4.3. Calibração

Medidas de acurácia foram realizadas para verificar se o espaço adjacente ao calibrador mantinha os mesmos valores de precisão da área central do calibrador. Para ambos os pares de câmeras, os valores de acurácia foram de $\sim 3\text{mm}$ na área central do calibrador e ~ 4 a 5mm nos espaços adjacentes, satisfazendo as exigências de precisão.

O calibrador continha 8 diodos fixados próximos de seus vértices (FIGURA 5). Por meio de uma trena foram medidas as distâncias entre cada marca no espaço real. O primeiro ponto medido foi determinado como a origem ($x = 0$, $y = 0$ e $z = 0$) deste sistema e, assim, todos os outros pontos tiveram suas coordenadas, referenciadas a esta origem. O eixo “y” foi determinado como sendo na direção vertical, orientado para cima. O eixo “x” foi orientado na horizontal, na direção do caminho a ser percorrido, sendo ortogonal ao eixo “y”. O eixo “z” foi definido como produto vetorial de “x” por “y”, na direção médio-lateral. As imagens do calibrador também foram capturadas, desentrelaçadas e suas 8 marcas de dimensões reais conhecidas foram medidas, obtendo-se assim, os arquivos de calibração (arquivos no formato “.cal”) para as imagens de cada câmera.

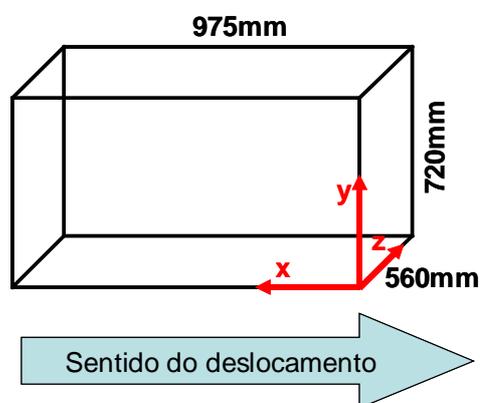


Figura 5. Representação esquemática do calibrador. As dimensões do paralelogramo (975mm, 560mm, 720mm) e a orientação adotada (y vertical; x ântero-posterior; z médio-lateral).

6.4.4. Reconstrução tridimensional e matriz de dados

Medidas e calibradas as imagens das câmeras de cada tentativa, obteve-se coordenadas bidimensionais, contendo as coordenadas em “x” e “y” (espaço bidimensional) dos pontos medidos quadro a quadro. Como o movimento humano ocorre em um espaço tridimensional, realizou-se a reconstrução tridimensional dos pontos medidos, utilizando o método da transformação linear direta (*Direct Linear Transformation* - DLT). O DLT é um método de equações aplicado para quantificar os parâmetros da reconstrução (BARROS; BRENNIKOFER; LEITE; FIGUEROA, 1999). Após este processo, matrizes de dados contendo coordenadas “x”, “y” e “z” (espaço tridimensional) dos pontos medidos em função do tempo foram obtidas.

6.4.5. Cálculo das variáveis dependentes

Para a análise cinemática, 2 LED's foram fixados nos seguintes pontos anatômicos de cada pé: quinta articulação metatarsofalangeana e face lateral do calcâneo. As coordenadas x, y e z de cada LED foram filtradas utilizando o filtro digital de Butterworth de 4ª ordem a uma frequência de corte de 5 Hz. Por meio da velocidade vertical dos LED's foram identificados os eventos: contato do calcanhar e retirada do pé em relação ao solo. Estes eventos foram identificados tanto para a perna de abordagem (PA), quanto para a perna de suporte (PS). A PA foi definida como a primeira perna a ultrapassar o obstáculo e PS foi definida como a segunda perna a ultrapassar o obstáculo. O deslocamento vertical dos LED's foi empregado para confirmação dos eventos. A partir destes eventos foram determinadas as seguintes variáveis dependentes (FIGURAS 6A e 6B):

Fase de aproximação: Descreve os ajustamentos locomotores antecipatórios:

- (1) Comprimento do segundo passo antes da abordagem ao obstáculo (P2UT): medido pela diferença das coordenadas em x entre o 5º metatarso da PS e o calcanhar da PA, no momento em que o calcanhar da PA toca o solo dois passos antes do obstáculo;
e
- (2) Comprimento do primeiro passo antes da abordagem ao obstáculo (P1UT): medido pela diferença das coordenadas em x entre o 5º metatarso da PA e o calcanhar da PS, no momento em que o calcanhar da PS toca o solo um passo antes do obstáculo.

Fase de ultrapassagem: Descreve o comportamento em relação ao obstáculo. Estas variáveis foram calculadas tanto para a perna de abordagem quanto para a perna de suporte:

- (3) Distância horizontal pé-obstáculo (DHPOpa e DHPOps): medida pela diferença das coordenadas em x entre o obstáculo e o 5º metatarso, no momento em que o pé perde contato do solo para abordar o obstáculo;
- (4) Distância vertical pé-obstáculo (DVPOpa e DVPOps): medida pela diferença das coordenadas em y entre o 5º metatarso e a extremidade superior do obstáculo, no momento em que o 5º metatarso está alinhado verticalmente sobre o obstáculo;
- (5) Velocidade média de ultrapassagem (VMpa e VMps): medida pela razão entre a somatória de DHPO e DHOP pelo tempo gasto.

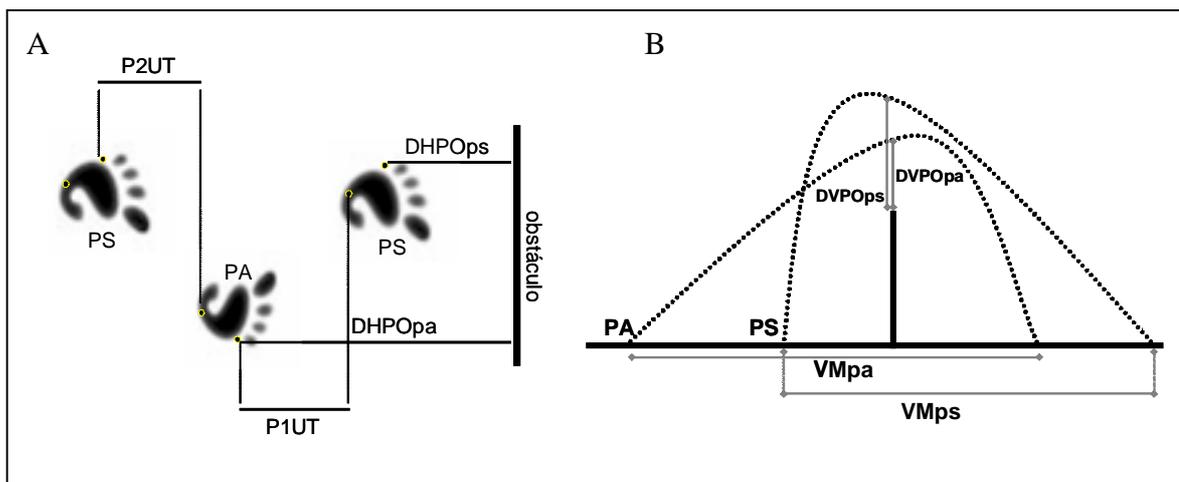


Figura 6. A: Representação esquemática, vista superior, das variáveis dependentes (P2UT, P1UT, UT, DHPOpa, DHPOps). B: Representação esquemática, vista lateral, das variáveis dependentes (DVPOpa, DVPOps, VMpa, VMps). Perna de abordagem (PA) e perna de suporte (PS).

6.5. Análise estatística

As variáveis dependentes P2UT e P1UT foram normalizadas pelo comprimento do membro inferior (razão entre o dado bruto e o comprimento do membro inferior) e estão apresentadas graficamente em porcentagem do membro inferior. Este procedimento foi adotado para minimizar as diferenças individuais que podem ser encontradas pela relação antropométrica dos participantes (WINTER, 1987; HOF, 1996). As variáveis dependentes DHPO e DVPO não foram normalizadas porque a altura do obstáculo foi personalizada às características antropométricas individuais.

Inicialmente, uma Análise de Variância (ANOVA) *one way*, para cada condição, foi conduzida para a variável dependente DVPOpa para verificar se houve efeito de tentativa. Considerando que esta variável indica a margem de segurança adotada na ultrapassagem do obstáculo, sua função é crítica para o sucesso na tarefa. Em todas as condições não foi evidenciado efeito de tentativa na DVPOpa (luz normal com obstáculo baixo: $F_{4,42} = 0,235$, $p = 0,917$; luz normal com obstáculo alto: $F_{4,43} = 0,055$, p

= 0,994; luz a 4Hz com obstáculo baixo: $F_{4,44} = 0,253$, $p = 0,906$; luz a 4Hz com obstáculo alto: $F_{4,41} = 0,218$, $p = 0,927$; luz a 2Hz com obstáculo baixo: $F_{4,44} = 0,187$, $p = 0,944$; luz a 2Hz com obstáculo alto: $F_{4,42} = 0,337$, $p = 0,852$).

Com base nestes resultados, a média das tentativas de cada participantes em cada condição foi calculada para cada variável dependente. Assim sendo, os valores médios de cada variável dependente foram estatisticamente tratados por meio de ANOVA *two way*, tendo como fatores as condições de amostragem visual em três níveis (luz normal: LN, dois flashes/segundo: 2Hz e quatro flashes/segundo: 4Hz) e as condições de obstáculo em dois níveis (obstáculo baixo: OB e obstáculo alto: OA). Os fatores foram tratados como medidas repetidas. O método de Tukey foi empregado quando a ANOVA evidenciou efeito principal de amostragem visual ou interação entre os fatores.

Todo o procedimento estatístico foi realizado utilizando o programa SPSS (SPSS for Windows, versão 6.1) e o nível de significância foi mantido em 0,05.

7. RESULTADOS

Os resultados são apresentados em duas partes. A primeira parte apresenta os valores dos parâmetros obtidos em cada condição experimental onde, de forma descritiva, o comportamento locomotor foi documentado pela perna utilizada para abordar o obstáculo, pelos parâmetros espaciais e a velocidade média horizontal da ultrapassagem. A segunda parte descreve os efeitos principais e as interações entre as condições de amostragens visuais e altura do obstáculo.

7.1 Estratégias adaptativas

7.1.1 Perna de abordagem

A distância entre o ponto de partida e o obstáculo não foi personalizada, mas fixada em cinco metros para todos os participantes. Assim, foi possível observar a perna utilizada para abordar e suportar a ultrapassagem do obstáculo para cada participante em cada bloco de tentativas. A TABELA 2 apresenta a quantidade de tentativas em que a perna direita ou esquerda foi utilizada para abordar o obstáculo e o número de trocas correspondente às mudanças de perna durante os dois blocos de tentativas. O primeiro bloco constituiu de 10 tentativas na condição de amostragem visual dinâmica, sendo que

a ordem de apresentação das alturas do obstáculo foi randomizada. O segundo bloco constituiu de 20 tentativas onde as condições de amostragens visuais estáticas e de altura de obstáculo foram randomizadas.

Tabela 2. Distribuição das tentativas, por participante, de acordo com a perna utilizada para abordagem do obstáculo e número de trocas de perna por bloco.

