

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – IB
CAMPUS RIO CLARO – SP**

**ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS DA LOCOMOÇÃO NA
ULTRAPASSAGEM DE OBSTÁCULO MÓVEL**

JEAN JOSÉ SILVA

**RIO CLARO
Estado de São Paulo – Brasil
Setembro/2005**

**ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS DA LOCOMOÇÃO NA
ULTRAPASSAGEM DE OBSTÁCULO MÓVEL**

JEAN JOSÉ SILVA

Orientadora: LILIAN TERESA BUCKEN GOBBI

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências 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

Estado de São Paulo – Brasil

Setembro/2005

Dedicatória

A DEUS, pois sem Ele não somos nada...

*A meus pais, Benedito e Maria da Penha,
cuja honestidade e carinho ensinaram-me
a amar e a ser honesto... A eles, o meu
afeto, minha gratidão, minha vida...*

Agradecimentos

“O mais gostoso para o homem, e que acaba sendo fundamental, é a gratuidade de Deus em não nos deixar sozinhos... somos dependentes de Deus, das pessoas, dos pássaros, da natureza... (JS)” Agradeço a Deus que me ajudou a ter coragem de buscar meus ideais.

Aos meus pais, Maria da Penha e Benedito, meu irmão, Carlos Henrique, que são muito importantes para mim e são meus orgulhos e tesouros, pois “onde está o seu tesouro, aí está seu coração” (JC).

À LÍlian, pela confiança, carinho e tempo a mim dispensados...

Aos meus familiares, em especial Victor Hugo, que nas idas à Passos, lembrou-me que ser criança é estar sempre perto de Deus...

À minha namorada, Jôse, pela paciência... Aos meus amigos! Vocês não sabem o quão importantes vocês são para mim: Eder e Kênia, Denilton e Magna, Gaspar e Roberta, Renatinha, a todos agradeço nada mais, nada menos a amizade...

Ao Rodrigo, pela ajuda na análise dos dados e mais que isso, pela força no dia-a-dia que me ensinou nunca desanimar diante das dificuldades, ele que o diga...

Ao pessoal do LEPLO: Marcolino, Ico, Carol, Joana, Maria, Carol Santana, Ana Paula pela colaboração nas coletas e análise dos dados...

Ao Prof. Eduardo e Clarice, que auxiliados por Gleber e Américo Valdanha proporcionaram domingueiras “anti-estresse”...

Aos participantes do estudo pelo tempo a nós dispensado...

Enfim, agradeço aos responsáveis pela construção dos equipamentos: ao meu pai, ao tio João (BF Silva & Cia Ltda – Passos, MG), Seu João (Comate Materiais Elétricos – Passos, MG), Marcelo e Equipe (SOS Motores – Passos, MG) e à FUNDUNESP pelo apoio financeiro (Processo 00207/04-DFP).

Obrigado!

RESUMO

Considerando que indivíduo e ambiente encontram-se dinamicamente relacionados e que o indivíduo encontra no ambiente situações também em movimento, o presente estudo propôs-se a analisar as estratégias locomotoras da ultrapassagem de obstáculo que se movimenta em diferentes velocidades. Participaram 10 adultos jovens, universitários. Com marcadores passivos fixados em referências anatômicas de interesse, cada participante percorreu andando uma passarela de 6 m de comprimento delimitada por um corredor de 0,50 m de largura e ultrapassou o obstáculo que cruzou perpendicularmente sua trajetória em três condições de velocidade: controle (obstáculo estacionário), baixa (1,07 m/s) e alta (1,71 m/s). A altura do obstáculo foi personalizada para cada participante correspondendo à altura do joelho. O obstáculo foi encaixado no carrinho que o conduziu por trilhos, movido por um motor (marca WEG, modelo 71, 0,33 cv, trifásico, 1,6 A, 60 Hz, 220 v, 1720 RPM) e controlado por meio de um inversor de frequência (marca TOSHIBA, modelo VF-SX, 220 v, 0,75 kw). No plano sagital direito do participante, as trajetórias tridimensionais dos marcadores foram coletadas por duas filmadoras digitais de vídeo, marca JVC (modelo GR – DVL 9800, do Laboratório de Análise Biomecânica – UNESP/RIO CLARO). Foram selecionadas onze variáveis dependentes para análise: comprimento do antepenúltimo passo antes da abordagem (APP), comprimento do penúltimo passo antes da abordagem (PP), comprimento do último passo antes da abordagem (UP), distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) anterior à ultrapassagem, distância horizontal obstáculo-pé (DHOP) após a ultrapassagem, distância vertical pé-obstáculo (DVPO), erro absoluto (ERRO), duração do antepenúltimo passo (TAPP), duração do penúltimo passo (TPP), duração do último passo (TUP) e duração da ultrapassagem da perna de abordagem (TULT). As variáveis dependentes foram estatisticamente tratadas, por tentativa, através de Análise de Variância (ANOVA oneway), com medidas repetidas para as condições de velocidade. O método de Tukey foi utilizado para localizar as diferenças entre as condições. Foi adotado nível de significância de $p \leq 0,05$ em todas as análises. Os resultados revelaram que a velocidade do obstáculo desencadeou ajustes espaciais e temporais nos passos anteriores ao obstáculo. Na ultrapassagem, os resultados evidenciaram que, na velocidade baixa, os participantes aproximaram-se mais do obstáculo antes da ultrapassagem, aumentaram a margem de segurança sobre o obstáculo e a distância após a ultrapassagem, erraram menos e demoraram mais para ultrapassar o obstáculo. Entretanto, na velocidade alta, os participantes aumentaram ainda mais a margem de segurança sobre o obstáculo e afastaram-se mais após a ultrapassagem. Estes resultados indicam que ocorreram modificações no padrão de aproximação e ultrapassagem do obstáculo de acordo com a velocidade.

Palavras-chave: locomoção, obstáculo móvel, estratégias adaptativas, controle motor.

Sumário

RESUMO	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Locomoção e informações sensoriais	5
2.2. A locomoção e a ultrapassagem de obstáculos	11
3. OBJETIVOS	18
5. MATERIAL E MÉTODO	19
5.1. Participantes	19
5.2 Instrumentos para coleta e análise dos dados	20
5.2.1 – Vestimenta	20
5.2.2 – Marcadores	21
5.2.3 – Filmadoras digitais e iluminação do ambiente.....	21
5.2.4 – Calibrador.....	22
5.2.5 – Processamento dos sinais	23
5.2.6 – Obstáculo	24
5.3. Procedimentos	25
5.3.1 – Consentimento e dados pessoais	26
5.3.2 – Medidas antropométricas	26
5.3.3 – Tarefa.....	27
5.4. Coleta e Análise dos dados.....	29
5.4.1 – Variáveis Dependentes	30

5.5. Tratamento estatístico.....	36
6. RESULTADOS.....	38
6.1 Variáveis espaciais	40
6.1.1 Comprimento dos passos anteriores à abordagem: APP, PP, UP. ...	41
6.1.2 Variáveis de relacionadas à ultrapassagem: DHPO, DVPO, ERRO, DHOP.....	43
6.2 Variáveis Temporais: TAPP, TPP, TUP, TULT.	46
7. DISCUSSÃO	51
7.1 Estratégias locomotoras adaptativas: velocidade alta do obstáculo	54
7.2 Estratégias locomotoras adaptativas: velocidade baixa do obstáculo.....	58
7.3 Estratégias locomotoras adaptativas: comparação entre velocidade baixa e alta	62
8. CONCLUSÃO	68
9. REFERÊNCIAS.....	69
ABSTRACT	75
ANEXO I : Parecer do Comitê de Ética.....	76
ANEXO II: Formulário de Consentimento Livre e Esclarecido	77
ANEXO III: Ficha de Coleta de Dados	78
ANEXO IV: Tabela de médias e desvios-padrão	79

Lista de Figuras

Figura 1. Calibrador de fios de prumo visto pela câmera 1..	23
Figura 2. Sistema de tração do obstáculo: a) estrutura mecânica do sistema; b) caixa de controle eletrônico; c) carrinho, obstáculo e mecanismo de destravamento.	25
Figura 3: Representação do espaço experimental.	28
Figura 4. Variáveis horizontais espaciais e temporais: APP (comprimento do antepenúltimo passo), PP (comprimento do penúltimo passo), UP (comprimento do último passo), DHPO (distância horizontal pé-obstáculo), DHOP (distância horizontal obstáculo-pé), TAPP (duração do antepenúltimo passo), PP (duração do penúltimo passo), UP (duração do último passo), TULT (duração da ultrapassagem).	31
Figura 5. a) DVPO: distância vertical pé-obstáculo; b) ERRO: distância entre o quinto metatarso e o ponto médio do obstáculo.	31
Figura 6. Médias e desvios-padrão dos comprimentos do antepenúltimo passo (APP), do penúltimo passo (PP) e do último passo (UP) e distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) e distância horizontal obstáculo-pé (DHOP).	40
Figura 7. Médias e desvios padrão do comprimento do antepenúltimo passo (APP). As colunas representam as condições de velocidade do obstáculo: Controle (estacionário), Velocidade baixa (1,07 m/s) e Velocidade alta (1,71 m/s).	41
Figura 8. Médias e desvios padrão do comprimento do penúltimo passo (PP) nas condições Controle (C), Baixa (B) e Alta (A) e diferenças significativas: a entre C e B; b entre B e A.	42

Figura 9. Médias e desvios-padrão do comprimento do último passo (UP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: a entre C e B; b entre B e A.....	42
Figura 10. Médias e desvios padrão da distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: a entre C e B; b entre B e A.....	43
Figura 11. Médias e desvios padrão da distância vertical pé-obstáculo (DVPO) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A); diferença significativa: a entre C e A.	44
Figura 12. Médias e desvios padrão do erro absoluto (ERRO) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A); diferença significativa: a entre C e A.	45
Figura 13. Médias e desvios padrão da distância horizontal obstáculo-pé (DHOP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: a entre C e B; b entre B e A.....	46
Figura 14. Médias e desvios-padrão das durações do antepenúltimo passo (TAPP), do penúltimo passo (TPP) e do último passo (TUP) e da ultrapassagem (TULT).	47
Figura 15. Médias e desvios padrão da duração do antepenúltimo passo (TAPP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A); diferença significativa: a entre B e A.	48
Figura 16. Médias e desvios padrão da duração do penúltimo passo (TPP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: a entre C e B; b entre C e A; c entre B e A.....	49

- Figura 17.** Médias e desvios padrão da duração do penúltimo passo (TUP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A..... 49
- Figura 18.** Médias e desvios padrão da duração da ultrapassagem (TULT) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A..... 50
- Figura 19:** Trajetória do quinto metatarso durante a ultrapassagem vista pela câmera 2: **a** - condição controle (obstáculo estacionário); **b** – condição de velocidade baixa (1,07 m/s); **c** – condição de velocidade alta (1,71 m/s). 66

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características individuais por participante e correspondente altura do obstáculo (gênero: F para feminino e M para masculino; idade em meses; massa corporal em kg; estatura em cm; AJ: altura do joelho em cm; altura do obstáculo em cm).....	38
---	----

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade do indivíduo, entendida como o deslocamento do corpo no espaço, com o objetivo de alcançar determinada meta, é fundamental para a sobrevivência do ser humano. Dessa maneira, a locomoção torna-se uma oportunidade de explorar e interagir com o meio ambiente. A maneira mais segura e econômica de locomoção é o andar. Embora a habilidade de andar seja cotidiana, é considerada uma atividade complexa que exige a ação de muitos músculos e o deslocamento coordenado de segmentos do corpo produzindo uma efetiva mudança de localização no ambiente. Considerando a dinâmica dessa tarefa, caracterizada por perdas e recuperações do equilíbrio durante o ciclo de passadas, são necessários para a execução de tal habilidade: orientação e equilíbrio posturais (HORAK e MACPHERSON, 1996); adaptação às mudanças ambientais, como por exemplo, às irregularidades da superfície (PATLA e SHUMWAY-COOK, 1999), condições de luminosidade, textura da superfície e dos objetos que estão ao redor.

Na locomoção, alguns sistemas do organismo estão em constante interação entre si, no caso, os sistemas sensoriais e efector. Ainda que exista uma automatização do andar, quando há um aumento da complexidade do ambiente, como por exemplo, a presença de diferentes objetos ou pessoas no

percurso, essa interação sensorial e motora passa a ser imprescindível (GOBBI e PATLA, 1997). A locomoção em ambientes complexos exige maior demanda atencional, assim, andar pelas ruas onde o tráfego de pessoas, animais, carros ou até mesmo no ambiente doméstico entre os mobiliários e diferenças de superfície, requer um acoplamento harmônico dos sistemas sensorial e efector para uma locomoção segura (GOBBI e PATLA, 1997; GONÇALVES, MORAES e GOBBI, 2000).

Para a perspectiva contextual, o comportamento emerge a partir de um conjunto de restrições internas e externas (HAYWOOD e GETCHELL, 2004). Essas restrições influenciam ou delineiam a realização de movimentos (BARELA, 1997) e podem estar relacionadas ao organismo, ao ambiente ou à tarefa (NEWELL, 1986; CLARK, 1994). Entender como essas restrições influenciam na locomoção dos indivíduos torna-se, para a comunidade científica, o arcabouço de indagações que, à medida que são esclarecidas, podem transformar-se para estes indivíduos benefícios para facilitar a ação motora durante atividades da vida diária. Dessa maneira, estudar as adaptações locomotoras geradas a partir de restrições tem sua importância visto que a relação entre o indivíduo que se locomove e o ambiente faz-se de maneira dinâmica.

Alguns estudos têm demonstrado estas adaptações na transposição de obstáculos estacionários no caminho percorrido (PATLA, 1991; PATLA e RIETDYK, 1993; PATLA, RIETDYK, MARTIN e PRENTICE, 1996; GONÇALVES, MORAES e GOBBI, 2000; KRELL e PATLA, 2002; MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA, 2004). Seus resultados apontam para um

acoplamento entre o sistema sensorial e efetor, o qual é responsável pelas modulações motoras para atingir a meta da tarefa. O sucesso da realização das tarefas está relacionado com a escolha que o indivíduo faz para realizar determinado movimento. Na locomoção, por exemplo, quando um obstáculo se encontra à frente, pode-se escolher desviar (passar pelo lado) ou transpor (passar por cima), sempre de forma a garantir um deslocamento seguro e com sucesso, mantendo o equilíbrio e gerando força apropriada para minimizar o gasto energético (PATLA, 1991; PATLA et al., 1996). Essas escolhas vantajosas de locomoção são chamadas de estratégias, que são entendidas como duas ou mais variações do comportamento em direção ao mesmo objetivo final (TROISI, 2005) e são desencadeadas para garantir o sucesso da ação motora (LATASH e ANSON, 1996).

Entretanto, considerando que indivíduo e ambiente encontram-se dinamicamente relacionados e que o indivíduo encontra no ambiente situações também em movimento, o presente estudo analisou as estratégias locomotoras da ultrapassagem de obstáculo que se movimenta em diferentes velocidades. Assim, as questões que nortearam este estudo foram: Como as pessoas adaptam seu andar frente a um objeto (obstáculo) em movimento? Quais parâmetros espaciais e temporais o indivíduo altera para, com sucesso, realizar a tarefa?

As estratégias locomotoras adaptativas podem ser observadas por meio dos parâmetros espaço-temporais do andar: comprimento e duração dos passos anteriores e durante a ultrapassagem do obstáculo. Especificamente, este estudo buscou o aprofundamento na compreensão dos mecanismos

sensoriais e efetores na locomoção diante de restrições do ambiente (obstáculo em movimento horizontal e perpendicular com a trajetória de ultrapassagem). Esta compreensão pode fundamentar e dar suporte à ação de profissionais em que a locomoção coloca-se como foco de atuação, entre elas a Educação Física e a Ciência da Reabilitação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para aprofundar o entendimento dos processos envolvidos na locomoção em ambientes complexos e para fundamentar os procedimentos metodológicos empregados, a revisão de literatura considera as seguintes temáticas: *a locomoção e os sistemas sensoriais e a locomoção e a ultrapassagem de obstáculos.*

2.1. Locomoção e informações sensoriais

Durante a locomoção, o corpo está em fluxo dinâmico. As partes do corpo estão mudando continuamente em termos de posição e orientação, sendo possível observar o movimento do corpo como um todo em relação ao meio ambiente. Essa relação obedece a uma hierarquia de problemas locomotores que o indivíduo deve resolver: o primeiro diz respeito ao planejamento de uma rota, em que se torna necessário captar informações sobre a natureza do terreno e as localizações dos pontos de início e parada, sendo uma prescrição grosseira do que o sistema deve fazer. O segundo

acontece em nível mais específico, ou seja, um planejamento específico do caminho através do terreno. Dentre as formas complexas de terrenos, com tipos de solo diferentes e de obstáculos no caminho, é necessário que o sistema obtenha informações pertinentes para avaliar este caminho e realizá-lo da forma mais eficiente (LEE e LISHMAN, 1977).

Para uma locomoção bem sucedida nos diversos ambientes, algumas exigências são fundamentais: a progressão do corpo na direção desejada; a estabilidade (manter-se em equilíbrio) frente à gravidade; e a adaptação às demandas do ambiente. Assim, os requisitos básicos para um andar seguro e eficiente são: produção de um ritmo locomotor básico; controle do equilíbrio do corpo em movimento; e adaptação em relação às exigências do ambiente e ao objetivo da tarefa (PATLA, 1991; SHUMAWAY-COOK e WOOLLACOTT, 1995).

Andar requer um padrão coordenado de contrações e relaxamentos musculares. Este padrão sinérgico também apresenta um componente rítmico, que pode ser voluntariamente modificado de acordo com as características do terreno, por exemplo. Estas modificações no andar refletem diferentes modulações do sistema efetor. Na modulação precisa do sistema locomotor, os sistemas sensoriais exercem papel fundamental na captação de informações relativas ao ambiente e ao organismo (relação dinâmica entre os segmentos corporais) (GOBBI e PATLA, 1997).

O controle do equilíbrio requer informações provenientes de todo o sistema sensorial, especialmente as informações advindas dos sistemas somatosensorial, visual e vestibular (HORAK e MACPHERSON, 1996; GOBBI

e PATLA, 1997). A visão capta informações, à distância, de objetos e eventos no ambiente circundante e da relação entre as partes do corpo, esses objetos e eventos no ambiente. Para o sistema somatosensorial, os receptores articulares fornecem informação sobre a posição e o movimento dos segmentos do corpo, os receptores musculares informam sobre a contratilidade dos músculos e a velocidade com que eles mudam e os mecano-receptores informam sobre as deformidades da pele. As informações provenientes do sistema vestibular auxiliam na estabilização tanto da posição da cabeça em relação à atração da gravidade como da imagem visual (CROMWELL, 2003). A informação vestibular é necessária em tarefas complexas que demandam maior equilíbrio (BENT, MCFADYEN, MERKLEY, KENNEDY e INGLIS, 2000), como é o caso da locomoção em terrenos irregulares. O tracto vestibulo-espinhal, entre outros, foi considerado essencial para a ocorrência da locomoção, exercendo influência no gerador central de padrão para a produção de movimentos locomotores suaves (DUYSENS e VAN DE CROMMERT, 1998).

Somente com a integração das informações sensoriais (vestibulares, visuais e somatosensoriais), o indivíduo pode controlar sua postura e os movimentos do seu corpo (KANDELL, 1991; HORAK e MACPHERSON, 1996; OIE, KIEMEL e JEKA, 2002). Para a realização da tarefa proposta neste estudo, ultrapassar um obstáculo em movimento, a integração das informações sensoriais é fundamental. Entretanto, a visão é crítica nesta tarefa, pois é capaz de fornecer informações sobre o deslocamento do obstáculo e do participante e permite estimar o tempo para o contato.

A partir dos papéis exercidos pelos sistemas sensoriais, pode-se destacar três tipos de informações que são cruciais para o controle da locomoção: *exteroceptiva* – informação fornecida pela visão sobre as formas do ambiente, dos objetos, das superfícies e eventos que nele estão contidos – necessária para o planejamento geral e específico do caminho a ser percorrido e, durante a locomoção em terrenos irregulares, são fundamentais para planejar com antecedência as estratégias adaptativas a serem executadas; *proprioceptiva* – informação fornecida pelos receptores somatosensoriais e vestibulares sobre as posições e movimentos das partes do corpo em relação umas às outras – necessária para o controle das ações segmentares; *exproprioceptiva* – informação fornecida basicamente pela visão sobre a posição, orientação e movimento do corpo como um todo e de suas partes em relação ao ambiente – necessária para a orientação do corpo através do ambiente, fornecendo informação particularmente sobre a velocidade e orientação do corpo e de seus segmentos (LEE e LISHMAN, 1977; GIBSON, 1982; PATLA, PRENTICE e GOBBI, 1996; GOBBI e PATLA, 1997; GOBBI, MENUCHI, UEHARA e SILVA, 2003).

Ao locomover-se, raramente o indivíduo encontra no caminho um ambiente regular, ou seja, sem ondulações, degraus, objetos espalhados e pisos completamente regulares. Alterações nas características do caminho provocam no organismo modulações nos padrões de movimento para que se ajuste de maneira a conseguir transpassá-lo com segurança.

O sistema visual fornece informação sobre o ambiente circundante, incluindo a direção e velocidade de objetos e movimentos do corpo que podem

ser usadas para controlar a ação (NASHNER, 1981; PAULUS, STRAUBE, KRAFCZYC e BRANDT, 1989). Isto também se aplica ao controle postural, pois SCHÖNER, DIJKSTRA e JEKA (1998) sugeriram que a informação de movimento capturada pelo sistema visual deve ser interpretada pelo sistema de controle postural em relação ao movimento do objeto e ao movimento do indivíduo. A percepção do próprio movimento ocorre quando o sistema de controle postural detecta e interpreta mudanças no fluxo ótico, o resultado da oscilação do corpo. Ainda, ao mesmo tempo, esta informação é usada para regular o somatório de oscilações do corpo.

Para GIBSON (1966), a percepção visual não é simplesmente resultado da imagem refletida na retina em diferentes momentos. Um objeto é visto não como a sucessão de estímulos distintos, mas pela transformação do arranjo óptico ao longo do tempo. LEE e LISHMAN (1977) descreveram matematicamente um modelo óptico de ação relacionando-o com tempo para o contato. Esta é uma variável potencialmente usada para o controle de ações tanto para agarrar quanto para rebater um objeto, que envolve interação com objetos em movimento (TRESILIAN, 1991). O tempo para contato (TC) é a informação temporal contida no padrão de expansão óptica que possibilita o controle das ações. A imagem de um objeto que se movimenta em aproximação se expande na retina. O tempo gasto pelo objeto até o observador é especificado por uma variável ótica de TC, denominada tau (τ) por LEE (1976), que corresponde ao inverso da quantidade de dilatação da imagem do obstáculo numa velocidade constante. Nos estudos de LEE e LISHMAN (1977) e TRESILIAN (1991), o tempo para contato e o fluxo óptico foram investigados

quando ou o objeto se movimentava ou o indivíduo se movimentava e, em ambos, no mesmo plano e com sentidos opostos. Assim, os padrões de expansão e retração da imagem na retina se apresentaram como os melhores indicadores de tempo para contato e fluxo óptico. No caso do presente estudo, o indivíduo e o objeto estão em movimento e as trajetórias perpendiculares, requerendo detalhamento nas informações espaço-temporais que indicam quando o contato irá ocorrer. Para que este detalhamento seja obtido, é importante considerar que, no caso do presente estudo, o padrão de expansão da imagem do obstáculo movendo-se perpendicularmente é diferente em cada uma das hemi-retinas (MASON e KANDELL, 1991), especialmente a hemi-retina nasal direita e a hemi-retina temporal esquerda.

Para que a ultrapassagem de um obstáculo móvel seja bem sucedida, o sistema visual deve captar as informações relevantes sobre o deslocamento de ambos. Simultaneamente, os sistemas somatosensorial e vestibular devem fornecer informações sobre as orientações e velocidades de deslocamento dos segmentos corporais e do corpo como um todo. Desta forma, há necessidade que as informações sensoriais sejam integradas entre si e possam modular o sistema efector. Assim, todas essas informações quando acopladas ao sistema efector garantem a segurança da locomoção em ambientes complexos e mais especificamente na transposição de obstáculos. É o que trata o tópico seguinte desta revisão.

2.2. A locomoção e a ultrapassagem de obstáculos

O comportamento motor humano envolve um conjunto de restrições internas e externas. Essas restrições delineiam e influenciam a realização de movimentos e podem estar relacionadas ao organismo, ao ambiente ou à tarefa (NEWELL, 1986; CLARK, 1994; BARELA, 1997).