Participante	Perna de abordagem		Trocas de perna por bloco	
	Esquerda	Direita	Primeiro	Segundo
A	28	2	1	0
B	8	22	3	6
C	15	15	5	7
D	5	24	1	0
E	15	13	4	7
F	0	28	0	0
G	16	11	1	6
H	26	3	0	2
I	22	7	3	7
J	23	4	3	5
Total	158	129	21	40

No geral, em 55% das tentativas foi selecionada a perna esquerda para abordagem do obstáculo (primeira perna a ultrapassar o obstáculo) e em 45% delas a perna direita foi selecionada para abordagem. Apenas o participante F realizou todas as tentativas com a mesma perna. Os demais variaram aleatoriamente durante as 30 tentativas. Proporcionalmente, o número de trocas realizadas em ambos os blocos foi semelhante. Os participantes F e H não realizaram nenhuma troca no primeiro bloco e os participantes A, D e F no segundo bloco. Os participantes C e E realizaram o maior número de trocas no primeiro bloco e os participantes C, E e I no segundo bloco.

7.1.2 Fase de aproximação e ultrapassagem

A descrição das variáveis dependentes espaciais durante a fase de aproximação (P2UT e P1UT) e ultrapassagem do obstáculo (DHPO e DVPO) em cada condição experimental é apresentada na FIGURA 7.

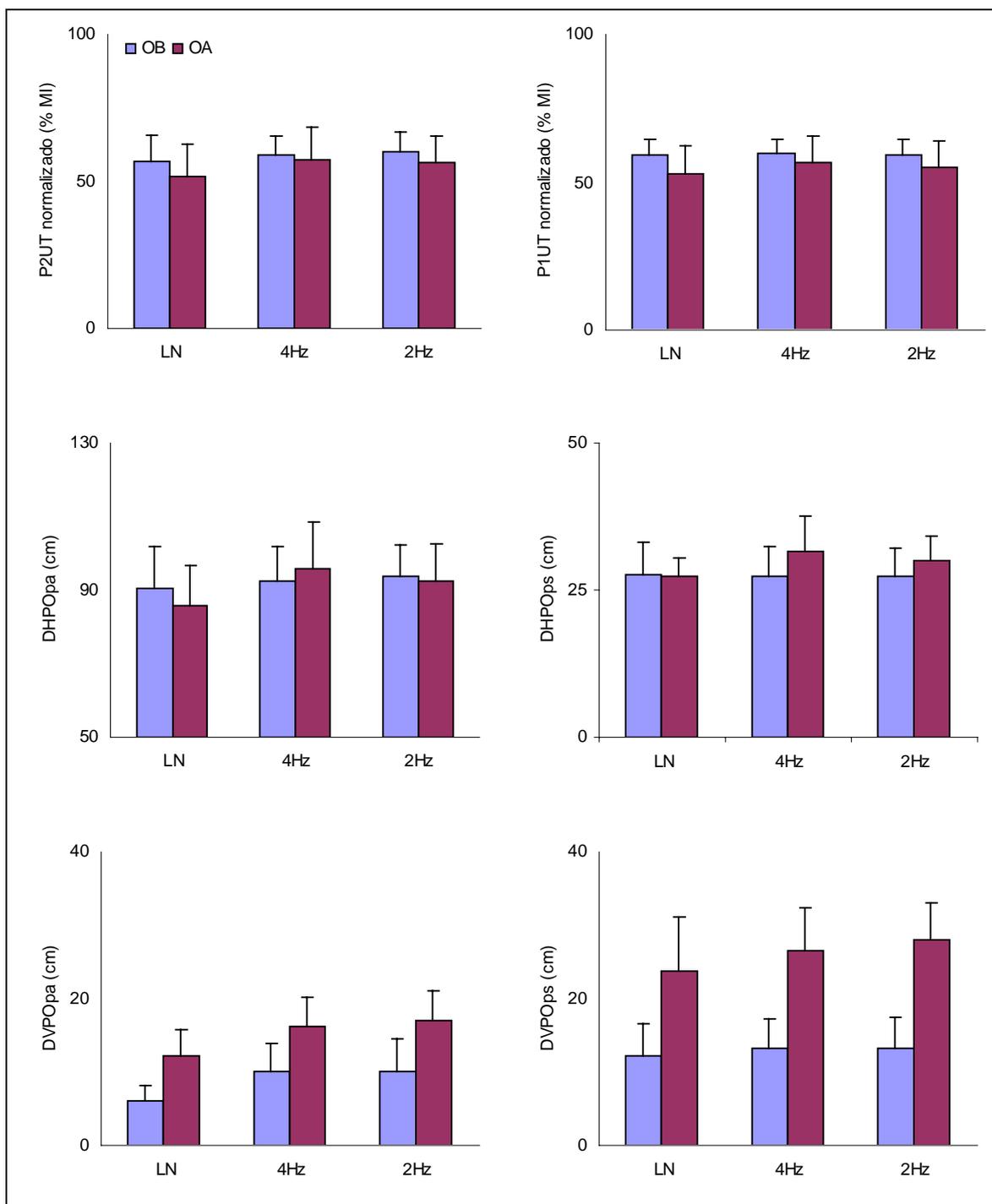


Figura 7. A: Médias e Desvios padrão do P2UT normalizado, P1UT normalizado, DHPO e DVPO como uma função da amostragem visual e altura do obstáculo. *P2UT*: antepenúltimo passo antes da ultrapassagem; *P1UT*: último passo antes da ultrapassagem; *DHPO*: distância horizontal pé-obstáculo; e *DVPO*: distância vertical pé-obstáculo. *LN*: Luz normal (amostragem visual dinâmica); *2Hz*: amostragem visual estática a 2 flashes/segundo; e *4Hz*: amostragem visual estática a 4 flashes/segundo. *OB*: obstáculo baixo; e *OA*: obstáculo alto.

7.2 Efeitos principais e de interação

A TABELA 3 apresenta os valores de F e o nível de significância para cada variável dependente calculada.

Tabela 3. Valores de F encontrados, graus de liberdade e níveis de significância para efeito principal de amostragem visual ou altura do obstáculo e interação entre amostragem visual e altura do obstáculo por variável dependente. O asterisco indica diferença significativa.

Parâmetros	Amostragem visual	Altura do obstáculo	Interação
P2UT norm	$F_{2,18} = 3,790; p < 0,04^*$	$F_{1,9} = 4,539; p = 0,062$	$F_{2,18} = 0,904; p = 0,42$
P1UT norm	$F_{2,18} = 1,431; p = 0,26$	$F_{1,9} = 4,544; p = 0,26$	$F_{2,18} = 1,502; p = 0,24$
DHPOpa	$F_{2,18} = 7,304; p < 0,005^*$	$F_{1,9} = 0,140; p = 0,71$	$F_{2,18} = 2,366; p = 0,12$
DHPOps	$F_{2,18} = 1,827; p = 0,19$	$F_{1,9} = 2,547; p = 0,14$	$F_{2,18} = 4,627; p < 0,02^*$
DVPOpa	$F_{2,18} = 54,221; p < 0,001^*$	$F_{1,9} = 28,614; p < 0,001^*$	$F_{2,18} = 0,966; p = 0,4$
DVPOps	$F_{2,18} = 3,117; p = 0,06$	$F_{1,9} = 69,637; p < 0,001^*$	$F_{2,18} = 1,527; p = 0,24$
VMpa	$F_{2,18} = 0,855; p = 0,44$	$F_{1,9} = 85,806; p < 0,001^*$	$F_{2,18} = 0,535; p = 0,59$
VMps	$F_{2,18} = 0,866; p = 0,43$	$F_{1,9} = 111,990; p < 0,001^*$	$F_{2,18} = 0,468; p = 0,63$

Para P2UT normalizado, a ANOVA identificou efeito principal de amostragem ($F_{2,18} = 3,790; p < 0,04$). O método de Tukey identificou a diferença entre a condição de amostragem visual dinâmica e as duas condições de amostragens visuais estáticas. Não foi identificada diferença entre as condições de amostragens visuais estáticas de 4Hz e 2Hz. Nas condições de amostragens visuais estáticas (4 e 2Hz), os participantes aumentaram o passo em ~5% do comprimento do membro inferior quando comparados com a condição de amostragem visual dinâmica (FIGURA 8). Não foi evidenciado efeito principal de obstáculo ($F_{1,9} = 4,539; p = 0,062$) e interação entre amostragem e obstáculo ($F_{2,18} = 0,904; p = 0,42$).

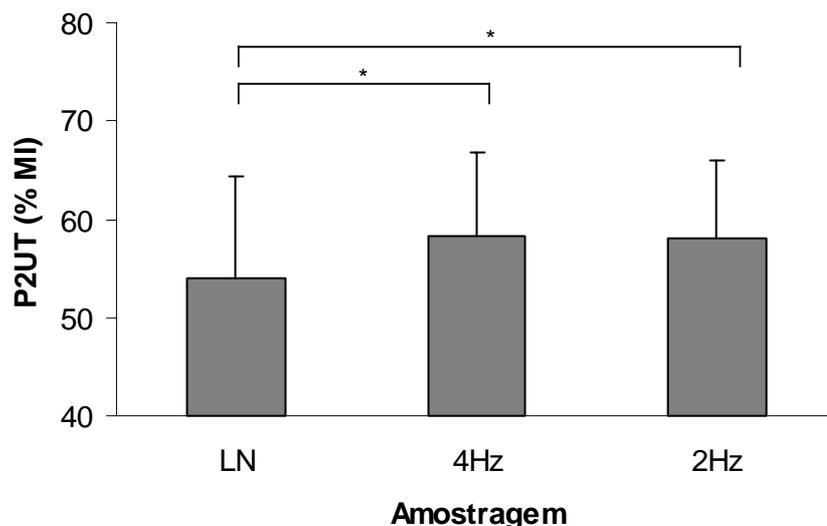


Figura 8. Médias e desvios padrão de P2UT normalizado e representado pela porcentagem do comprimento do membro inferior por condição de amostragem visual. O asterisco indica diferenças significativas obtidas pelo teste de Tukey (LN amostragem visual dinâmica, 4Hz amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, 2Hz amostragem visual estática a 2 flashes/segundo).

Para P1UT, nenhum efeito principal ou interação entre os fatores foram identificados.

Para DHPOpa, a ANOVA evidenciou efeito principal de amostragem ($F_{2,18}=7,304$; $p < 0,005$). O método de Tukey identificou a diferença entre a condição de amostragem visual dinâmica e as duas condições de amostragens visuais estáticas. Não foi identificada diferença entre as condições de amostragens visuais estáticas de 4Hz e 2Hz. Nas condições de amostragens visuais estáticas (4 e 2Hz), os participantes aumentaram a DHPO da perna de abordagem em aproximadamente 7cm quando comparados com a condição de amostragem visual dinâmica (FIGURA 9). A ANOVA não revelou efeito principal de obstáculo ($F_{1,9} = 0,140$; $p = 0,71$), ou interação entre os fatores amostragem e obstáculo ($F_{2,18} = 2,366$; $p = 0,12$).

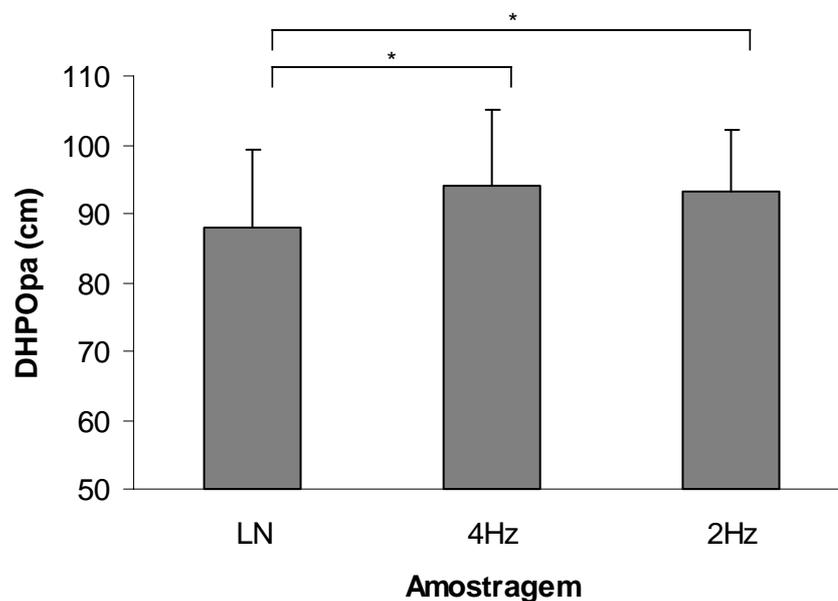


Figura 9. Médias e desvios padrão da DHPOpa. O *asterisco* indica diferenças significativas obtidas pelo teste de Tukey (*LN* amostragem visual dinâmica, *4Hz* amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, *2Hz* amostragem visual estática a 2 flashes/segundo).