Em um ambiente complexo, com diferenças de superfícies (planas, íngremes, lisas, ásperas) e com objetos que nele se localizam ou se movimentam (pedras, animais, pessoas), o organismo sofre maior influência destas restrições. Dessa maneira, viver neste ambiente requer a utilização de estratégias adaptativas para que a locomoção tenha sucesso. A locomoção em ambientes complexos requer travessias em terrenos e locais nem sempre previsíveis. Por esta razão, o sistema locomotor humano deve possuir a habilidade adaptativa para desviar obstáculos e transpor terrenos irregulares (KRELL e PATLA, 2002). Neste contexto, estratégias são entendidas como duas ou mais variações do comportamento em direção ao mesmo objetivo final (TROISI, 2005) e são desencadeadas para garantir o sucesso da ação motora (LATASH e ANSON, 1996).

A ultrapassagem de obstáculo envolve vários graus de dificuldade e risco desde um simples objeto no chão até atividades atléticas como salto em altura. O acoplamento entre os sistemas sensorial e motor é revelado nas estratégias realizadas pelo indivíduo ao transpor obstáculos. Essas estratégias nada mais são do que escolhas vantajosas de locomoção, ou seja, são diferentes opções que podem ser tomadas para garantir a segurança, como por

exemplo, desviar ou ultrapassar o obstáculo. Portanto, entre escolher passar por cima ou desviar um obstáculo mais alto que o comprimento da perna, um indivíduo, por questões físicas e emocionais, escolheria desviar o obstáculo se a ele fosse dada esta opção. Este comportamento garantiria um desvio seguro e com sucesso mantendo o equilíbrio e gerando força apropriada para minimizar o gasto energético (PATLA, 1991; PATLA et al., 1996). A escolha entre ultrapassar e desviar o obstáculo representa uma estratégia ampla para lidar com o ambiente complexo. Entretanto, na execução de qualquer uma das escolhas feitas, o sistema efector altera seu padrão de andar em diferentes aspectos, como por exemplo, no comprimento do passo, na amplitude da base de suporte, na elevação do membro inferior. Estas alterações também indicam que estratégias adaptativas foram empregadas.

PATLA e colaboradores têm desenvolvido uma série de estudos utilizando o paradigma da locomoção com ultrapassagem de obstáculos, sendo que, em todos eles, o obstáculo estava estacionário. PATLA, PRENTICE, ROBINSON e NEUFIELD (1991), em estudo sobre estratégias de desvio de obstáculos, revelaram que um ciclo de passada anterior ao obstáculo é suficiente para que o indivíduo promova os ajustes posturais necessários para executar um desvio ou ultrapassagem segura. Manipulando as características do obstáculo, PATLA e RIETDYK (1993) concluíram que altura, largura e direção do obstáculo influenciam na trajetória do pé sobre o obstáculo, mostrando que os participantes foram hábeis em julgar as dimensões dos obstáculos e proativamente mudaram suas trajetórias para prover uma margem de segurança sobre o obstáculo. Em outro estudo, PATLA, RIETDYK, MARTIN

e PRENTICE (1996) relataram que a forma geométrica e o material (frágil e sólido) não atingiram níveis consistentes de diferença, apenas uma tendência de aumentar a margem de segurança sobre o obstáculo frágil.

Estudos sobre estratégias de ultrapassagem têm utilizado como variáveis dependentes: a distância pé-obstáculo (DHPO: medida da posição da perda do contato do pé de abordagem com o solo até o obstáculo) e a distância vertical pé-obstáculo (DVPO: medida da extremidade superior do obstáculo até o quinto metatarso do pé de abordagem no momento da ultrapassagem do obstáculo) (PATLA, 1991; PATLA et al., 1993; PATLA et al., 1996; GONÇALVES, MORAES e GOBBI, 2000; KRELL e PATLA, 2002). Mais recentemente, SILVA, OLIVEIRA e GOBBI (2004) e SILVA, GOBBI, SIMÕES e SILVEIRA (2005) analisaram a distância entre o obstáculo e o pé após a ultrapassagem (DHOP). Essas variáveis têm sido selecionadas por oferecerem oportunidades para mensurar as estratégias locomotoras adaptativas empregadas pelos participantes (PATLA et al., 1993; PATLA et al., 1996). A DHPO permite observar a aproximação do indivíduo em relação ao obstáculo, que pode refletir ajustes locomotores decorrentes da percepção das características do obstáculo. Por exemplo, um obstáculo com altura próxima ao joelho do participante pode requerer uma colocação do pé mais próxima do obstáculo para garantir maior elevação da perna com manutenção da projeção do centro de massa mais próximo à base de suporte. A DVPO favorece a verificação da margem de segurança sobre o obstáculo, ou seja, é medida chave que mostra a acurácia da transformação sensório-motora durante o controle da elevação da perna. A DHOP indica a necessidade de estabilizar o

sistema, ou seja, a distância de colocação do pé depois da ultrapassagem garante a continuidade da locomoção.

VALLIS e MCFADYEN (2003) estudaram as mudanças que ocorrem nos três últimos passos anteriores ao desvio de um obstáculo cujas dimensões (2m de altura por 23cm de diâmetro) impediam a ultrapassagem por cima. Os resultados não revelaram diferenças significativas no comprimento dos passos prévios ao desvio. Mudanças na largura nos três passos antes do cruzamento do obstáculo, mas não durante a ultrapassagem, foram observadas. Ajustes no sentido médio-lateral anteriores à colocação do pé asseguraram um controle lateral do centro de massa, gerando um desvio seguro do obstáculo.

Ao realizar a tarefa de ultrapassar sobre um ou dois obstáculo que se localizavam a 4 ou 5 passos à frente, participantes tiveram a oportunidade de visualmente guiar tanto os ajustes de comprimento da passada, assegurando a colocação consistente do pé antes do obstáculo, como na margem de segurança sobre o obstáculo (KRELL e PATLA, 2002; MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA, 2004).

MOHAGHEGHI et al. (2004) estudaram a natureza e o papel da distância da informação visual mostrada durante a locomoção no controle feedforward da perna de abordagem e de suporte na transposição de obstáculo. Combinando a amostragem visual (estática – no ponto de partida e dinâmica – dois a três passos antes do ponto de partida) durante as fases de aproximação e ultrapassagem, aos participantes era dada uma amostragem enquanto iniciavam o percurso e que depois era suprimida até duas passadas antes e após a ultrapassagem. Os resultados deste estudo mostraram que a

amostragem dinâmica inicial foi suficiente para garantir o sucesso na realização da tarefa tanto para a perna de abordagem quanto para a de suporte, sugerindo um planejamento (feedforward) facilitado pela informação visual dinamicamente disponível. Contudo, foi identificado um aumento na distância de colocação do pé antes do obstáculo (DHPO) e na elevação do pé sobre o obstáculo (DVPO) quando a informação visual era retirada próxima ao obstáculo. Além disso, a correlação entre DVPO e DHPO foi diminuída nestas condições. Observaram também que, enquanto ambas as pernas requereram informação visual feedforward para controlar a ultrapassagem, somente a elevação da perna de abordagem foi influenciada pela acessibilidade da informação visual on-line durante a ultrapassagem. Melhor comportamento locomotor foi observado nas condições de amostragem visual dinâmica.

Recentemente, a modulação do sistema efetor foi observada na tarefa de ultrapassagem de obstáculo móvel (SANTOS e PATLA, submetido). O papel da visão como fonte de informação para o planejamento da ação locomotora foi analisado, com ênfase no fluxo óptico. O deslocamento (para frente e para trás) e o tamanho do obstáculo foram manipulados e acionados por meio de um sistema de sensores dois passos antes da ultrapassagem. Os resultados evidenciaram que os participantes aumentaram o comprimento do último passo para posicionar o pé mais próximo ao obstáculo à medida que o obstáculo se afastava. Os participantes também elevaram mais o pé no último passo. O tamanho do obstáculo não alterou significativamente estas variáveis. Estes resultados permitiram aos autores sugerir que o sistema nervoso central (SNC)

seleciona a informação específica do ambiente, a qual é mais relevante para os ajustes de um ciclo de passada.

Em suma, quando a informação sobre um obstáculo estacionário é percebida durante a fase de aproximação, o desvio do mesmo pode ser planejado antecipadamente usando a informação visual de maneira feedforward. Quando o obstáculo foi movimentado à frente do indivíduo, a informação visual permitiu ajustes on-line no padrão locomotor. Assim, em um ambiente dinâmico com movimento do obstáculo, a habilidade de perceber mudanças é fundamental (SANTOS e PATLA, submetido).

Estes estudos realizados para investigar a modulação do sistema efector pelas informações visuais em tarefa de ultrapassagem de obstáculos (PATLA, 1991; PATLA et al., 1993; PATLA et al., 1996; GONÇALVES, MORAES e GOBBI, 2000; KRELL e PATLA, 2002; MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA, 2004; SANTOS e PATLA, submetido) têm empregado um ou mais obstáculos estacionários no percurso e movimentação frontal na direção do percurso. Na tentativa de aumentar a validade ecológica deste estudo, aproximando a tarefa locomotora de ultrapassagem de obstáculos de tarefas encontradas na comunidade (andar por ruas movimentadas por veículos, bicicletas e pessoas), em ambiente doméstico (pessoas e animais se movendo) e em atividades esportivas (“carrinho do futebol”, finta, etc.), o obstáculo foi movimentado perpendicularmente à progressão do participante. Situações como estas requerem que indivíduos percebam, planejem e ajam de acordo com as alterações do ambiente. Assim, este estudo propôs-se a analisar, por meio das

mudanças no padrão espaço-temporal de andar, as estratégias adaptativas empregadas frente à tarefa de ultrapassagem de obstáculo móvel.

3. OBJETIVOS

De forma geral, o objetivo deste experimento foi descrever e analisar os parâmetros espaço-temporais do comportamento locomotor frente à tarefa de ultrapassar um obstáculo móvel. Especificamente, pretendeu-se identificar as estratégias locomotoras adaptativas na transposição de obstáculo sob 2 condições de velocidade de obstáculo, baixa e alta, em relação ao comportamento locomotor na ultrapassagem de obstáculo imóvel.

5. MATERIAL E MÉTODO

Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da UNESP, Campus de Rio Claro (ANEXO I).

5.1. Participantes

Foram convidados, intencionalmente, na comunidade universitária da UNESP/RIOCLARO, 10 indivíduos adultos jovens (idades entre 20 e 30 anos), sem comprometimento neurológico ou ósteo-mio-articular conhecido e com visão normal ou corrigida pelo uso de óculos ou lentes de contato. A escolha desta faixa etária ocorreu devido à necessidade de estabelecer rotinas consistentes para o protocolo, uma vez que o estudo apresenta características peculiares (obstáculo em movimento perpendicular) não encontradas na literatura. Esta opção foi necessária para reduzir a variabilidade dos dados. Os universitários foram convidados a participar do estudo e, após assinar o termo de consentimento livre e esclarecido de participação, foram considerados voluntários. Os critérios clínicos de exclusão da amostra foram avaliados a

partir do relato do participante. Esses critérios foram: a) desordens sensório-motoras que dificultassem a realização da tarefa; b) comprometimentos neurológicos, ósteo-musculares e articulares relatados; c) fraturas prévias no membro inferior que interferissem na execução da tarefa.

5.2 Instrumentos para coleta e análise dos dados

5.2.1 – *Vestimenta*

O participante usou uma vestimenta especial para o estudo, constituída por: calça de lycra preta, sem brilho, revestida com velcros nas proximidades das articulações do quadril e joelho para a fixação dos marcadores nas referências anatômicas; meias de lycra também revestidas com velcros para a fixação dos marcadores dos maléolos; sapatilhas pretas com solado antiderrapante com velcros na parte lateral do pé direito e medial do pé esquerdo. Não houve restrição quanto à vestimenta no tronco e membros superiores.

5.2.2 – Marcadores

Marcadores passivos foram construídos com bolinhas de isopor (2 cm de diâmetro) cortadas ao meio, revestidas com papel reflexivo e coladas no velcro. Para o registro de seus deslocamentos articulares, esses marcadores foram fixados nos seguintes pontos anatômicos: quinto metatarso, face lateral do calcâneo, maléolo lateral do membro inferior direito e nos pontos correspondentes à porção medial do membro inferior esquerdo, e ainda, epicôndilo lateral direito, trocânter maior direito. Duas marcas foram colocadas nas duas faces do obstáculo (lisa e rugosa), localizadas no ângulo superior oposto ao mecanismo de tração do obstáculo. Para o cálculo das variáveis deste estudo foram utilizados os deslocamentos do quinto metatarso e calcâneo direitos e do primeiro metatarso e calcâneo esquerdos em relação ao obstáculo. Os deslocamentos dos demais marcadores serão empregados em futuras análises.

5.2.3 – Filmadoras digitais e iluminação do ambiente

Duas filmadoras digitais de vídeo, marca JVC (modelo GR – DVL 9800, do Laboratório de Análise Biomecânica – UNESP/RIO CLARO), foram usadas para a coleta das imagens. Estas possuem características especiais como foco e *shutter* manuais, além de fornecer ajuste da frequência de registro de

imagem. Para o estudo, o foco foi ajustado com máxima abertura, o *shutter* registrado em 1/250 e frequência de coleta a 60 Hz. As filmadoras foram posicionadas de maneira a registrar a trajetória de todos os marcadores, para a futura reconstrução tridimensional. A reconstrução tridimensional justifica-se pela movimentação dos pontos nos planos horizontal e vertical (participante) e ortogonal (obstáculo). Posicionados no plano sagital direito, holofotes com lâmpadas de 500W de potência proporcionaram maior reflexão dos marcadores, aumentando a precisão da medição. A utilização de duas câmeras permitiu a análise dos dados em 3D, uma vez que participante (horizontal e vertical) e obstáculo (profundidade) movimentaram-se em planos diferentes.

5.2.4 – Calibrador

Um calibrador foi construído com 8 fios, com pesos nas pontas, fixados no teto da sala de coleta e constituídos de 3 bolinhas de isopor dispostas com intervalos de 50 cm cada um, somando 24 pontos de referência ao longo da passarela. Esses pontos foram utilizados para ajustar os valores medidos nas imagens digitais à situação experimental, no plano cartesiano. O eixo “y” foi determinado como sendo na direção vertical, sentido para cima. O eixo “x” foi orientado na direção horizontal, no sentido 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, sentido da profundidade da imagem (Figura 1).

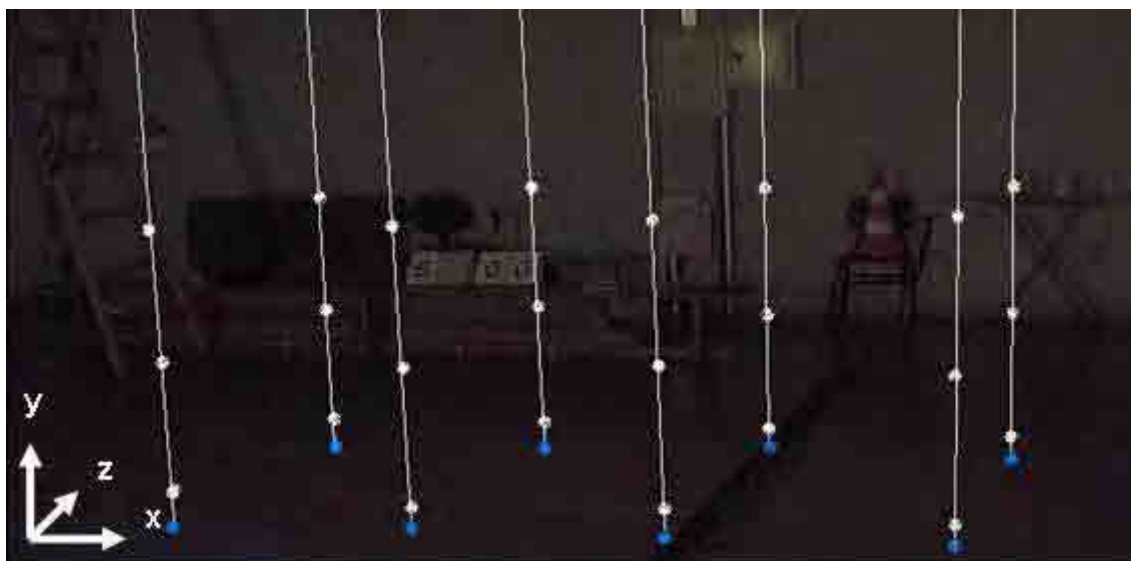


Figura 1. Calibrador de fios de prumo visto pela câmera 1. Os fios e os marcadores foram realçados para melhor visualização. Em branco, 24 marcadores; em azul, 8 massas de chumbo usadas para imobilizar os fios.

5.2.5 – Processamento dos sinais

Para o processamento dos sinais foi utilizado um computador Pentium 4 (240Ghz, 1.60Ghz, 512 MB de RAM) com uma placa de vídeo acoplada (marca PINNACLE, modelo STUDIO DV, versão 1.05.307) e os softwares DVIDEOW – Digital Video for Windows (Laboratório de Instrumentação em Biomecânica e Instituto de Computação – Unicamp, 1998 – versão 6.3; BARROS et al., 1999) e MATLAB (The Matworks Inc., 2002, versão 6.5). Este equipamento e softwares permitiram os procedimentos de captura, mensuração e cálculo das variáveis do estudo.

5.2.6 – Obstáculo

O obstáculo ultrapassado pelos participantes foi construído de madeira de revestimento, “eucadur”, tendo uma das faces lisa e brilhante e outra rugosa e fosca, a qual ficou voltada para o participante. Suas dimensões são conhecidas: 50cm de comprimento e 0,5cm de espessura. A altura do obstáculo foi personalizada para cada participante correspondendo à altura aproximada do joelho. Este obstáculo foi encaixado no carrinho que o conduziu pelos trilhos. O mecanismo de tração do obstáculo (trilhos, carrinho, caixa de controle), construído especialmente para este fim, foi feito de aço, com trilhos de encaixe que somam 6 m de comprimento e possuem 6cm de altura (Figura 2a). O carrinho no qual foi encaixado o obstáculo possui 5,5cm de altura e 50cm de comprimento. O carrinho possui um mecanismo que, ao menor toque, destrava-se instantaneamente (Figura 2c), visando a máxima segurança do participante para realizar a tarefa. A caixa de controle comanda um motor (marca WEG, modelo 71, 0,33 cv, trifásico, 1,6 A, 60 Hz, 220 v, 1720 RPM) por meio de um inversor de frequência (marca TOSHIBA, modelo VF-SX, 220 v, 0,75 kw) que registra em seu painel a frequência de rotação do motor. Acoplada ao inversor foi colocada uma chave que direciona o sentido de movimentação do obstáculo (Figura 2b).



Figura 2. Sistema de tração do obstáculo: a) estrutura mecânica do sistema; b) caixa de controle eletrônico; c) carrinho, obstáculo e mecanismo de destravamento.

5.3. Procedimentos

Os procedimentos realizados neste estudo respeitaram os passos protocolados, a seguir:

5.3.1 – Consentimento e dados pessoais

Individualmente, a cada participante foram solicitados o preenchimento e a assinatura de um termo de consentimento livre e esclarecido de participação no estudo (ANEXO II). Uma ficha de coleta foi anexada com os dados pessoais do participante, como: nome completo, data de nascimento, endereço. A seguir, o participante recebeu um código que preservou sua identidade confidencial.

5.3.2 – Medidas antropométricas

Medidas antropométricas foram coletadas para caracterização da amostra recrutada. A massa corporal e a estatura foram obtidas em uma balança da marca WELMY, modelo 110, com toeza e precisão de 100g para a massa corporal e 0,5cm para a estatura. Os participantes permaneceram sobre a balança, eretos, estáticos e descalços com o olhar fixado no horizonte. O comprimento da perna compreendeu a distância entre o epicôndilo lateral (joelho) e o maléolo lateral. A altura do tornozelo foi obtida pela distância entre o maléolo lateral e o chão. A somatória da altura do tornozelo e do comprimento da perna foi utilizada para que a altura do obstáculo pudesse ser personalizada. Os comprimentos dos segmentos do membro inferior direito foram obtidos por meio de uma fita métrica. Para obter as medidas do comprimento e largura do pé, os participantes pisaram sobre uma folha de

papel que foi contornado com uma caneta posicionada perpendicularmente à folha. Do contorno projetado no papel foram traçados eixos perpendiculares para a obtenção destas medidas, que foram utilizadas para análise da variável erro absoluto. Todos os procedimentos de coleta de dados antropométricos seguem as padronizações técnicas descritas por ALVAREZ e PAVAN (1999).

5.3.3 – Tarefa

A realização da tarefa consistiu em o participante percorrer andando uma passarela de 6 m de comprimento delimitada por um corredor de 0,50m de largura e ultrapassar o obstáculo que cruzou perpendicularmente sua trajetória em três condições de velocidade: controle (obstáculo estacionário), baixa (1,07 m/s) e alta (1,71 m/s). Essas velocidades foram escolhidas por apresentarem magnitude inferior e superior, respectivamente, à velocidade do andar adulto (1,33 m/s), referido por WINTER (1991). O ponto de início da tarefa foi personalizado para cada participante de forma a garantir que a ultrapassagem fosse liderada pela perna direita. Após, 3 tentativas de familiarização para cada condição (controle, velocidade baixa e alta) foram realizadas para reduzir o efeito de aprendizagem da tarefa, que não era o intuito deste estudo. Uma marca a 3,50 m de distância do trilho foi feita na passarela para marcar o ponto de acionamento do motor que movia o obstáculo. Assim, quando o participante invadissem a área após a marca, o obstáculo era acionado. O obstáculo, por sua vez, partia a uma distância de 3,00m do ponto de saída até o a borda final da

passarela (Figura 3). Para eliminar a percepção da aceleração do obstáculo, um anteparo de ~80cm de altura e 1m de comprimento foi colocado no início da trajetória do obstáculo.

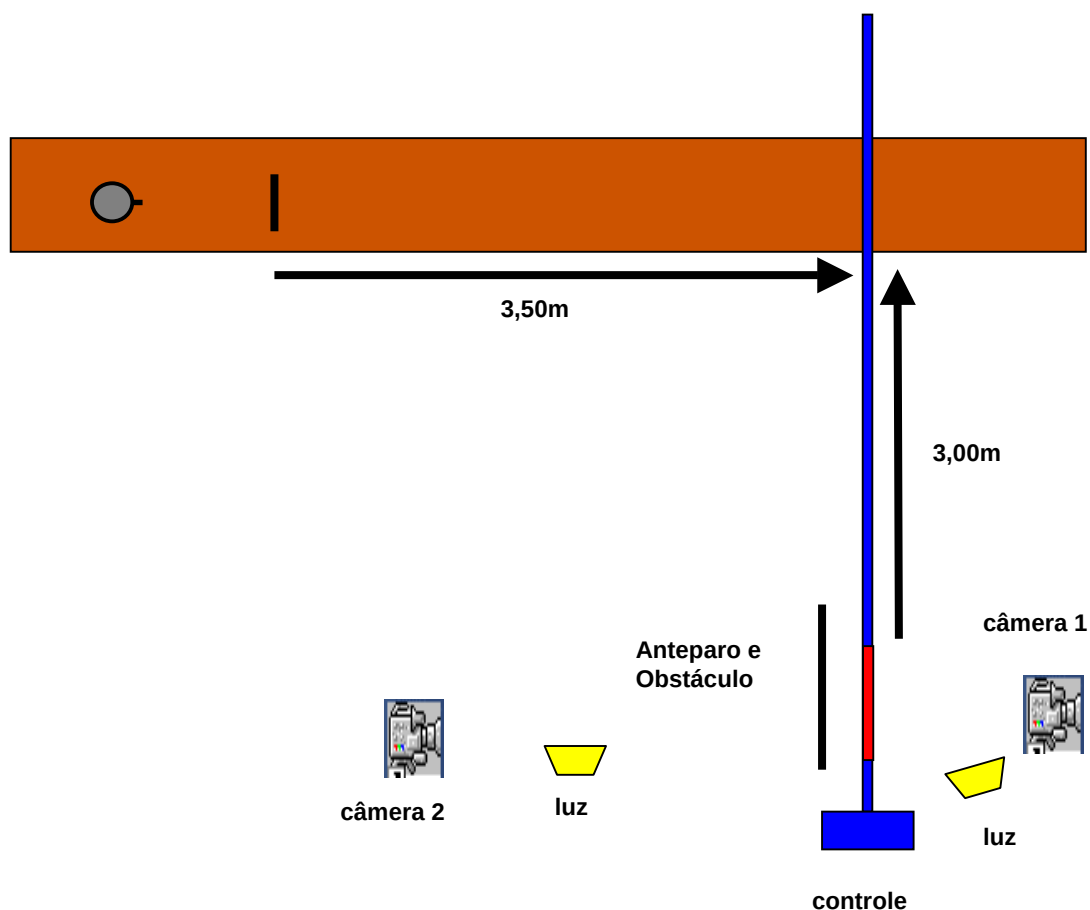


Figura 3: Representação do espaço experimental.