Para DHPOps, a ANOVA não revelou efeito principal de amostragem ($F_{2,18} = 1,827$, $p = 0,190$) e obstáculo ($F_{1,9} = 2,547$, $p = 0,145$). Entretanto, revelou interação entre os fatores de amostragem e obstáculo ($F_{2,18} = 4,627$, $p < 0,02$; FIGURA 10). O método de Tukey identificou as diferenças entre obstáculo baixo e obstáculo alto nas condições de amostragens visuais estáticas. Na condição de amostragem visual dinâmica, a DHPO da perna de suporte não é diferente quanto à altura do obstáculo. Durante as condições de amostragens visuais estáticas, a perna de suporte foi posicionada aproximadamente 4cm mais distante quando o obstáculo alto foi apresentado (FIGURA 10).

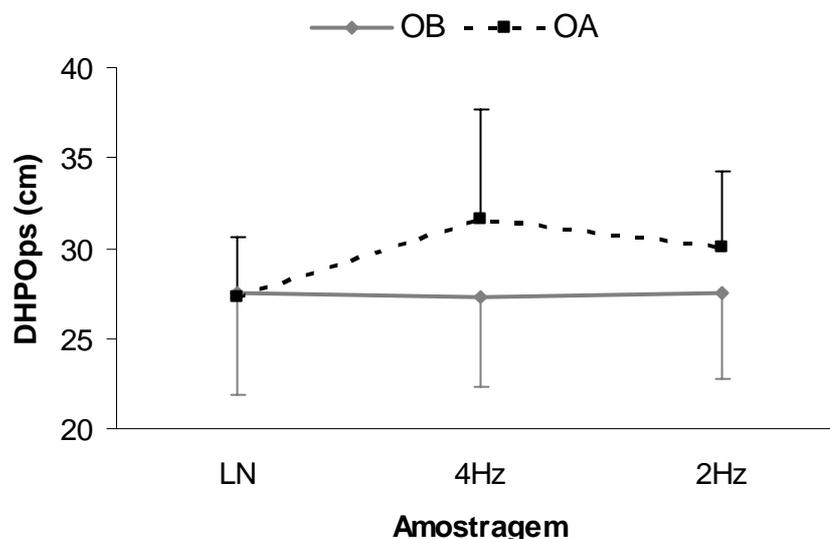


Figura 10. Médias e desvios padrão da DHPOps nas condições de amostragem visual e obstáculo. As linhas contínua e tracejada representam as condições de obstáculo baixo e alto respectivamente (LN amostragem visual dinâmica, 4Hz amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, 2Hz amostragem visual estática a 2 flashes/segundo; OB obstáculo baixo, OA obstáculo alto).

Para DVPOpa, a ANOVA identificou efeito principal de amostragem ($F_{2,18} = 54,221$; $p < 0,001$; FIGURA 11A) e efeito principal de obstáculo ($F_{1,9} = 28,614$; $p < 0,001$; FIGURA 11B). A ANOVA não revelou interação entre amostragem e obstáculo ($F_{2,18} = 0,966$, $p = 0,4$). O método de Tukey identificou a diferença entre a condição de amostragem visual dinâmica e as duas condições de amostragens visuais estáticas. Não foi identificada diferença entre as condições de amostragens visuais estáticas de 4Hz e 2Hz. Nas condições de amostragens visuais estáticas (4 e 2Hz), os participantes aumentaram a DVPO da perna de abordagem em aproximadamente 4cm quando comparados com a condição de amostragem visual dinâmica (FIGURA 11A). Os participantes adotaram uma maior margem de segurança na presença do obstáculo alto. Valores médios de 9cm e 15cm foram identificados para o obstáculo baixo e obstáculo alto respectivamente (FIGURA 11B).

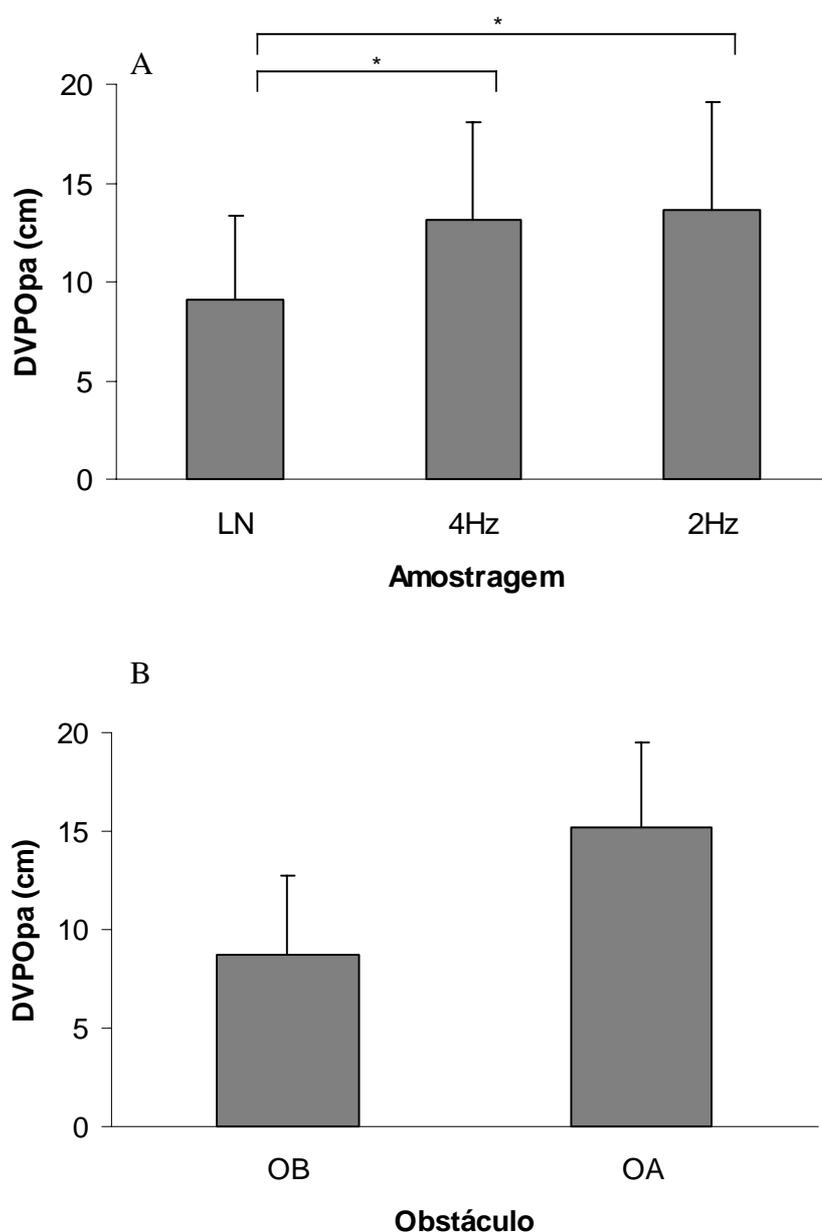


Figura 11. Médias e desvios padrão da DVPOpa. A: nas condições de amostragens visuais. O asterisco indica diferenças significativas obtidas pelo teste de Tukey (LN amostragem visual dinâmica, 4Hz amostragem visual estática a 4 flashes/segundo, 2Hz amostragem visual estática a 2 flashes/segundo). B: nas condições de obstáculo (OB obstáculo baixo, OA obstáculo alto).

Para DVPOps, a ANOVA revelou efeito principal de obstáculo ($F_{1,9} = 69,637$; $p < 0,001$). A ANOVA não revelou efeito principal de amostragem ($F_{2,18} = 3,117$, $p = 0,06$) ou interação entre amostragem e obstáculo ($F_{2,18} = 1,527$, $p = 0,24$). Os participantes adotaram uma maior margem de segurança na presença do obstáculo alto

também para a perna de suporte. Valores médios de 13cm e 26cm foram identificados para o obstáculo baixo e obstáculo alto respectivamente (FIGURA 12).

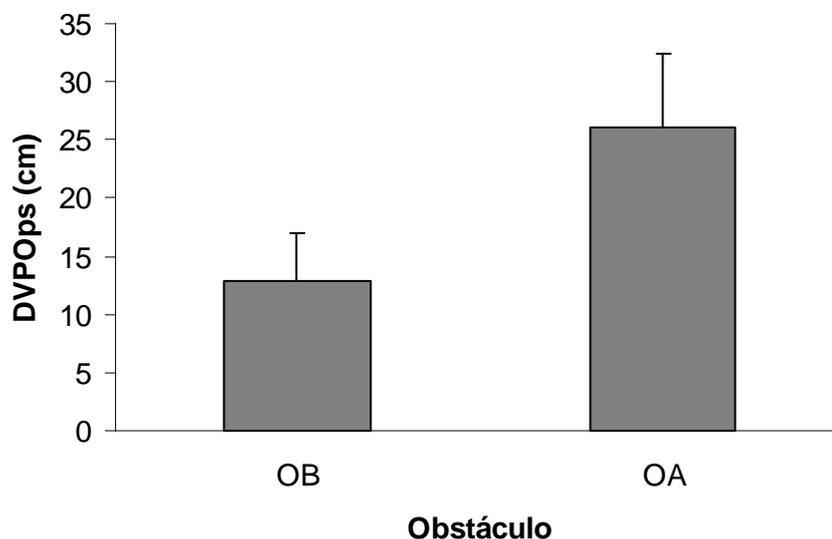


Figura 12. Médias e desvios padrão da DVPOps para a condição de obstáculo (*OB* obstáculo baixo, *OA* obstáculo alto).

Para VMpa, a ANOVA identificou efeito principal de obstáculo ($F_{1,9} = 85,806$, $p < 0,001$). A ANOVA não revelou efeito principal de amostragem ($F_{2,18} = 0,855$; $p = 0,44$) ou interação entre amostragem e obstáculo ($F_{2,18} = 0,535$; $p = 0,59$). Os participantes ultrapassaram o obstáculo alto em menor velocidade horizontal quando comparado com o obstáculo baixo (FIGURA 13A).

Para VMps, a ANOVA revelou efeito principal de obstáculo ($F_{1,9} = 111,990$; $p < 0,001$). A ANOVA não revelou efeito principal de amostragem ($F_{1,9} = 0,866$, $p = 0,43$) ou interação entre amostragem e obstáculo ($F_{1,9} = 0,468$, $p = 0,63$). Semelhante à perna de abordagem, a perna de suporte também ultrapassou o obstáculo alto em menor velocidade horizontal quando comparado com o obstáculo baixo (FIGURA 13B).