O participante foi instruído andar pela passarela e ultrapassar o obstáculo. Ele recebeu os sinais “prepara” e “vai” (ditos por um experimentador), para iniciar a tarefa. Outro experimentador ficou posicionado no final da passarela para verificar a validade de cada tentativa, ou seja, verificar visualmente se o pé direito passou sobre o obstáculo. Caso o

participante não ultrapassasse sobre o obstáculo, a tentativa era descartada e repetida no final de todas as tentativas daquele bloco. Ocorreu que, em algumas tentativas, devido às velocidades do obstáculo e do pé do participante estarem em direções diferentes, o experimentador não detectou visualmente o erro na ultrapassagem. Esses erros foram detectados na análise dos dados e, para não haver descarte dessas tentativas, optou-se por adotar o critério de validar a tentativa se esse erro não excedesse 10cm, o que corresponde a aproximadamente a largura média dos pés dos participantes. Foram coletadas 15 tentativas por participante, sendo 5 tentativas por condição apresentadas em bloco por condição. A apresentação dos blocos foi randomizada entre os participantes.

5.4. Coleta e Análise dos dados

As coletas foram realizadas na sala de coletas do Laboratório de Estudos da Postura e da Locomoção (LEPLO). O registro cinemático dos dados foi obtido pela descrição espacial dos marcadores articulares. As imagens foram registradas pelas câmeras, as quais foram sincronizadas por um sinal sonoro (“clack”). Após a coleta, os arquivos em vídeo foram capturados e armazenados no microcomputador. O processo de sincronização das duas câmeras foi feito por meio do sinal sonoro registrado pelas câmeras e reavaliado pelo evento (toque do calcanhar) coincidente ao sinal sonoro. Após a sincronização, foi realizado o desentrelaçamento de “*fields*” que compõem os

quadros do vídeo. Em seguida, realizou-se a digitalização dos pontos pela função “*track markers*” e os arquivos de mensuração, “.dsk” e “.dat”, foram salvos. A reconstrução tridimensional foi feita pelo método *Direct Linear Transformation* (DLT). Um teste da acurácia da reconstrução foi realizado utilizando um bastão de dimensão conhecida (49,6 cm de comprimento) e calculado por meio da normalização da dimensão real pela dimensão digital, sendo obtido um erro de 16,72 mm.

Em seguida, foram medidos os pontos do obstáculo, 5º metatarso, calcâneo e maléolo lateral direitos, 1º metatarso, calcâneo e maléolo medial esquerdos. Os demais pontos não foram utilizados neste estudo, mas foram arquivados para futuras análises. Pronta a medição, foi feita a reconstrução tridimensional e salvos os arquivos numéricos em formato texto (.txt).

Utilizando o software MATLAB (The Matworks Inc., 1998 – versão 5.3), os dados foram filtrados pelo filtro digital de Butterworth de 4ª ordem a uma frequência de corte de 5 Hz. Com o mesmo software foi construída uma rotina em arquivo “.m” para o cálculo das variáveis dependentes.

5.4.1 – Variáveis Dependentes

Foram selecionadas onze variáveis dependentes para análise: comprimento do antepenúltimo passo antes da abordagem (APP), comprimento do penúltimo passo antes da abordagem (PP), comprimento do último passo antes da abordagem (UP), distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) anterior à

ultrapassagem, distância horizontal obstáculo-pé (DHOP) após a ultrapassagem (Figura 4), distância vertical pé-obstáculo (DVPO) (Figura 5), erro absoluto (ERRO), duração do antepenúltimo passo (TAPP), duração do penúltimo passo (TPP), duração do penúltimo passo (TUP) e duração da ultrapassagem da perna de abordagem (TULT).

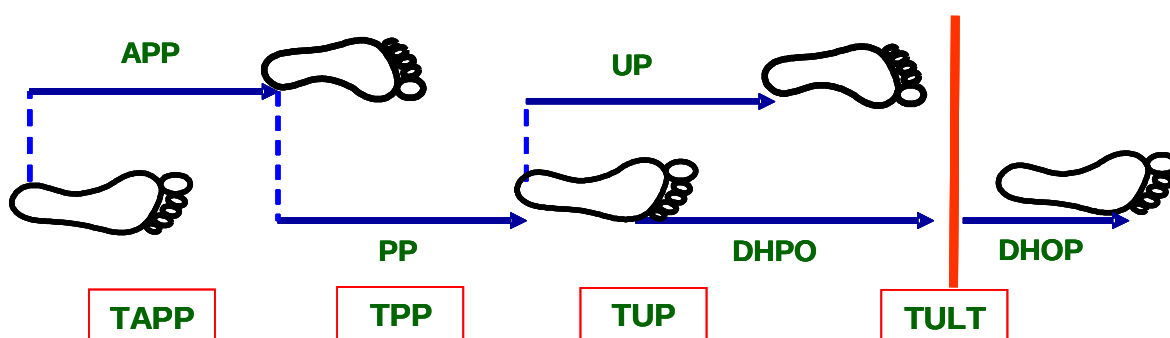


Figura 4. Variáveis horizontais espaciais e temporais: APP (comprimento do antepenúltimo passo), PP (comprimento do penúltimo passo), UP (comprimento do último passo), DHPO (distância horizontal pé-obstáculo), DHOP (distância horizontal obstáculo-pé), TAPP (duração do antepenúltimo passo), PP (duração do penúltimo passo), UP (duração do último passo), TULT (duração da ultrapassagem).

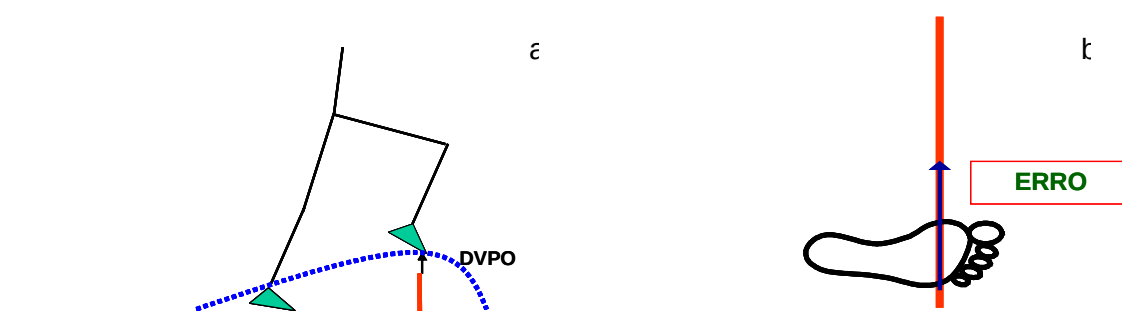


Figura 5. a) DVPO: distância vertical pé-obstáculo; b) ERRO: distância entre o quinto metatarso e o ponto médio do obstáculo.

Comprimentos do antepenúltimo (APP), penúltimo (PP) e último (UP) passos: valores obtidos pela distância horizontal (coordenada X) compreendida entre as marcas do calcanhar direito e esquerdo em cada passo antes da abordagem, expressa em centímetros.

Então:

$$\mathbf{APP} = X_{esq} - X_{dir}$$

$$\mathbf{PP} = X_{dir} - X_{esq}$$

$$\mathbf{UP} = X_{esq} - X_{dir}$$

Onde:

X_{dir} = valor da coordenada X (horizontal) da marca do calcanhar direito;

X_{esq} = valor da coordenada X (horizontal) da marca do calcanhar esquerdo.

Distância horizontal pé-obstáculo (DHPO): valor obtido pela distância entre a coordenada X (horizontal) no momento em que a marca do quinto metatarso da perna de abordagem perde o contato com o solo e o valor obtido na coordenada X (horizontal) do obstáculo, expressa em centímetros.

Então:

$$\mathbf{DHPO} = X_{obs} - X_{met}$$

Onde:

X_{met} = valor da coordenada X (horizontal) da marca do quinto metatarso no momento em que a perna de abordagem perde o contato com o solo (*toe off*);

X_{obs} = valor da coordenada X (horizontal) da marca do obstáculo no momento em que a perna de abordagem perde o contato com o solo (*toe off*).

Distância horizontal obstáculo-pé depois do obstáculo (DHOP): valor obtido pela distância linear entre a coordenada X da marca do quinto

metatarso ao entrar em contato com o solo após a ultrapassagem do obstáculo e a marca do obstáculo, expressa em centímetros.

Então:

$$\mathbf{DHOP} = X_{met} - X_{obs}$$

Onde:

X_{met} = valor da coordenada X (horizontal) da marca do quinto metatarso no momento em que a perna de abordagem entra em contato com o solo;

X_{obs} = valor da coordenada X (horizontal) da marca do obstáculo.

Distância vertical pé-obstáculo (DVPO): Calcula-se subtraindo a distância vertical entre a marca do quinto metatarso da perna de abordagem e a altura do obstáculo no momento em que o pé está sobre o mesmo, expressa em centímetros.

Assim:

$$\mathbf{DVPO} = y_{met} - y_{obs}$$

Onde:

y_{met} = valor da coordenada Y (vertical) da marca do quinto metatarso no momento em que o quinto metatarso posiciona-se sobre o obstáculo até o solo;

y_{obs} = altura do obstáculo.

Erro absoluto (ERRO): Expressa a distância absoluta calculada entre a marca do quinto metatarso direito e o ponto médio do obstáculo na coordenada Z (ortogonal) no momento da ultrapassagem.

$$\mathbf{ERRO} = Z_{obs} - Z_{met}$$

Onde:

Z_{obs} = valor da coordenada Z do obstáculo no momento da ultrapassagem, subtraídos 25 cm correspondentes à metade do comprimento do obstáculo;

Z_{met} = valor da coordenada Z do quinto metatarso no momento da ultrapassagem.

Duração do antepenúltimo passo (TAPP): Expressa a duração, em segundos, entre os contatos dos calcanhares direito e esquerdo no antepenúltimo passo.

Então:

$$\mathbf{TAPP} = t_{esq} - t_{dir}$$

Onde:

t_{dir} = instante em que o calcanhar direito toca o solo;

t_{esq} = instante em que o calcanhar esquerdo toca o solo.

Duração do penúltimo passo (TPP): Expressa a duração, em segundos, entre os contatos dos calcanhares direito e esquerdo no penúltimo passo.

$$\mathbf{TPP} = t_{dir} - t_{esq}$$

Onde:

t_{dir} = instante em que o calcanhar direito toca o solo;

t_{esq} = instante em que o calcanhar esquerdo toca o solo.

Duração do último passo (TUP): Expressa a duração, em segundos, entre os contatos dos calcanhares direito e esquerdo no último passo.

$$\text{TUP} = t_{\text{esq}} - t_{\text{dir}}$$

Onde:

t_{dir} = instante em que o calcanhar direito toca o solo;

t_{esq} = instante em que o calcanhar esquerdo toca o solo

Duração da ultrapasse (TULT): Expressa a duração, em segundos, em que o pé direito perde o contato com o solo antes do obstáculo até o seu próximo contato, após o obstáculo.

$$\text{TULT} = t_{\text{depois}} - t_{\text{antes}}$$

Onde:

t_{antes} = instante em que pé direito perde o contato com o solo antes do obstáculo;

t_{depois} = primeiro contato do pé direito depois do obstáculo.

Estas variáveis permitiram verificar mudanças adaptativas na fase de aproximação e ultrapassagem do obstáculo. As variáveis espaciais APP, PP e UP e temporais TAPP, TPP, TUP e TULT permitem identificar se alterações foram realizadas entre as condições de obstáculo (estacionário, lento e rápido). A DHPO permite observar a aproximação do indivíduo em relação ao obstáculo, que pode refletir ajustes locomotores decorrentes da percepção das características do obstáculo. A DVPO favorece a verificação da margem de segurança sobre o obstáculo, ou seja, é medida chave que mostra a acurácia

da transformação sensório-motora durante o controle da elevação da perna. A DHOP indica a necessidade de estabilizar o sistema, ou seja, a distância de colocação do pé depois da ultrapassagem garante a continuidade da locomoção. O ERRO foi necessário para mensurar a acurácia espacial durante a ultrapassagem do obstáculo.

5.5. Tratamento estatístico

As variáveis dependentes foram estatisticamente tratadas, por tentativa, através de Análise de Variância (ANOVA oneway), com medidas repetidas para as condições de velocidade. As análises foram feitas por meio do modelo linear geral para medidas repetidas para analisar os resultados de acordo com as condições experimentais, seguido da análise de comparações planejadas de Tukey para identificar as diferenças. Em todas as análises estatísticas foi estabelecido um nível de significância de $p < 0,05$. A equação de Tukey, calculada manualmente, usada foi:

$$F_{cal} = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{\sqrt{\frac{ms}{n}}}$$

Onde:

F_{cal} = F calculado

$\overline{x_1}$ = média do valor a ser comparado

$\overline{X_2}$ = média do valor a ser comparado

ms = quadrado médio do resíduo total (within + residual)

n= número de sujeitos

Encontrado o Fcal, foi necessário calcular o valor de t crítico, utilizando-se uma tabela de dupla entrada, tendo o número de comparações como numerador e o grau de liberdade como denominador.

6. RESULTADOS

Inicialmente, há necessidade de caracterizar os participantes deste estudo. Assim, a Tabela 1 apresenta dos dados individuais de cada participante e a correspondente altura de obstáculo utilizada.

Tabela 1. Características individuais por participante e correspondente altura do obstáculo (gênero: F para feminino e M para masculino; idade em meses; massa corporal em kg; estatura em cm; AJ: altura do joelho em cm; altura do obstáculo em cm).

Participante	Gênero	Idade	Massa	Estatura	AJ	Obstáculo
1	F	257	52,2	167	47,7	46,5
2	M	321	67,5	171	50,5	51,5
3	F	269	75,7	176	49,5	51,5
4	F	269	50,4	162	43,5	41,5
5	M	297	56,4	165,5	45,5	46,5
6	M	270	72,7	178	52,5	51,5
7	M	254	64,4	177	52,5	51,5
8	F	291	68	166	48,5	51,5
9	M	260	79,8	179	53	51,5
10	F	258	56,5	161	46,5	46,5

Durante a coleta dos dados, 30 tentativas foram refeitas no final de cada bloco de tentativas por motivos relacionados a erros dos participantes. Dessas, 18 tentativas foram refeitas porque os participantes não conseguiram sincronizar a ultrapassagem da perna de abordagem exatamente sobre o obstáculo, sendo 10 na velocidade baixa e 8 na velocidade alta. Com o obstáculo imóvel, em 4 tentativas os participantes realizaram abdução da coxa e/ou eversão do pé, ultrapassando o obstáculo pela lateral. Neste caso, um dos experimentadores visualmente determinou se a ultrapassagem foi realizada antes ou depois do obstáculo. Apenas 1 tentativa foi refeita por ultrapassar utilizando a perna esquerda como perna de abordagem. Outrossim, 7 tentativas foram refeitas porque houve contato da perna de abordagem ou da perna de suporte com o obstáculo durante a ultrapassagem. Por outro lado, quinze tentativas também foram refeitas por problemas metodológicos. Dessas, em 6 tentativas ocorreu queda dos marcadores, em 8 tentativas não ocorreu acionamento do obstáculo no exato momento em que os participantes ultrapassaram a marca de 3,5 m e em 1 tentativa ocorreu esquecimento na troca da placa referente ao número da tentativa. Assim, 135 tentativas foram analisadas para todas as variáveis, exceto para APP, que totalizou 66 tentativas. Isto deveu-se ao comprimento exagerado dos passos de alguns indivíduos não captados devido ao posicionamento das câmeras. O aumento da distância entre as câmeras e a área de coleta poderia comprometer a qualidade dos sinais durante a ultrapassagem.

Os resultados estão apresentados em duas partes, iniciando com os resultados referentes às variáveis espaciais como os comprimentos dos passos

anteriores à ultrapassagem, variáveis espaciais relativas à ultrapassagem e variável espacial após a ultrapassagem. Em seguida, apresentam-se as variáveis temporais relacionadas aos passos anteriores à ultrapassagem e à ultrapassagem propriamente dita.

6.1 Variáveis espaciais

As médias e os desvios-padrão das variáveis espaciais, por condição de velocidade do obstáculo são apresentados na Figura 6.

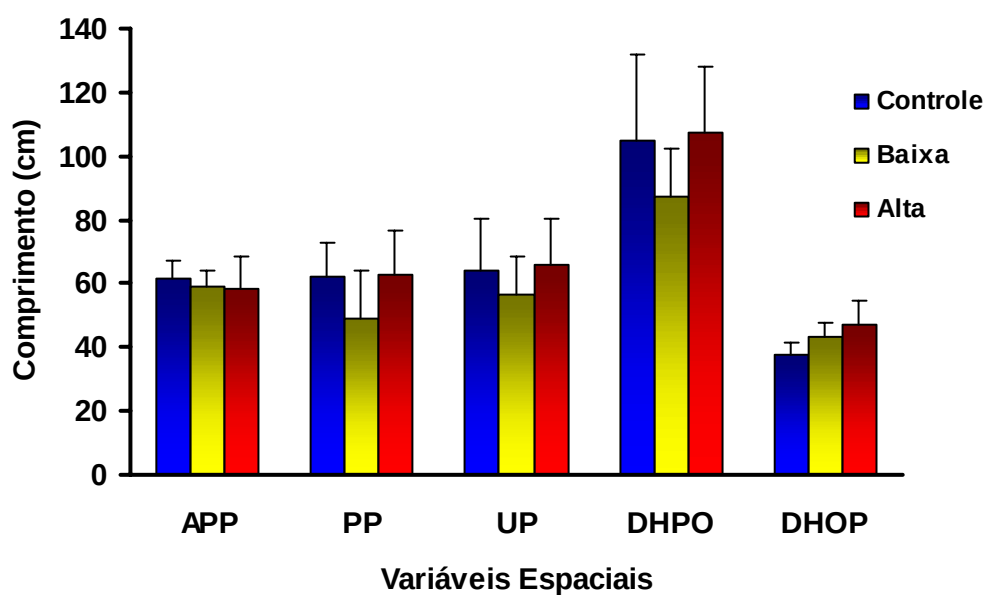


Figura 6. Médias e desvios-padrão dos comprimentos do antepenúltimo passo (APP), do penúltimo passo (PP) e do último passo (UP) e distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) e distância horizontal obstáculo-pé (DHOP).

6.1.1 Comprimento dos passos anteriores à abordagem: APP, PP, UP.

Para a variável comprimento do antepenúltimo passo (APP), a ANOVA não revelou diferença significativa para a variável APP ($F_{2,42} = 2,174$, $p = 0,126$). A Figura 7 apresenta as médias e os desvios padrão para APP.

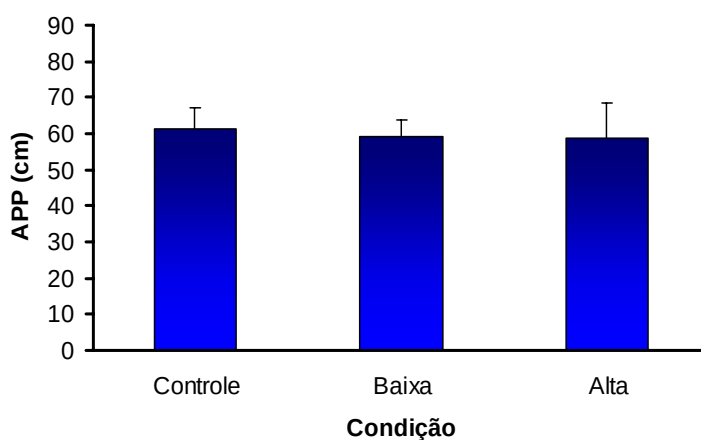


Figura 7. Médias e desvios padrão do comprimento do antepenúltimo passo (APP). As colunas representam as condições de velocidade do obstáculo: Controle (estacionário), Velocidade baixa (1,07 m/s) e Velocidade alta (1,71 m/s).

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos para o comprimento do penúltimo passo (PP) antes da abordagem do obstáculo. A ANOVA identificou efeito do fator velocidade ($F_{2,88} = 13,521$, $p < 0,001$). O método de Tukey evidenciou diferenças significativas entre os valores médios entre condições controle e baixa ($F_{3,88} = 6,1815$, $p < 0,01$) e entre baixa e alta ($F_{3,88} = 6,408$, $p < 0,01$). Na condição de velocidade baixa do obstáculo, os participantes diminuíram o comprimento do penúltimo passo antes da abordagem.

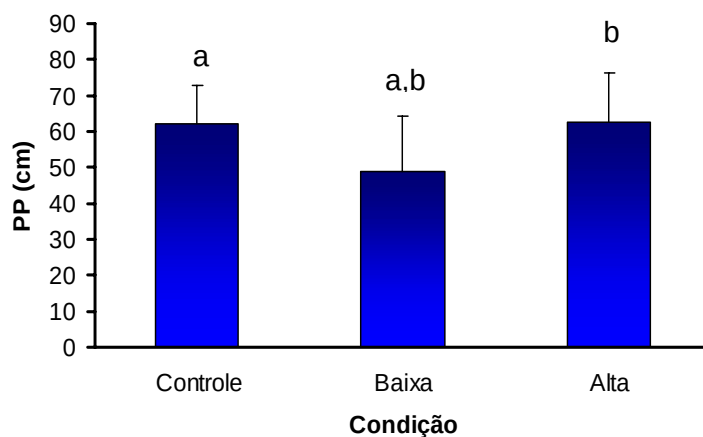


Figura 8. Médias e desvios padrão do comprimento do penúltimo passo (PP) nas condições Controle (C), Baixa (B) e Alta (A) e diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A.

Para o comprimento do último passo (UP), a ANOVA revelou efeito da velocidade ($F_{2,88} = 5,58$, $p < 0,006$). O método de Tukey identificou diferenças significativas entre os valores médios entre condições controle e baixa ($F_{3,88} = 3,416$, $p < 0,05$) e entre baixa e alta ($F_{3,88} = 4,472$, $p < 0,01$). A Figura 9 demonstra graficamente uma diminuição no comprimento do último passo na condição baixa, enquanto nas condições controle e alta não foi encontrada diferença significativa.

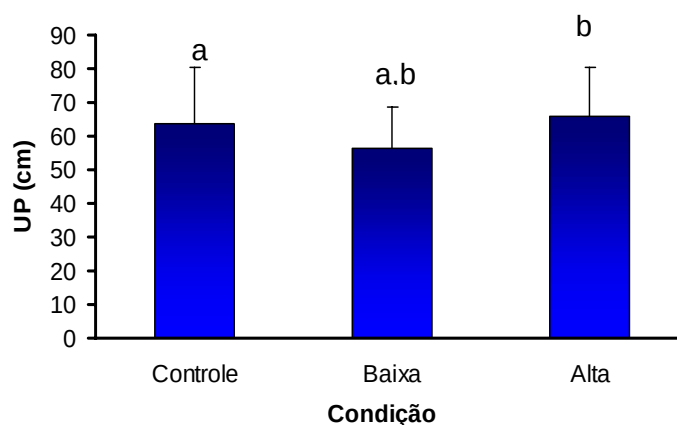


Figura 9. Médias e desvios-padrão do comprimento do último passo (UP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A.

6.1.2 Variáveis de relacionadas à ultrapassagem: DHPO, DVPO, ERRO, DHOP.

A Figura 10 apresenta os resultados obtidos para a DHPO. A ANOVA revelou efeito da velocidade do obstáculo ($F_{2,88} = 12,910$, $p < 0,001$). O método de Tukey identificou diferenças significativas entre os valores médios entre condições controle e baixa ($F_{3,88} = 5,704$, $p < 0,01$) e entre baixa e alta ($F_{3,88} = 6,522$, $p < 0,01$). Estes resultados mostram que os participantes aproximam mais a perna de abordagem quando o obstáculo movimenta-se mais baixamente, o que não ocorre nas condições com obstáculo estacionário ou movimentando-se rapidamente.