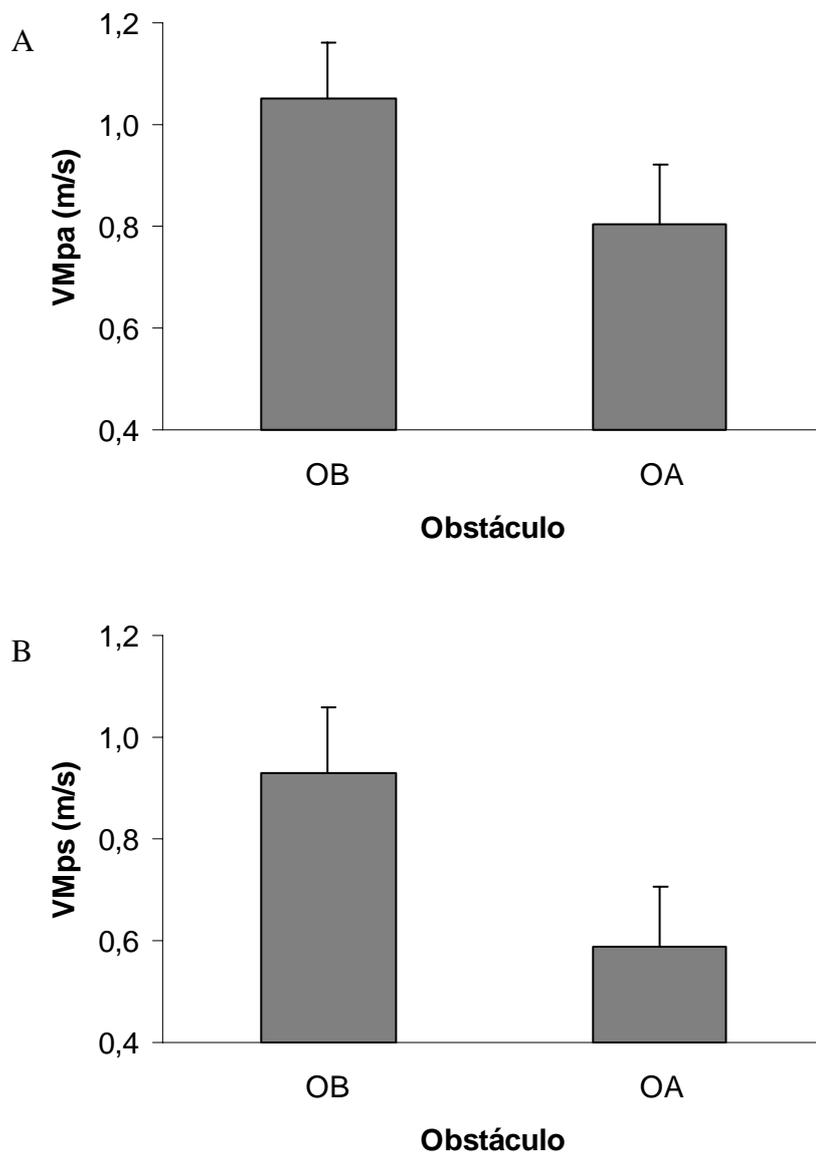


Figura 13. Médias e desvios padrão da velocidade média. A: VMpa e B: VMps (OB obstáculo baixo, OA obstáculo alto).

8. DISCUSSÃO

O protocolo experimental proposto no presente estudo possibilitou verificar a contribuição do fluxo óptico no comportamento locomotor adaptativo. A iluminação estroboscópica possibilitou anular ou minimizar o movimento da imagem visual, isto é, o fluxo óptico, por meio de breves flashes intermitentes de luz.

Para investigar a contribuição da amostragem visual dinâmica nos ajustamentos locomotores antecipatórios e no controle dos membros durante a ultrapassagem de dois obstáculos com diferentes demandas restritivas, o comportamento espacial foi avaliado. Os parâmetros espaciais e as distâncias relativas ao obstáculo durante a ultrapassagem bem como as velocidades médias de ultrapassagem com cada pé foram analisados em termos de estratégia adaptativa. A discussão está então dividida em três grandes partes. Inicialmente é identificada e analisada a estratégia adaptativa adotada pelos participantes na condição de amostragem visual dinâmica. A estratégia de ultrapassagem adotada na condição de amostragem visual dinâmica foi considerada como o desempenho ótimo no contexto laboratorial apresentado e foi denominada de *estratégia dinâmica*. A segunda parte discute os comportamentos observados nas condições de amostragens visuais estáticas e que foram denominados de *estratégias estáticas*. A terceira parte aborda alguns aspectos metodológicos e o leque de

explorações científicas que o paradigma da luz estroboscópica e outras ferramentas de análise podem favorecer o entendimento de como as características ambientais visualmente observáveis são acopladas às mudanças no padrão locomotor.

8.1. Comportamento locomotor adaptativo: uma análise qualitativa.

De forma qualitativa, os participantes mostraram precisa e sistemática adaptação da marcha para ultrapassar o obstáculo. Apenas dois contatos no obstáculo foram evidenciados frente a 300 ultrapassagens filmadas. Para ambas as alturas de obstáculo, a tarefa foi realizada de maneira natural sem ajustamentos abruptos nos passos e na velocidade durante a fase de aproximação ou qualquer outra adaptação não usual durante a ultrapassagem. Estas observações foram visualmente documentadas e favorecem a identificação e interpretação do comportamento locomotor avaliado.

Ambas as pernas foram aleatoriamente selecionadas para abordar o obstáculo (TABELA 2). Este equilíbrio na escolha da perna para abordar o obstáculo tem sido evidenciado em outros estudos em que a distância do obstáculo não é personalizada para cada participante (SPARROW; SHINKFIELD; CHOW; BEGG, 1996; CROSBIE; KO, 2000; GOBBI; SECCO; MARINS, 2001). Recentemente, Patla, Niechwiej, Racco e Goodale (2002) e Patla, Davies e Niechwiej (2004) mostraram que passar com a perna direita ou esquerda não influencia as distâncias relativas ao obstáculo. A perna de abordagem não é determinada a priori, mas sim dependente da configuração do ciclo do passo próximo ao obstáculo, isto é, da relação métrica entre o posicionamento do pé e o obstáculo nos últimos passos (PATLA, 1997).

8.2. Identificando a estratégia adaptativa de ultrapassagem na condição de amostragem visual dinâmica: estratégia dinâmica.

A estratégia dinâmica para ambas as alturas de obstáculo é apresentada e quantitativamente esquematizada na FIGURA 14.

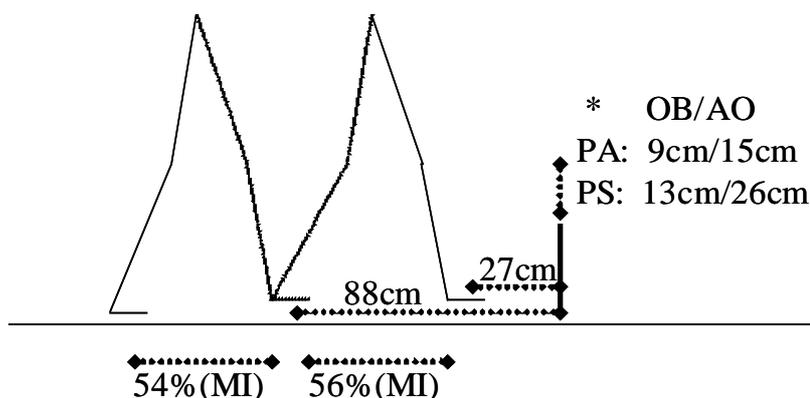


Figura 14. Estratégia dinâmica, representada pelos valores médios dos parâmetros espaciais. Apenas a DVPO de ambas as pernas foram moduladas em função da altura do obstáculo. Os demais parâmetros espaciais (P2UT, P1UT, DHPOpa e DHPOps) permaneceram inalterados. O *asterisco* representa o parâmetro modificado significativamente em função da altura do obstáculo.

Durante a aproximação e a ultrapassagem do obstáculo, apenas a trajetória da ultrapassagem foi modulada em função da altura do obstáculo. Os dois passos anteriores à ultrapassagem não foram afetados pela altura do obstáculo e permaneceram em torno de 55% do comprimento do membro inferior. Chen, Ashton-Miller, Alexander e Schultz (1991) reportaram que em condições normais os ajustamentos antecipatórios raramente ocorrem mais que dois passos antes da ultrapassagem para adultos jovens e mais que três passos para idosos. Patla, Prentice, Robinson e Neufeld (1991) e Patla, Rietdyk, Martin e Prentice (1996) verificaram que a estratégia mais comum usada para negociar com obstáculos é a modulação do comprimento dos dois últimos passos durante a fase de aproximação. De acordo com seus resultados, os participantes tendem a diminuir a

velocidade de aproximação reduzindo o comprimento dos últimos passos antes do obstáculo, sendo mais marcante em obstáculos altos do que em obstáculos baixos. Crosbie e Ko (2000) e Patla, Davies e Niechwiej (2004) demonstraram que, em condições normais, esta redução ocorre de forma gradual e cumulativa entre os passos anteriores ao obstáculo. Entretanto, quando a informação sobre o obstáculo é obtida tardiamente, ajustes podem se concentrar em um único passo (PATLA; PRENTICE; ROBINSON; NEUFELD, 1991). No presente estudo, a estratégia dinâmica foi caracterizada pela semelhança no comprimento médio dos passos (P2UT e P1UT), sugerindo que os ajustamentos antecipatórios foram distribuídos uniformemente entre os passos antecedentes à ultrapassagem. A contribuição dos ajustamentos passo a passo pode ser futuramente verificada considerando o efeito que cada passo possui no passo posterior, como recentemente observado por Patla, Davies e Niechwiej (2004). Os autores coletaram três passos anteriores ao obstáculo e três passos posteriores à ultrapassagem. Para determinar a magnitude dos ajustamentos de cada passo, o comprimento médio de um passo normal de cada participante (medido em condição locomotora sem obstáculo) foi subtraído do valor médio de cada passo durante a fase de aproximação e continuação da ultrapassagem.

Interessante destacar que, na estratégia dinâmica, a altura do obstáculo não afetou o comprimento de P2UT e P1UT. Estes resultados estão de acordo com resultados prévios que têm mostrado que os posicionamentos dos pés antes do obstáculo são estritamente controlados mas independentes da altura do obstáculo (CHEN; ASHTON-MILLER; ALEXANDER; SCHULTZ, 1991; PATLA; RIETDYK, 1993; PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996; AUSTIN; GARRET; BOHANNON, 1999; PATLA; NIECHWIEJ; RACCO; GOODALE, 2002). Desta forma, os participantes

deste estudo se aproximaram do obstáculo alto da mesma forma que se aproximaram do obstáculo baixo. Parece que apenas a posição/distância ao invés da altura do obstáculo foi levada em consideração durante os ajustamentos locomotores antecipatórios, mesmo quando a altura do obstáculo ofereceu maior demanda biomecânica durante a ultrapassagem.

Para uma ultrapassagem eficiente, a DHPO da perna de abordagem e da perna de suporte devem ser suficientes para que a elevação de cada perna durante a ultrapassagem seja tal que não desestabilize o equilíbrio locomotor dinâmico (CHEN; ASHTON-MILLER; ALEXANDER; SCHULTZ, 1991). Os resultados mostraram que tanto a DHPO da perna de abordagem quanto a DHPO da perna de suporte não foram afetadas pela altura do obstáculo e permaneceram com valores médios de 88cm e 27cm, respectivamente. A ausência de influência da altura do obstáculo nas DHPOs tem sido largamente reportada (PATLA; RIETDYK, 1993; SPARROW; SHINKFIELD; BEGG, 1996; AUSTIN; GARRETT; BOHANNON, 1999; GONÇALVES; MORAES; GOBBI, 2000; KRELL; PATLA, 2002; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004). Contudo, protocolos experimentais e tratamentos estatísticos diferenciados podem ser identificados entre os trabalhos citados. A maioria dos trabalhos não personaliza a altura do obstáculo às medidas antropométricas dos participantes (PATLA; RIETDYK, 1993; AUSTIN; GARRETT; BOHANNON, 1999; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004). Por outro lado, poucos estudos personalizam a altura do obstáculo (SPARROW; SHINKFIELD; BEGG, 1996; GONÇALVES; MORAES; GOBBI, 2000). Embora diferenças possam ser identificadas entre os procedimentos adotados, a maioria dos trabalhos mostra forte consistência das DHPOs. Mesmo em alturas críticas de obstáculo (10% acima do joelho e 10% abaixo do joelho), onde a configuração dos membros pode

ser diferente devido às restrições biomecânicas, as DHPOs não foram afetadas (GONÇALVES; MORAES; GOBBI, 2000).

Para demonstrar a importância do controle da DHPO, Chou e Draganich (1998) manipularam a DHPO da perna de suporte na tarefa de ultrapassar obstáculos de diferentes alturas e evidenciaram uma diminuição da DVPOs quando a DHPOs foi reduzida. Esta dependência foi relacionada à redução na flexão do quadril, joelho e tornozelo durante a ultrapassagem do obstáculo. Isso sugere a importância do conhecimento da dinâmica intersegmentar no controle de aproximação ao obstáculo.

Se os participantes adotaram uma distância fixa do obstáculo, somente as trajetórias dos membros foram moduladas em função da altura do obstáculo. Contudo, os participantes aumentaram significativamente a margem de segurança para o obstáculo alto (FIGURAS 11B, 12 e 14). Para a perna de abordagem, valores médios de 9cm para o obstáculo baixo e 15cm para o obstáculo alto foram encontrados. Estes valores estão de acordo com achados prévios, que identificaram um valor da margem de segurança flutuando ao redor de 10cm (PATLA; RIETDYK, 1993). Um aumento na margem de segurança da perna de abordagem em função do aumento da altura do obstáculo também foi mostrado previamente (PATLA; RIETDYK, 1993; PATLA; PRENTICE; GOBBI, 1996; PATLA; DAVIES; NIECHWIEJ, 2004). Contudo, este aumento nem sempre foi identificado (PATLA; RIETDYK; MARTIN; PRENTICE, 1996; MOHAGHEGHI; MORAES; PATLA, 2004). Mais uma vez, estes resultados contraditórios podem estar relacionados às diferenças de protocolo experimental onde a altura do obstáculo não foi personalizada às características antropométricas de cada participante. De forma semelhante à perna de abordagem, a DVPO da perna de suporte aumentou significativamente com o aumento da altura do obstáculo (13cm para o

obstáculo baixo e 26cm para o obstáculo alto). Estas diferenças demonstram o custo da demanda de ultrapassagem na abordagem ao obstáculo. O obstáculo alto oferece um perigo maior que é assegurado pela implementação de uma trajetória de ultrapassagem mais ampla para ambas as pernas (PATLA, 2003).

De acordo com o exposto na estratégia dinâmica, os participantes modularam apenas a trajetória de ultrapassagem em função da altura do obstáculo. O aumento significativo na DVPO na presença do obstáculo alto indicou uma estratégia de segurança adotada para que a ultrapassagem seja sempre garantida. A identificação da estratégia dinâmica bem como sua modulação em função da altura do obstáculo possibilita agora uma comparação entre as condições de amostragens visuais estáticas. Assim sendo, o próximo tópico discute as alterações evidenciadas na estratégia dinâmica quando amostragens visuais estáticas foram apresentadas e está ordenado de acordo com as hipóteses formuladas.

8.3. Quais os efeitos das amostragens visuais estáticas? Identificando a estratégia estática.

A estratégia dinâmica mostrou que os participantes alteraram apenas a DVPO em função da altura do obstáculo. Ao observar o comportamento de ultrapassagem do obstáculo em condições visuais estáticas (estratégia estática), tanto a fase de aproximação quanto a fase de ultrapassagem foram afetadas. Estas alterações em função das condições de amostragens visuais estáticas foram tratadas como estratégias estáticas que são implementadas pelos participantes para resolver os desafios impostos pela

disponibilidade visual. Este tópico destaca estas mudanças seguindo as hipóteses formuladas neste estudo.

8.3.1. Amostragens visuais estáticas geraram adaptações locomotoras antecipatórias diferentes da condição de amostragem visual dinâmica independentemente da altura do obstáculo.

O sincronismo das ações humanas com os eventos externos é o resultado da combinação entre a informação visual e comandos musculares apropriados que desencadeiam os movimentos (BOOTSMA; PEPER, 1992). Desta forma, a primeira hipótese formulada neste estudo foi que amostragens visuais estáticas e a altura do obstáculo influenciariam os comprimentos dos passos na fase de aproximação do obstáculo. Esta hipótese foi formulada porque a informação sobre cada passo, adquirida pelo sistema cinestésico, e a estimativa da localização espacial do obstáculo passo a passo são utilizadas para ajustar os posicionamentos dos pés durante a aproximação ao obstáculo (MOHAGUEGHI; MORAES; PATLA, 2004) e muitos pesquisadores têm sugerido que a variável óptica *tau* fornece informação sobre o tempo de contato para que ajustamentos no comprimento dos passos sejam implementados (ver LEE; LISHMAN; THOMSON, 1982; MONTAGNE; CORNUS; GLIZE; QUAINÉ; LAURENT, 2000).

Estudos recentes têm demonstrado a importância do fluxo óptico na determinação de distâncias percorridas bem como estimativas de distâncias a alvos durante a locomoção (LAPPE; BREMMER; PEKEL; THIELE; HOFFMAN, 1996;

BREMMER; LAPPE, 1999; HARRIS; JENKIN; ZIKOVITZ, 2000; REDLICK; JENKIN; HARRIS, 2001; FRENZ; BREMMER; LAPPE, 2003). Patla (1998) sugeriu que a amostragem visual estática não oferece informação precisa sobre a distância e a velocidade de aproximação ao obstáculo, pois os participantes não modularam adequadamente os passos durante a aproximação ao obstáculo e erros foram evidenciados durante a ultrapassagem. Contudo, o protocolo de Patla (1998) impossibilitou a disponibilidade visual durante cinco passos antecedentes ao obstáculo. Como consequência, observou-se que quanto maior o tempo sem visão, menor a qualidade da informação visual obtida (THOMSON, 1983; 1986; CORLETT; ANTON; KOZUB; TARDIF, 1989), prejudicando estimativas espaciais e temporais corretas para ajustamentos locomotores pelos participantes. Mesmo assim, Patla (1998) mostrou a superioridade da informação visual obtida dinamicamente. Os participantes erraram menos quando a visão foi disponível durante o início do deslocamento.

No presente estudo, os resultados indicaram um aumento no comprimento do P2UT em ambas as condições de amostragens visuais estáticas (P2UT aumentou em ~ 4% do comprimento do MI; FIGURA 8). Diferentemente da estratégia dinâmica, onde os dois passos foram semelhantes, na estratégia estática esta relação foi afetada. O aumento no valor médio do comprimento de P2UT sugere que os participantes acumularam/concentraram os ajustes neste passo. Patla, Davies e Niechwiej (2004) também verificaram que, em condições visuais restritas, os participantes acumularam os maiores ajustamentos neste passo.

Nenhum efeito da altura do obstáculo foi evidenciado. Os participantes se aproximaram do obstáculo de forma semelhante para ambas as alturas de obstáculo, confirmando parcialmente a hipótese formulada.

8.3.2. Amostragens visuais estáticas geraram um comportamento de ultrapassagem conservativo com um maior efeito frente ao obstáculo alto: as velocidades médias de ultrapassagem não foram afetadas.

Gibson (1958; 1979) propôs que as características geométricas dos objetos presentes no ambiente e as características do terreno são avaliadas pela mudança da imagem na retina quando o indivíduo se locomove. Neste sentido, a segunda hipótese formulada foi que amostragens visuais estáticas aumentam a amplitude de ultrapassagem, refletida nas variáveis DHPO e DVPO, tanto para a perna de abordagem quanto para a perna de suporte, independentemente da altura do obstáculo. Se as dimensões do obstáculo não são precisamente avaliadas durante a fase de aproximação quando o fluxo óptico está ausente, esperava-se que ambas as pernas fossem afetadas. Contudo, os efeitos foram diferenciados entre as pernas de abordagem e de suporte.

A perna de abordagem foi afetada tanto na DHPO quanto na DVPO independentemente da altura do obstáculo. Já a perna de suporte foi afetada apenas na DHPO para o obstáculo alto. A maior diferença entre a perna de abordagem e a perna de suporte é que a perna de abordagem pode ser visualmente guiada e a perna de suporte não. Este pode ser o principal fator das diferenças observadas. Outro fator que pode influenciar os resultados diferenciados entre a perna de abordagem e a perna de suporte é a configuração corporal em relação ao centro de massa durante a ultrapassagem de cada perna. Quando a perna de abordagem está alinhada verticalmente com o obstáculo, o centro de massa ainda está projetado anteriormente ao obstáculo. Esta configuração é considerada instável (PATLA, 2003) e erros neste momento podem ser desastrosos. Por outro lado, quando a perna de suporte está alinhada verticalmente ao obstáculo, a

projeção do centro de massa está além do obstáculo. Esta configuração pode ser considerada mais estável e controles reativos normalmente são suficientes se tropeço ocorrer neste momento (PERRY; PATLA, 2001). Assim sendo, a estabilidade corporal dinâmica correspondente à ultrapassagem de cada perna pode ser um fator importante para os efeitos diferenciados encontrados para a perna de abordagem e para a perna de suporte. Este efeito diferenciado para as duas pernas permite confirmar parcialmente a segunda hipótese formulada neste estudo.

O aumento da DHPO e DVPO para a perna de abordagem tem sido evidenciado quando a disponibilidade visual durante a fase de aproximação é alterada (PATLA, 1997; 1998; MOHAGUEGUI; MORAES; PATLA, 2004; PATLA; DAVIES; NIECHWIEJ, 2004) ou quando a visualização do membro não é disponível (PATLA, 1998; MOHAGUEGUI; MORAES; PATLA, 2004). No presente estudo, contudo, a trajetória executada pelo pé durante a ultrapassagem pôde ser visualizada. Os LED's posicionados nos pontos anatômicos do pé (quinta articulação metatarsofalangeana e face lateral do calcâneo) possibilitaram que informações visuais sobre a trajetória de deslocamento do pé durante a ultrapassagem fossem obtidas. Isso significa que, mesmo obtendo amostras estáticas sobre o obstáculo, a trajetória do pé de abordagem pode ser continuamente monitorada durante a ultrapassagem. Se ou não esta informação foi utilizada não pôde ser identificado. Considerando que o ambiente experimental estava desprovido de qualquer objeto atrativo para uma possível mudança na direção do olhar, a visualização dos diodos durante a ultrapassagem pareceu a estratégia mais provável adotada pelos participantes. As informações da trajetória da perna de abordagem provavelmente foram úteis, entretanto, o relacionamento entre a perna de abordagem e o

obstáculo não pode ser visualmente julgado pelos participantes, o que os levou a adotar distâncias maiores.

Para a perna de suporte, que não pode ser visualmente monitorada, a DHPO apresentou valores médios maiores apenas na presença do obstáculo alto e nenhum efeito de amostragem visual foi observado para a DVPO. Embora Chou e Draganich (1998) tenham mostrado a associação entre a DHPO e DVPO da perna de suporte, no presente estudo, tanto na estratégia dinâmica quanto na estratégia estática, esta associação foi diferenciada. Na condição de amostragem visual dinâmica, a altura do obstáculo afetou apenas a DVPO. Nas condições de amostragens visuais estáticas além da DVPO, a DHPO foi alterada em função da altura do obstáculo. Na estratégia estática, o obstáculo alto ofereceu uma situação desafiadora na qual a adoção de uma distância maior do obstáculo garantiu a segurança necessária para a ultrapassagem.