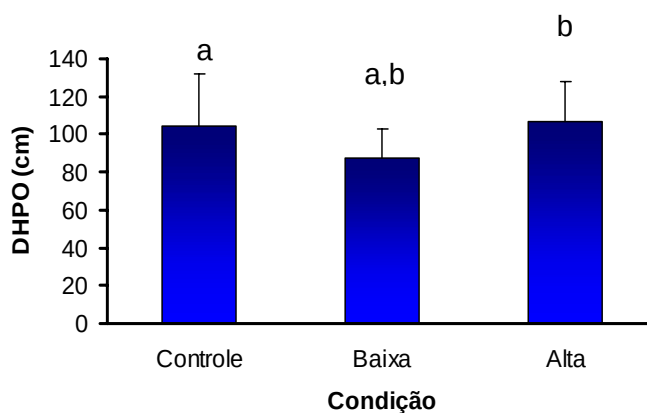


Figura 10. Médias e desvios padrão da distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A.

Para a margem de segurança, representada pela DVPO, a ANOVA revelou efeito da velocidade do obstáculo ($F_{2,88} = 3,551$, $p < 0,04$) na transposição do mesmo. Foi observado aumento dos valores médios da DVPO na velocidade mais alta do obstáculo. O método de Tukey revelou diferenças

significativas entre os valores médios nas condições controle e alta ($F_{3,88} = 3,57$, $p < 0,05$). Nota-se, na Figura 11, que nas condições de obstáculo em movimento rápido, os participantes aumentaram a margem de segurança ao ultrapassá-lo.

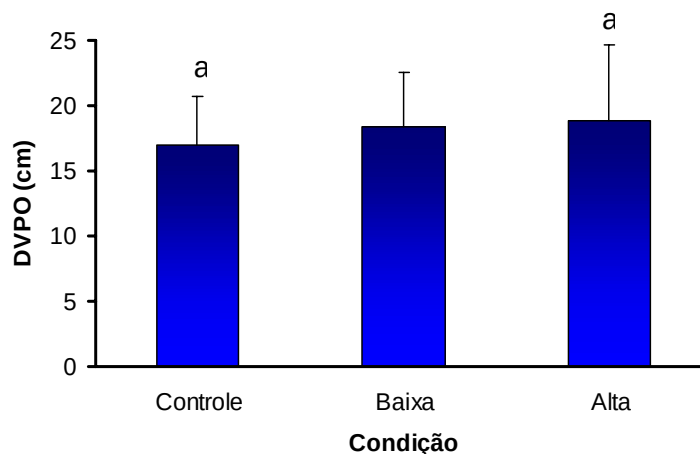


Figura 11. Médias e desvios padrão da distância vertical pé-obstáculo (DVPO) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A); diferença significativa: **a** entre C e A.

A variável erro absoluto (ERRO) apresentou, segundo a ANOVA, efeito da velocidade do obstáculo ($F_{2,88} = 4,209$, $p < 0,02$). Para esta variável ocorreu diminuição nos valores médios de erro com o aumento da velocidade do obstáculo. Nas condições em que o obstáculo movimentava-se, observou-se, uma diminuição no erro, ou seja, a marca do quinto metatarso direito estava posicionada mais próxima da metade do comprimento do obstáculo (Figura 12). O método de Tukey revelou diferença significativa entre os valores médios nas condições controle e alta ($F_{3,88} = 4,034$, $p < 0,05$).

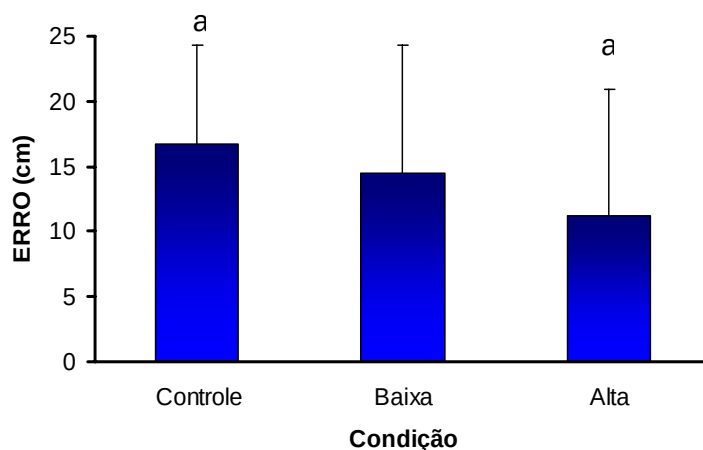


Figura 12. Médias e desvios padrão do erro absoluto (ERRO) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A); diferença significativa: **a** entre C e A.

A ANOVA revelou efeito da velocidade do obstáculo para a DHOP ($F_{2,88} = 55,991$, $p < 0,001$). Observa-se a ocorrência de aumento nos valores médios da DHOP com o aumento da velocidade do obstáculo. No método de Tukey foi identificado diferenças significativas entre os valores médios nas condições controle e baixa ($F_{3,88} = 8,728$, $p < 0,01$), controle e alta ($F_{3,88} = 14,713$, $p < 0,01$) e baixa e alta ($F_{3,88} = 5,985$, $p < 0,01$). A Figura 13 mostra que, na condição de obstáculo estacionário, os participantes colocam o pé, após o obstáculo, mais próximo do mesmo.

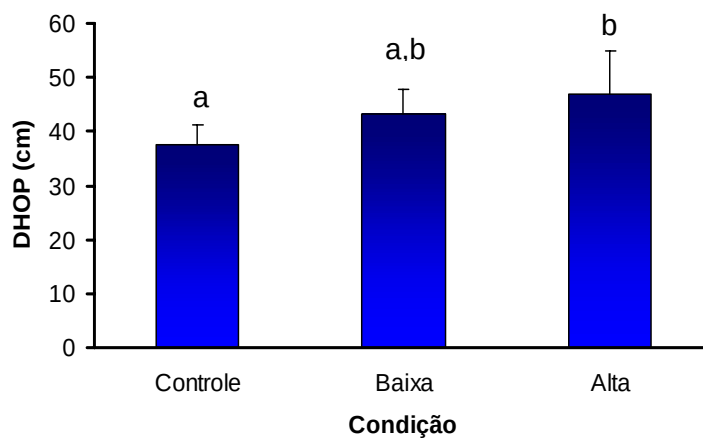


Figura 13. Médias e desvios padrão da distância horizontal obstáculo-pé (DHOP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A.

6.2 Variáveis Temporais: TAPP, TPP, TUP, TULT.

As médias e os desvios-padrão das variáveis espaciais, por condição de velocidade do obstáculo são apresentados na Figura 14.

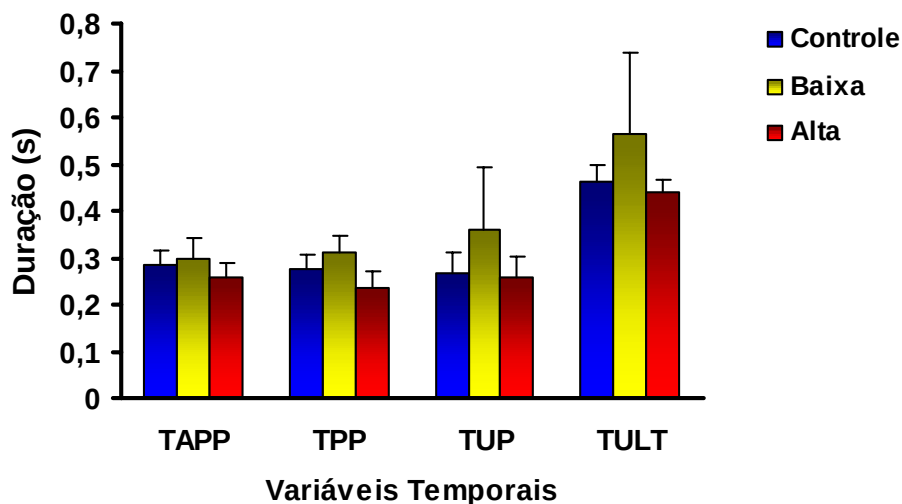


Figura 14. Médias e desvios-padrão das durações do antepenúltimo passo (TAPP), do penúltimo passo (TPP) e do último passo (TUP) e da ultrapassagem (TULT).

A ANOVA revelou efeito da velocidade do obstáculo na duração do antepenúltimo passo (TAPP) ($F_{2,26} = 8,063$, $p < 0,003$). Evidenciou-se aumento nos valores médios da TAPP na velocidade baixa e diminuição na velocidade alta (Figura 15). O método de Tukey encontrou diferenças significativas entre os valores médios nas condições baixa e alta ($F_{3,26} = 5,395$, $p < 0,01$).

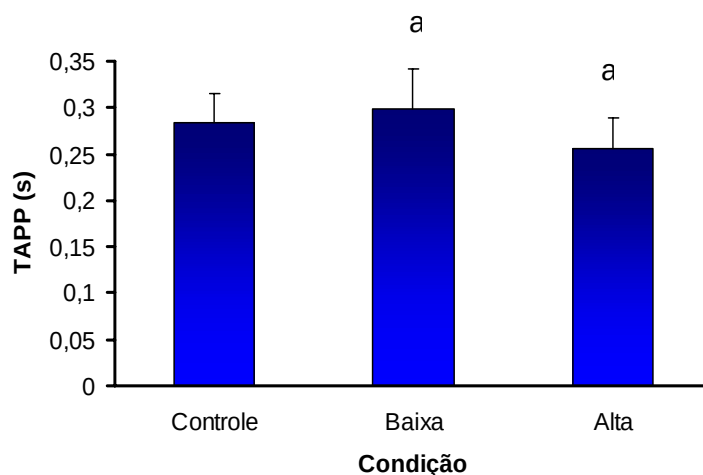


Figura 15. Médias e desvios padrão da duração do antepenúltimo passo (TAPP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A); diferença significativa: **a** entre B e A.

A Figura 16 apresenta graficamente os resultados obtidos para a duração do penúltimo passo (TPP) antes da abordagem do obstáculo. A ANOVA identificou efeito no fator velocidade ($F_{2,76} = 49,253$, $p < 0,001$). O método de Tukey revelou diferenças significativas entre os valores médios nas condições controle e baixa ($F_{3,76} = 6,432$, $p < 0,01$), controle e alta ($F_{3,76} = 7,148$, $p < 0,01$) e baixa e alta ($F_{3,76} = 13,579$, $p < 0,01$), evidenciando que ocorreu aumento nos valores médios da TPP na velocidade baixa e diminuição na velocidade alta.

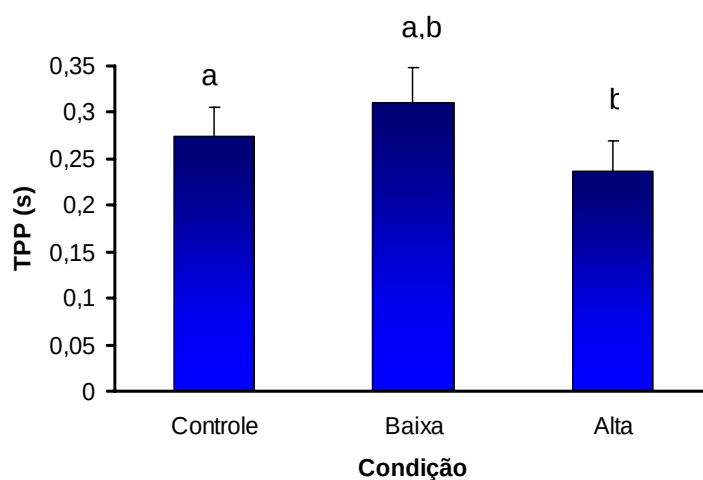


Figura 16. Médias e desvios padrão da duração do penúltimo passo (TPP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre C e A; **c** entre B e A.

Para a duração do último passo (TUP), a ANOVA revelou efeito da velocidade do obstáculo ($F_{2,88} = 18,586$, $p < 0,001$). Foi encontrado aumento nos valores médios da TUP na velocidade baixa e diminuição na velocidade alta (Figura 17). O método de Tukey revelou diferenças significativas entre os valores médios nas condições controle e baixa ($F_{3,88} = 6,904$, $p < 0,01$) e baixa e alta ($F_{3,88} = 7,766$, $p < 0,01$).