A terceira hipótese formulada foi que a amostragens visuais estáticas e a altura do obstáculo influenciariam a velocidade média de ultrapassagem. Uma forma de suprir a falta de amostra visual durante a ultrapassagem seria reduzir a velocidade de ultrapassagem para ganhar tempo para que outra amostra visual seja disponibilizada. Como apenas a perna de abordagem pode ser visualmente guiada durante a ultrapassagem, os efeitos deveriam ser observados apenas para esta perna. Contudo, mais uma vez, os resultados confirmaram parcialmente esta hipótese. Os participantes não alteraram a velocidade horizontal de ultrapassagem de ambas as pernas em função das condições de amostragens visuais, mas sim pela altura do obstáculo. Nas condições de amostragens visuais estáticas, parece que o aumento na DHPOpa foi suficiente para que mais amostras visuais pudessem ser exploradas antes da ultrapassagem. Sendo assim, nenhum efeito na velocidade média foi evidenciado nesta fase.

Assaiante, Marchand e Amblard (1989) verificaram uma diminuição na velocidade média de progressão quando apenas amostras estáticas foram apresentadas. Esta estratégia possibilitou aos participantes extrair mais amostras visuais durante o deslocamento. No presente estudo, a velocidade média durante a ultrapassagem não foi alterada. Contudo, estudos posteriores necessitam medir a velocidade também durante a fase de aproximação. Os participantes podem ter reduzido a velocidade durante a fase de aproximação e implementado, de forma “balística” a fase de ultrapassagem. Se o posicionamento dos pés passo a passo durante a fase de aproximação deve ser planejado com base na velocidade de progressão (LEE, 1976; GOODALE; ELLARD; BOOTH, 1990), onde o fluxo óptico fornece informação rica para estimar a distância e o tempo de contato do obstáculo (LEE, 1976; PATLA; VICKERS, 1997), parece sensato pensar que, em condições onde o fluxo óptico é ausente, seria mais provável uma redução na velocidade de aproximação do que uma redução na velocidade de ultrapassagem.

8.4. A estratégia estática foi semelhante para ambas as condições de amostragens visuais estáticas.

Um intrigante achado no presente estudo foi que as frequências de amostragens visuais estáticas de 2Hz e 4Hz não foram diferentes entre si. Nenhuma diferença nos valores médios foi evidenciada.

Os resultados de Assaiante, Marchand e Amblard (1989) evidenciaram uma diminuição linear na velocidade média de deslocamento em função do aumento da frequência de amostragens visuais estáticas a partir de 3Hz. Os autores sugeriram que o

intervalo entre as amostras é crítico para o sucesso da ação locomotora. Com base na hipótese formulada por Assaiante, Marchand e Amblard (1989), o aumento na frequência de amostragem visual estática aumenta a probabilidade de coincidir a amostra visual com a demanda da amostragem e melhores desempenhos podem ser observados (hipótese da coincidência). Entretanto, a performance locomotora foi inferida pela velocidade média de percurso. No presente estudo, apenas os parâmetros espaciais foram medidos e foram semelhantes entre as frequências de 2Hz e 4Hz. Seguindo a hipótese de Assaiante, Marchand e Amblard (1989), mesmo não havendo diferenças, ao menos uma tendência linear deveria ser encontrada entre as condições de amostragens visuais (dinâmica < 4Hz < 2Hz) em pelo menos algumas variáveis dependentes. Esta tendência poderia ser esperada porque o tempo entre os flashes nas condições de 4Hz e de 2Hz é, respectivamente, de 250ms e de 500ms. Desta forma, para o participante adquirir o mesmo número de amostras entre as condições visuais estáticas, o dobro do tempo teria que ser esperado na condição de 2Hz em comparação à condição de 4Hz. Entretanto, o teste de contraste evidenciou uma tendência quadrática (dinâmica < 4Hz > 2Hz).

Sherk e Fowler (2001) avaliaram as mesmas frequências do presente estudo (4Hz e 2Hz) em gatos e, de forma semelhante, não identificaram diferenças na precisão dos posicionamentos das patas na locomoção em terreno irregular. Contudo, observaram diferenças significativas entre a condição de amostragem visual dinâmica e as condições de amostragens visuais estáticas.

Estes resultados sugerem que novos estudos manipulem mais frequências de amostragens visuais estáticas avaliando o comportamento espacial com o terreno.

8.5. Amostragem visual dinâmica e acoplamento entre informação ambiental e ajustamentos locomotores: projeções futuras.

O presente estudo avaliou a performance de humanos em uma tarefa que exigiu aproximar e ultrapassar um obstáculo estático no caminho de progressão para verificar a influência da amostragem visual dinâmica no comportamento locomotor adaptativo. O foco foi dado ao mapeamento das mudanças no padrão locomotor (estratégia locomotora adaptativa) em função da altura do obstáculo e da amostragem visual. Foram identificadas as duas estratégias relacionadas às duas condições de amostragens visuais (estática e dinâmica), onde suas diferenças foram destacadas: estratégia dinâmica e estratégia estática. Analisando as duas estratégias implementadas, pode-se verificar que o movimento da imagem na retina, produzido pelo deslocamento, apresenta-se como uma fonte rica de informação para guiar os movimentos adaptativos precisamente.

O maior desafio para o futuro é identificar os papéis das diversas informações sensoriais e delinear a transformação da informação sensorial junto a uma resposta motora apropriada (DICKINSON; FARLEY; FULL; KOEHL; KRAM; LEHMAN, 2000). A maior dificuldade tem sido no aspecto sensorial. A disponibilidade simultânea de múltiplas fontes de informação (GIBSON, 1979; CUTTING, 1996) e a existência de diferentes possibilidades de arranjo da configuração neuromuscular para cada movimento (BERNSTEIN, 1967) são indicações da natureza complexa das relações entre percepção e ação.

Os resultados mostraram que a amostragem visual dinâmica favorece modulações globais e locais no comportamento locomotor. Apenas os efeitos no

desempenho da tarefa foram identificados. Muitas características da aquisição de informação visual em diferentes contextos (esportivo, reabilitação, robótica) ainda necessitam ser exploradas e continuam a desafiar os estudiosos do controle visual de habilidades motoras. No entanto, um considerável corpo de conhecimento básico para suportar tal exploração já existe. A tecnologia atual também permite a coleta de dados em contextos naturais. Talvez a investigação dos movimentos dos olhos associada a variáveis ópticas de conhecimento bem documentado, como a variável óptica *tau* que especifica o tempo para contato (LEE, 1976), seja um ponto de partida recomendável.

Com base nesta pesquisa, especificamente três aspectos são indicados para futuras investigações.

O primeiro aspecto é o controle de quando e onde cada amostra visual é disponibilizada durante a execução da tarefa. Este controle possibilita verificar se os participantes regulam suas ações em sincronia com a frequência de amostragens visuais estáticas. Embora Patla, Adkin, Martin, Holden e Prentice (1996) Patla e Vickers (1997) não tenham observado a relação entre a obtenção da amostragem visual e algum evento específico do ciclo da passada, a amostragem visual externamente estimulada pode favorecer esta sincronização.

O segundo aspecto diz respeito a novos parâmetros de interesse. Coletar maior número de passos anteriores ao obstáculo possibilita entender o que acontece na fase de aproximação. Além disso, os parâmetros temporais das fases da marcha (suporte simples, duplo suporte e fase de balanço) possibilitam verificar os efeitos na dinâmica da tarefa.

O terceiro aspecto é uma sugestão metodológica que pode favorecer o entendimento das estratégias de movimentos dos olhos na busca de informações

ambientais relevantes à ação. O comportamento dos olhos representa a busca ativa da informação visual relevante para o controle das habilidades motoras. Na iluminação estroboscópica, os movimentos dos olhos devem ser sincronizados com as amostragens visuais para poder obter a informação relevante durante cada flash de luz. Uma variedade de técnicas para medir o movimento dos olhos está disponível na atualidade e favorecem a coleta destas informações.

9. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados estão de acordo com as propostas de Gibson em relação ao papel da informação inerente ao fluxo óptico para guiar a locomoção. Embora amostragens visuais estáticas tenham sido suficientes para o comportamento locomotor adaptativo, alterações nos ajustamentos locomotores antecipatórios e nas distâncias em relação ao obstáculo foram encontradas quando comparado com os ajustamentos adaptativos na condição de amostragem visual dinâmica. O aumento no comprimento do antepenúltimo passo caracterizou a diferença na fase de aproximação independente da altura do obstáculo. Durante a ultrapassagem, as pernas de abordagem e de suporte foram diferentemente afetadas. Para a perna de abordagem, maiores distâncias horizontal e vertical foram identificadas. Para a perna de suporte, maiores valores médios para a distância horizontal foram observados apenas para o obstáculo alto. Embora diferenças espaciais tenham sido evidenciadas, as velocidades médias horizontais não foram afetadas.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBLARD, B.; CREMIEUX, J.; MARCHAND, A. R.; CARBLANC, A. Lateral orientation and stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues. **Experimental Brain Research**, New York, v.61, n.1, p.21-37, 1985.

ARMAND, M.; HUISSOON, J. P.; PATLA, A. E. Stepping over obstacles during locomotion: insights from multiobjective optimization on set of input parameters. **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, New York, v.6, n.1, p.43-52, 1998.

ASSAIANTE, C.; MARCHAND, A. R.; AMBLARD, B. Discrete visual samples may control locomotor equilibrium and foot positioning in man. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.21, p.72-91, 1989.

ATCHLEY, P.; ANDERSEN, G. J. The effect of age, retinal eccentricity, and speed on the detection of optic flow components. **Psychology and Aging**, Washington, v.13, n.2, p.297-308, 1998.

AUSTIN, G. P.; GARRETT, G. E.; BOHANNON, R. W. Kinematic analysis of obstacle clearance during locomotion. **Gait and Posture**, Oxford, v.10, p.109-120, 1999.

AZULAY, J-P.; MESURE, S.; AMBLARD, B.; BLIN, O.; SANGLA, I.; POUGET, J. Visual control of locomotion in Parkinson's disease. **Brain**, Oxford, v.122, p.111-120, 1999.

BARROS, R. M. L.; BREZIKOFER, R.; LEITE, N.; FIGUEROA, P. J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v.15, n.1-2, p.79-86, 1999.

BERNSTEIN, N. A. **The coordination and regulation of movements**. Oxford: Pergamon Press, 1967.

BOOTSMA, R. J.; PEPPER, C. E. Predictive visual information sources for the regulation of action with special emphasis on catching and hitting. In: PROTEAU, L.; ELLIOTT, D. (eds) **Visual and motor control**. Amsterdam: North-Holland, 1992. p.285-314.

BREMMER, F.; LAPPE, M. The use of optical velocities for distance discrimination and reproduction during visually simulated self motion. **Experimental Brain Research**, New York, v.127, p.33-42, 1999.

BUEKERS, M. J.; HELSEN, W. F. Vision and laterality: does occlusion disclose a feedback processing advantage for the right hand system? **Cortex**, Varese, v.36, n.4, p.507-519, 2000.

BYRNE, J. M.; PRENTICE, S. D. Swing phase kinetics and kinematics of knee replacement patients during obstacle avoidance. **Gait and Posture**, Oxford, v.18, p.95-104, 2003.

CHEN, H.; ASHTON-MILLER, J. A.; ALEXANDER, N. B.; SCHULTZ, A. B. Stepping over obstacles: gait patterns of healthy young and old adults. **Journal of Gerontology**, Washington, v.46, n.6, p.196-203, 1991.

CHOU, L-S.; DRAGANICH, L. F. Stepping over an obstacle increases the motions and moments of the joints of the trailing limb in young adults. **Journal of Biomechanics**, New York, v.30, n.4, p.331-337, 1997.

CHOU, L-S.; DRAGANICH, L. F. Placing the trailing foot closer to an obstacle reduces flexion of the hip, knee, and ankle to increase the risk of tripping. **Journal of Biomechanics**, New York, v.31, p.685-691, 1998.

CORLETT, J. T.; ANTON, J.; KOZUB, S.; TARDIF, M. Is locomotor distance estimation guided by visual imagery? **Perceptual and Motor Skills**, Missoula, v.69, p.1267-1272, 1989.

CREMIEUX, J.; MESURE, S. Differential sensitivity to static visual cues in the control of postural equilibrium in man. **Perceptual and Motor Skills**, Missoula, v.78, n.1, p.67-74, 1994.

CROSBIE, J.; KO, V. Changes in the temporal and distance parameters of gait evoked by negotiation of curbs. **Australian Journal of Physiotherapy**, Melbourne, v.46, p.103-112, 2000.

CUTTING, J. E. Wayfinding from multiple sources of local information in retinal flow. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Arlington, v.22, n.5, p.1299-1313, 1996.

DE RUGY, A.; MONTAGNE, G.; BUEKERS, M. J.; LAURENT, M. Temporal information for spatially constrained locomotion. **Experimental Brain Research**, New York, v.146, p.129-141, 2002.

DICKINSON, M. H.; FARLEY, C. T.; FULL, R. J.; KOEHL, M. A. R.; KRAM, R.; LEHMAN, S. How animals move: an integrative view. **Science**, Cambridge, v.288, p.100-106, 2000.

FAJEN, B. R.; WARREN, W. H. Jr. Go with the flow. **Trends in Cognitive Sciences**, London, v.4, p.369-70, 2000.

FREITAS JR, P. B.; BARELA, J. A. Ultrapassagem de obstáculo: coordenação intra e intermembros inferiores. **Revista Paranaense de Educação Física**, Curitiba, v.1, n.1, p.7-21, 2000.

FRENZ, H.; BREMMER, F.; LAPPE, M. Discrimination of travel distances from 'situated' optic flow. **Vision Research**, Oxford, v.43, p.2173-2183, 2003.

GIBSON, J. J. **The perception of the visual world**. Boston: Houghton-Mifflin, 1950.

GIBSON, J. J. Visually controlled locomotion and visual orientation in animals. **The British Journal of Psychology**, London, v.49, p.182-94, 1958.

GIBSON, J. J. **The senses considered as perceptual systems**. Boston: Houghton Mifflin, 1966.

GIBSON, J. J. **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

GOBBI, L. T. B. ; SECCO, C. R. ; MARINS, F. H. P. Preferência pedal: comportamento locomotor em terreno irregular. In: TEIXEIRA, L. A. (ed) **Avanços em comportamento motor**. 1 ed. São Paulo: Movimento, 2001. p. 225-247.

GONÇALVES, C. T.; MORAES, R.; GOBBI, L. T. B. Efeito da perturbação vestibular transitória na transposição de obstáculos. **Motriz**, Rio Claro, v.6, n.2, p.57-63, 2000.

GOODALE, M. A.; ELLARD, C. G.; BOOTH, L. The role of image size and retinal motion in the computation of absolute distance by the mongolian gerbil (*meriones unguilatus*). **Vision Research**, Oxford, v.30, p.399-413, 1990.

HARRIS, L. R.; JENKIN, M.; ZIKOVITZ, D. C. Visual and nonvisual cues in the perception of linear self motion. **Experimental Brain Research**, New York, v.135, p.12-21, 2000.

HART, S.; GABBARD, C. Examining the mobilizing feature of footedness. **Perceptual and Motor Skills**, Missoula, v.86, p.1339-1342, 1998.

HOF, A. L. Scaling gait data to body size. **Gait and Posture**, Oxford, v.4, p.222-223, 1996.

HOLLANDS, M. A.; PATLA, A. E.; VICKERS, J. N. "Look where you're going!": gaze behaviour associated with maintaining and changing the direction of locomotion.

Experimental Brain Research, New York, v.143, p.221-230, 2002.

KOENDERINK, J. J. Optic flow. **Vision Research**, Oxford, v.26, p.161-180, 1986.

KRELL, J.; PATLA, A. E. The influence of multiple obstacles in the travel path on avoidance strategy. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.16, p.15-19, 2002.

LAPPE, M.; BREMMER, F.; PEKEL, M.; THIELE, A.; HOFFMAN, P. Optic flow processing in monkey STS: a theoretical and experimental approach. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v.16, p.6265-6285, 1996.

LAPPE, M.; BREMMER, F.; VAN DEN BERG, A. Perception of self-motion from visual flow. **Trends in Cognitive Science**, London, v.9, p.329-336, 1999.

LEE, D. N. A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. **Perception**, Ottawa, v.5, p.437-459, 1976.

LEE, D. N.; LISHMAN, J. R.; THOMSON, J. A. Regulation of gait in long jumping. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Arlington, v.8, p.448-459, 1982.

LYONS, J.; FONTAINE, R.; ELLIOTT, D. I lost it in the lights: the effects of predictable and variable intermittent vision on unimanual catching. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.29, n.2, p.113-118, 1997.

MENUCHI, M. R. T. P.; MENUCHI, E. Construção de um modelo de marcador ativo para coleta e análise de dados cinemáticos. In: Congresso Brasileiro de Comportamento

Motor, 2.; Seminário de Comportamento Motor, 4., 2004, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

MOHAGHEGHI, A. A.; MORAES, R.; PATLA, A. E. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. **Experimental Brain Research**, New York, v.155, p.459-68, 2004.

MONTAGNE, G.; CORNUS, S.; GLIZE, D.; QUAINÉ, F.; LAURENT, M. A perception-action coupling type of control in long jumping. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.32, p.37-43, 2000.

PATLA, A. E. Visual control of human locomotion. In: PATLA, A. E. (ed) **Adaptability of human gait: implications for the control of locomotion**. Amsterdam: Elsevier, 1991. p.55-97.

PATLA, A. E. Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.5, p.54-69, 1997.

PATLA, A. E. How is human gait controlled by vision? **Ecological Psychology**, Mahwah, v.10, p.287-302, 1998.

PATLA, A. E. Strategies for dynamic stability during adaptive human locomotion. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, New York, v.22, n.2, p.48-52, 2003.

PATLA, A. E.; ADKIN, A.; MARTIN, C.; HOLDEN, R.; PRENTICE, S. Characteristics of voluntary visual sampling of the environment for safe locomotion

over different terrains. **Experimental Brain Research**, New York, v.112, p.513-22, 1996.

PATLA, A. E.; DAVIES, C.; NIECHWIEJ, E. Obstacle avoidance during locomotion using haptic information in normally sighted humans. **Experimental Brain Research**, New York, v.155, p.173-185, 2004.

PATLA, A. E.; NIECHWIEJ, E.; RACCO, V.; GOODALE, M. A. Understanding the contribution of binocular vision to the control of adaptive locomotion. **Experimental Brain Research**, New York, v.142, p.551-561, 2002.

PATLA, A. E.; PRENTICE, S. D.; GOBBI, L. T. B. Visual control of obstacle avoidance during locomotion: strategies in young children, young and older adults. In: FERRANDEZ, A. M. (ed) **Changes in sensory motor behavior in aging**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.257-277.

PATLA, A. E.; PRENTICE, S. D.; RIETDYK, S.; ALLARD, F.; MARTIN, C. What guides the selection of alternate foot placement during locomotion in humans? **Experimental Brain Research**, New York, v.128, p.441-450, 1999.

PATLA, A. E.; PRENTICE, S. D.; ROBINSON, C.; NEUFELD, J. Visual control of locomotion: strategies for changing direction and for going over obstacles. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Arlington, v.17, p.603-634, 1991.

PATLA, A. E.; RIETDYK, S. Visual control of limb trajectory over obstacles: effect of obstacle height and width. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.1, p.45-60, 1993.

PATLA, A. E.; RIETDYK, S.; MARTIN, C.; PRENTICE, S. Locomotor patterns of the leading and trailing limbs as solid and fragile obstacles are stepped over: some insights into the role of vision during locomotion. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.28, p.35-47, 1996.

PATLA, A. E.; ROBINSON, C.; SAMWAYS, M.; ARMSTRONG, C. J. Visual control of step length during overground locomotion: task-specific modulation of the locomotion synergy. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Arlington, v.25, p.603-17, 1989.

PATLA, A. E.; VICKERS, J. N. Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path. **Neuroreport**, Oxford, v.8, p.3661-3665, 1997.

PATLA, A. E.; VICKERS, J. N. How far ahead do we look when required to step on specific locations in the travel path during locomotion? **Experimental Brain Research**, New York, v.148, p.133-8, 2003.

PERRY, S. D.; PATLA, A. E. On-line adjustments to body center of mass and limb elevation to suddenly changing obstacle height. In: DUYSSENS, J.; SMITS-ENGELSMAN, B. M.; KINGMA, H. (eds) **Control of posture and gait**. Netherlands: Maastricht, 2001. p.485-487.

PROKOP, T.; SCHUBERT, M.; BERGER, W. Visual influence in human locomotion: modulation to changes in optic flow. **Experimental Brain Research**, New York, v.114, p.63-70, 1997.

REDLICK, F. P.; JENKIN, M.; HARRIS, L. R. Humans can use optic flow to estimate distance of travel. **Vision Research**, Oxford, v.41, p.213-219, 2001.

REGAN, D.; BEVERLEY, K. How do we avoid confounding the direction we are looking and the direction we are moving. **Science**, Cambridge, v.215, p.194-196, 1982.

ROBERTSON, S.; COLLINS, J.; ELLIOTT, D.; STARKES, J. The influence of skill and intermittent vision on dynamic balance. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.26, n.4, p.333-339, 1994.

SCHUBERT, M.; BOHNER, C.; BERGER, W.; SPRUNDEL, M.; DUYSSENS, J. E. J. The role of vision in maintaining heading direction: effects of changing gaze and optic flow on human gait. **Experimental Brain Research**, New York, v.150, p.163-173, 2003.

SHERK, H.; FOWLER, G. A. Visual analysis and image motion in locomoting cats. **European Journal of Neuroscience**, Oxford, v.13, p.1239-1248, 2001.

SPARROW, W. A.; SHINKFIELD, A. J.; CHOW, S.; BEGG, R. K. Characteristics of gait in stepping over obstacles. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.15, p.605-22, 1996.

TAGA, G. A model of the neuro-musculo-skeletal system for anticipatory adjustment of human locomotion during obstacle avoidance. **Biological Cybernetics**, New York, v.78, p.9-17, 1998.

THOMSON, J. A. Is continuous visual monitoring necessary in visually guided locomotion? **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Arlington, v.9, n.3, p.427-443, 1983.

THOMSON, J. A. Intermittent versus continuous visual control: a reply to Elliott. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Arlington, v.12, n.3, p.392-393, 1986.

TRESILIAN, J. R. Visually timed action: time-out for “tau”? **Trends in Cognitive Science**, London, v.3, n.8, p.301-310, 1999.

WARREN, W. H.; KAY, B. A.; ZOSH, W. D.; DUCHON, A. P.; SAHUC, S. Optic flow is used to control human walking. **Nature Neuroscience**, New York, v.4, p.213-6, 2001.

WINTER, D. A. **The biomechanics and motor control of human gait**. Waterloo: University of Waterloo Press, 1987.

ABSTRACT

Visually guided locomotion in obstacle avoidance: effects of the static and dynamic visual samplings

During locomotion, a pattern of visual motion referred as an optic flow field occurs. In order to explore how the locomotor adjustments are influenced by this pattern, an experimental paradigm was developed to remove the optic flow during locomotion and obstacle avoidance. The aim of this study was to investigate the contribution of the static and dynamic visual sampling on the locomotion and obstacle avoidance of different heights. Ten individuals (23.4 ± 1.28 years of age, both genders) were invited to walk on a pathway and to avoid one out of two personalized obstacles (high obstacle = knee height and low obstacle = ankle height) positioned 5m from the starting position. Light emitting diodes were fixed on the fifth metatarsal and calcaneus lateral face in both feet and their trajectories were recorded by four digital cameras bilaterally positioned related to the pathway. Two trial blocks were presented depending of the visual sampling conditions. In the first block, 10 trials with visual dynamic sampling (normal light) were presented. In the second trial block, two conditions of the static visual sampling frequencies were presented in an randomized way by means of the stroboscopic light (2 flashes/second or 4 flashes/second). Each flash duration was about 16ms and provided only environmental static images. Obstacle height was randomized for each trial block. Five trials for each experimental condition were collected totalizing 30 trials for each participant. All images were digitalized and reconstructed in the 3D plane. Dependent variables in the approach phase (last two step lengths before crossing) and in the crossing phase (horizontal toe distance to the obstacle prior crossing, obstacle toe clearance and mean horizontal velocity for each foot) were selected. The results revealed differences between dynamic and static visual sampling conditions at penultimate step and in the relative distances to the obstacle only for the leading limb. Obstacle height influenced toe clearance and mean horizontal velocity for both the leading and the trailing limb. These results indicated that the visual motion information acquired by optic flow has an important role in estimating obstacle distance and height. The use of a conservative avoidance behavior under the static visual sampling conditions suggests that the visual motion information favors the coupling between vision and the adaptive adjustments for dealing with the obstacle.

Key words: obstacle avoidance, vision, optic flow, movement information, locomotion, visual sampling.

ANEXO 1: Aprovação do estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
Instituto de Biociências
COMITE DE ETICA

Rio Claro, 10 de junho de 2003.

Ofício CEP 36/2003

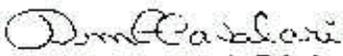
Ilma. Sra.
Profa. Dra. Lillian Teresa Bucken Gabbi
 DD. Docente do Departamento de Educação Física
 UNESP - Campus de Rio Claro

Prezada senhora:

Informo que em reunião realizada em **10.06.2003**, o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro (CEP-IB-UNESP), aprovou o projeto de pesquisa intitulado "Locomoção visualmente guiada: efeitos da visão intermitente", protocolo 002828, datado de 29.05.2003.

Sendo o que se apresenta para o momento, reitero meus protestos de consideração e coloco-me à disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente.


Profa. Dra. Rosa Maria Feiteiro Cavalari
 Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa
 IB - UNESP - Rio Claro

CEP IB UNESP RIO CLARO 10 JUN 2003 15:05 00100

APÊNDICE 1: Relatório técnico do diodo emissor de luz

Desenvolvido por: Marcos Rodrigo Trindade Pinheiro Menuchi; Edson Menuchi

Resumo

Para realizar coletas de dados cinemáticos do movimento humano em ambiente com diferentes intensidades de iluminação, utilizando câmeras digitais, foi desenvolvido um sistema de diodos emissores de luz. Sua construção é simples, de baixo custo e é possível estruturá-los de forma que se adaptem a diferentes configurações anatômicas. Cada marcador possui alimentação elétrica independente, o que dispensa o uso de fios e cabos, que podem interferir no desempenho do participante. A viabilidade e eficiência deste sistema foram constatadas nos testes iniciais, específicos para a realização deste estudo.

Descrição geral do marcador emissor de luz

A necessidade de criar e construir diodos emergiu do protocolo experimental deste estudo e das ferramentas de coleta e análise dos dados disponíveis. A utilização destes diodos possibilita coletas com filmadoras digitais e analógicas, em qualquer configuração de luminosidade ambiental. Isso foi crítico para o desenvolvimento deste sistema.

Inicialmente, buscou-se no mercado equipamento destinado a esse tipo de procedimento, contudo, nada foi encontrado que combinasse sua portabilidade e auto-alimentação elétrica, com uma perfeita e pontual captação de imagem eletrônica.

A preocupação central foi a construção de diodos que permitissem facilidade e liberdade de movimentação dos participantes no andamento das coletas, fato que descartou, de imediato, a utilização de elementos que tivessem ligações através de fios e cabos a uma fonte alimentadora central. Os riscos de choque elétrico e de interferência no desempenho motor foram determinantes na seleção dos materiais. Assim, projetou-se a utilização de equipamento auto-alimentador individualizado e de fácil fixação.

Os diodos foram construídos em material plástico oriundo de *tampas de garrafas PET*, condutores de lâminas de metal oriundas de fixadores utilizadas em pastas de arquivos (romeu e julieta), LED's branco (diodo emissor de luz), revestimento de “velcro” para fixação na vestimenta e bateria 3 Volts com formato de moeda. Sua dimensão é 2cm de altura e 3 cm de diâmetro (FIGURA A3.1).

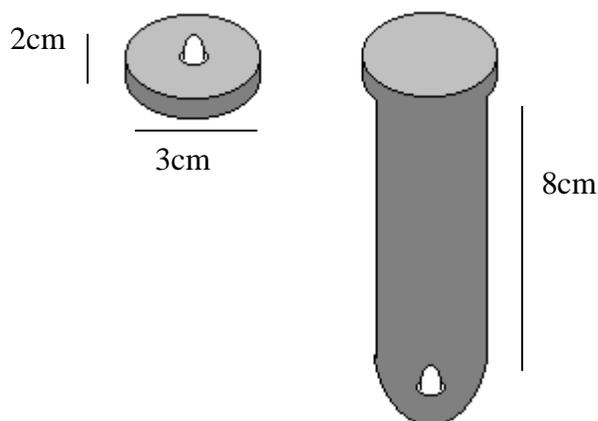


Figura A3.1. Desenho ilustrativo dos dois tipos de marcadores ativos e suas dimensões.

Foi necessária a transformação do gargalo da garrafa plástica PET aproveitando-se metade de sua rosca e metade da tampa, possibilitando o encaixe, com uma redução nas dimensões do conjunto total. Condutores “bipolares” foram adaptados tanto na base da tampa, como na extremidade da rosca, de forma que o contato elétrico se estabelecesse ao ser rosqueado o equipamento. A tampa se transformou no receptáculo da bateria e a rosca do gargalo destinou-se ao suporte da LED. Para o contato e ajuste da bateria de forma rígida na parte interna do equipamento, utilizou-se uma base de isopor para isolamento e flexibilização do arame em formato helicoidal (mola) de um dos pólos do próprio LED. A base da bateria foi mantida em contato permanente com a lâmina de metal instalada internamente na tampa. Na parte externa da tampa foi colado velcro para possibilitar a adesão e remoção fácil do equipamento na vestimenta.

Dois formatos diferentes de diodos foram construídos para facilitação da adesão firme no ponto anatômico de interesse e, em alguns casos, de difícil acomodação (calcanhar e 5º metatarso, por exemplo). Para suprir essa limitação, houve uma extensão

de alguns diodos, desmembrando o receptáculo da bateria, do suporte da LED. Essa extensão, de aproximadamente 8 cm, levou à ligação dos elementos (bateria – LED) através de uma fita de velcro unindo-se suas duas faces que, ao mesmo tempo, retiveram a fiação de contato elétrico com fios finos de cobre. Externamente, os equipamentos foram pintados de preto para melhorar a estética e contraste com a luz.

Estes elementos satisfizeram os critérios de peso e espessura reduzidos, ótima portabilidade e rigidez física adotados em seu desenvolvimento.

Considerações finais

A princípio, o sistema superou as expectativas, sendo adequado para os fins que se destina. A durabilidade da bateria é alta (72 horas ininterruptas) e a luz emitida pelo LED mostrou ser eficaz para sua captura, favorecendo o tratamento das imagens e o processamento dos sinais.

Algumas limitações com relação ao sistema necessitam ser consideradas. O sistema foi elaborado para a tarefa específica da locomoção na ultrapassagem por sobre um obstáculo. Essa ação, portanto, não envolve grandes rotações articulares, apesar da tarefa exigir grande amplitude de movimento. Desta forma, os LED's estão posicionados quase perpendicularmente às filmadoras, que captam os planos sagitais do participante. A característica dos LED's é produzir iluminação de forma focal. Assim sendo, movimentos que exigem rotações articulares podem perder quadros de aquisição de dados quando o movimento for realizado no escuro.

Futuros testes com a implementação de elementos dissipativos poderão solucionar esta limitação. Considerando as necessidades do presente estudo, satisfeitas pelo atual estágio de desenvolvimento do sistema, e a premência de tempo, novas configurações serão testadas. Em futuro próximo, a busca de alternativas para o aprimoramento do sistema e sua aplicabilidade para a análise de outras tarefas motoras será delineada.

Por fim, é importante ressaltar que o desenvolvimento deste sistema foi extremamente crítico para a realização do presente estudo. Pessoalmente, a possibilidade de acrescentar uma experiência prática ao desenvolvimento de instrumentos para coleta de dados, possibilitando um contato maior com uma grande

gama de problemas e cuidados que envolvem procedimentos metodológicos desse tipo, foi bastante enriquecedor.

APÊNDICE 2: Termo de consentimento livre e esclarecido e ficha de coleta de dados

Título do Estudo: LOCOMOÇÃO VISUALMENTE GUIADA NA TRANSPOSIÇÃO DE OBSTÁCULO: efeitos de dicas visuais intermitentes
Conduzido por: Marcos Rodrigo Trindade Pinheiro Menuchi e Profa. Dra. Lilian Teresa Bucken Gobbi.

Este estudo objetiva investigar os parâmetros espaço-temporais presentes no ato de andar e transpor obstáculo na presença de estimulação visual intermitente. Para isso, você será convidado a andar numa linha reta por uma passarela e ultrapassar um obstáculo que estará presente no caminho. Diferentes frequências de luz piscarão durante as tentativas. Para a realização dos testes, você vestirá meias e uma calça de lycra preta, e LED`s (luzes) serão fixadas na calça e no pé. Sua participação nesta tarefa não deverá exceder 60 minutos. Esta tarefa possui um pequeno risco de tontura, contudo um examinador estará constantemente ao seu lado.

Caso você concorde em participar desse estudo, os dados registrados na filmagem e algumas informações como data de nascimento e histórico clínico serão utilizadas, única e exclusivamente para ensino e pesquisa.

Você receberá um código, o que assegurará que a sua identidade seja mantida confidencial.

CÓDIGO: _____

Consentimento de Participação

Eu,

_____, li as informações acima e os pesquisadores me informaram os procedimentos envolvidos no estudo. Eu recebi respostas satisfatórias a todas as minhas indagações relativas ao estudo e estou consciente de que posso retirar-me do experimento a qualquer hora e por qualquer razão. Assim, autorizo que os dados coletados neste estudo sejam utilizados somente para fins de ensino e pesquisa.

Rio Claro, _____ de _____ de 2004.

Assinatura: _____

RG: _____

Endereço: _____ nº _____
 Bairro: _____ Cidade: _____ Estado: _____

Telefone: (____) _____ E-mail: _____

FICHA DE COLETA DE DADOS

DATA DE COLETA	___/___/___
CÓDIGO	_____

MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS	
ESTATURA	_____ cm
MASSA CORPORAL	_____ kg
	DIREITO
COMP. COXA	_____ cm
COMP. PERNA	_____ cm
ALT. TORNOZELO	_____ cm
COMP. PÉ	_____ cm
LARG. PÉ	_____ cm

DADOS GERAIS	
DATA DE NASCIMENTO	___/___/___
BSERVAÇÕES	