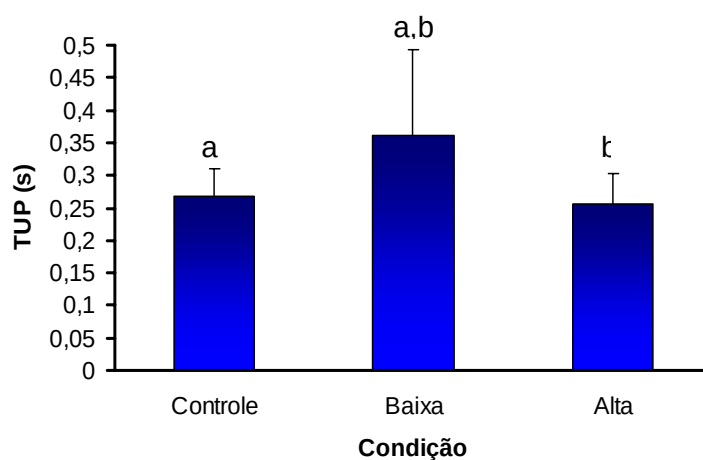


Figura 17. Médias e desvios padrão da duração do penúltimo passo (TUP) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A.

A ANOVA identificou efeito da velocidade do obstáculo para TULT ($F_{2,88} = 21,220$, $p < 0,001$). O método de Tukey revelou diferenças significativas entre os valores médios nas condições controle e baixa ($F_{3,88} = 7,057$, $p < 0,01$) e baixa e alta ($F_{3,88} = 8,544$, $p < 0,01$). Nota-se aumento nos valores médios da TULT na velocidade baixa e diminuição na velocidade alta (Figura 18).

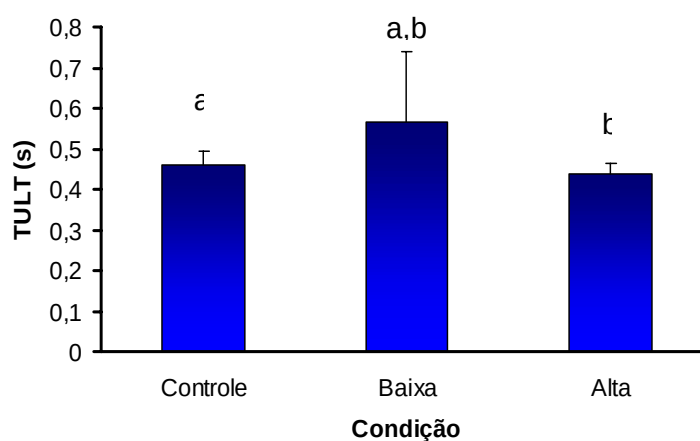


Figura 18. Médias e desvios padrão da duração da ultrapassagem (TULT) nas condições controle (C), baixa (B) e alta (A). Diferenças significativas: **a** entre C e B; **b** entre B e A.

7. DISCUSSÃO

Inicialmente, é importante salientar a novidade deste estudo: obstáculo móvel com deslocamento perpendicular à trajetória do participante. Nenhum estudo foi encontrado na literatura que manipula a mobilidade do obstáculo nestas condições. Portanto, os resultados são discutidos frente à literatura com esta limitação.

Os participantes deste estudo revelaram uma taxa de erro maior que a observada em estudos que manipulam a altura do obstáculo. A partir das tentativas relacionadas a erros dos participantes (30 tentativas) que foram refeitas, observou-se uma taxa de 22,22%. Entretanto, quando observadas apenas as tentativas em que uma ou ambas as pernas tiveram contato com o obstáculo (7 tentativas), a taxa de erro cai para 5,18%. PATLA, PRENTICE e GOBBI (1996) e CHEN et al. (1991) reportaram taxas de erro, em adultos jovens, de aproximadamente 0,5%. Dois fatores podem explicar esta diferença: a altura dos obstáculos e sua mobilidade. Em relação à altura, os obstáculos empregados por PATLA, PRENTICE e GOBBI (1996) e CHEN et al. (1991) não foram personalizados e não ultrapassaram 27 cm. O presente estudo, ao contrário, personalizou a altura do obstáculo, que variou entre 41,5 e 51,5 cm. Especula-se que estas alturas exigiram mais do sistema de controle motor que

alturas menores e requereram, principalmente do sistema efetor, modulações adequadas na aproximação e na ultrapassagem do obstáculo. Em relação à mobilidade do obstáculo, não houve contato com o obstáculo na condição em que o obstáculo estava estacionário. Assim, a movimentação do obstáculo foi o fator primordial para o elevado valor da taxa de erro.

Alguns estudos têm demonstrado adaptações locomotoras na transposição de obstáculos estacionários no caminho percorrido (PATLA, 1991; PATLA e RIETDYK, 1993; PATLA, RIETDYK, MARTIN e PRENTICE, 1996; GONÇALVES, MORAES e GOBBI, 2000; KRELL e PATLA, 2002; MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA, 2004). Seus resultados apontam para um acoplamento entre os sistemas sensorial e efetor, o qual é responsável pelas modulações motoras para atingir a meta da tarefa. O sucesso na realização das tarefas está relacionado com a escolha que o indivíduo faz para realizar determinado movimento. Na locomoção, por exemplo, quando um obstáculo se encontra à frente, pode-se escolher desviar (passar pelo lado) ou transpor (passar por cima), sempre de forma a garantir um deslocamento seguro e com sucesso, mantendo o equilíbrio e gerando força apropriada para minimizar o gasto energético (PATLA, 1991; PATLA et al., 1996). No presente estudo, não foi dada esta opção aos indivíduos, que foram instruídos a ultrapassar o obstáculo sempre com a perna direita primeiro.

A utilização de um obstáculo móvel e personalizado permitiu a observação de estratégias locomotoras adaptativas tanto na fase de abordagem do obstáculo como na ultrapassagem. Além disso, estratégias diferentes foram observadas para cada velocidade do obstáculo. Considerando

que estratégias adaptativas são entendidas como duas ou mais variações do comportamento em direção ao mesmo objetivo final (TROISI, 2005) e são desencadeadas para garantir o sucesso da ação motora (LATASH e ANSON, 1996), os resultados permitiram observar estas estratégias. Os resultados deste estudo evidenciaram que estratégias locomotoras adaptativas ocorreram quando se compara a condição controle, obstáculo estacionário, com as condições de movimento do obstáculo. Estas estratégias ocorreram tanto nas variáveis espaciais como nas temporais.

Considerando que as estratégias refletem escolhas vantajosas de locomoção, ou seja, são diferentes opções que podem ser tomadas para garantir a segurança e o menor gasto energético (PATLA, 1991; PATLA et al., 1996), os resultados obtidos permitem inferir que ocorreram modulações do sistema efetor de acordo com as características da tarefa. Segundo MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA (2004) para obter o sucesso na realização da tarefa de ultrapassar obstáculos, os indivíduos requerem duas peças críticas de informação: a localização do objeto no espaço e a altura do obstáculo. A localização do objeto em relação ao espaço para o indivíduo é necessária para planejar a fase de aproximação da tarefa, antes de ultrapassar o obstáculo. Ajustes cumulativos no comprimento do passo durante a fase de aproximação são capturados pela medida da colocação do pé de abordagem bem como do pé de apoio em relação ao objeto. Como o caminho a ser percorrido estava demarcado (50 cm de largura), cabia ao participante estimar o tempo para a ultrapassagem, ou seja, a localização era fixa e foi uma exigência da tarefa. Foram observadas modulações espaciais nos dois últimos passos antes da

abordagem e modulações temporais durante toda a fase de aproximação mensurada.

A percepção da altura do objeto é necessária para planejar a elevação apropriada da perna e evitar um contato acidental como obstáculo. Assim, uma vez estimada, a localização do obstáculo é fator fundamental para a execução da tarefa com sucesso. As informações sobre o comprimento do passo e a estimativa da localização do obstáculo são usadas pelo indivíduo para ajustar a colocação do pé na fase de aproximação (MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA, 2004). No presente estudo, a altura do obstáculo não foi manipulada, portanto as modulações observadas durante a ultrapassagem foram devidas apenas à velocidade de deslocamento do obstáculo.

Considerando as questões que nortearam este estudo: Como as pessoas adaptam seu andar frente a um objeto (obstáculo) em movimento? Quais parâmetros espaciais e temporais o indivíduo altera para, com sucesso, realizar a tarefa? Os resultados são discutidos a seguir de acordo com a velocidade do obstáculo.

7.1 Estratégias locomotoras adaptativas: velocidade alta do obstáculo

Em um ambiente complexo com diferenças de superfícies (planas, íngremes, lisas, ásperas) e com objetos (pedras, animais, pessoas), o

organismo sofre maior influência destas restrições. Dessa maneira, viver neste ambiente requer a utilização de estratégias adaptativas para que a locomoção tenha sucesso. A locomoção em ambientes complexos requer travessias em terrenos e locais nem sempre previsíveis. Por esta razão, o sistema locomotor humano deve possuir a habilidade adaptativa para desviar obstáculos e transpor terrenos irregulares (KRELL e PATLA, 2002). Os resultados revelaram que adultos jovens conseguem adaptar o sistema locomotor às exigências de velocidade da tarefa.

Quando o obstáculo foi movimentado na velocidade alta, esperava-se observar ajustes na fase de aproximação (diminuição nos comprimentos e nas durações dos passos) e de ultrapassagem (aumento na margem de segurança e na colocação do pé após o obstáculo e diminuição na duração da ultrapassagem) em relação ao obstáculo estacionário. Os resultados da comparação das variáveis dependentes entre as condições controle e alta revelaram que, na fase de aproximação, não houve mudança no comprimento dos passos mas houve mudança na duração do penúltimo passo. Esses resultados demonstram que, se ajustes espaciais ocorreram na fase de aproximação, estes foram anteriores ao antepenúltimo passo. Por outro lado, o ajuste temporal ocorreu no penúltimo passo, evidenciado pela diminuição na duração. Assim, é possível especular que, na presença de um obstáculo que se movimenta de maneira alta, os indivíduos decidiram por não alterar o comprimento dos passos e sim sua duração na fase de aproximação. Estes resultados confirmam parcialmente a sugestão de BRADSHAW e SPARROW (2001) sobre a existência de três fases no padrão de aproximação: uma fase

de aceleração, uma fase de controle visual global e uma fase de controle visual local.

Para BRADSHAW e SPARROW (2001), a fase de aceleração ocorre no início da locomoção e é seguida pela fase de controle visual global, onde ocorre a estimativa inicial das condições da tarefa. A fase de controle visual local, iniciada no antepenúltimo passo até a abordagem neste estudo, ajustes espaciais e temporais foram esperados. Quando o obstáculo se moveu na velocidade alta, apenas um ajuste foi observado em relação à condição controle, permitindo especular que outros ajustes são iniciados na fase de controle visual global.

Na fase de ultrapassagem, apenas ajustes espaciais foram observados entre as condições controle e rápido (aumento da margem de segurança sobre o obstáculo, diminuição do erro e aumento da distância de colocação do pé após a ultrapassagem). Os participantes, desta forma, adotaram uma estratégia locomotora adaptativa mais conservadora do ponto de vista do planejamento da ação e mais arrojada do ponto de vista do controle do equilíbrio postural. Em termos de planejamento da ação, a estratégia compreendeu não alterar a distância de aproximação, elevar mais a perna na ultrapassagem e aumentar a distância após a ultrapassagem. Do ponto de vista do controle do equilíbrio corporal, elevar mais a perna para ultrapassar um obstáculo na altura do joelho gera um deslocamento maior do centro de massa do corpo na direção médio-lateral, comprometendo o equilíbrio. A amplitude aumentada depois da ultrapassagem, especialmente em sequência a uma grande elevação, é também um comportamento instável. No momento em que

a perna de abordagem já ultrapassou o obstáculo e procura o apoio no solo, o centro de massa do corpo está se deslocando de uma base estável, perna de suporte, para uma base ainda instável, pois não houve contato com o solo. Aumentar a amplitude deste deslocamento também compromete o sistema de controle do equilíbrio corporal. Por outro lado e especificamente em relação à DVPO, aumentar a margem de segurança sobre o obstáculo reflete um comportamento conservador, pois o contato com um obstáculo alto e que se movimenta rapidamente pode gerar uma queda.

Os resultados de SANTOS e PATLA (submetido) sugerem uma adaptação inicial no padrão locomotor para evitar o contato com o obstáculo durante a ultrapassagem da perna de abordagem. Seus resultados concordam com CHOU e DRAGANICH (1998a,b) uma vez que a colocação do pé foi auto-selecionada pelos participantes, sugerindo que o uso da informação visual de maneira feedforward ocorre para reduzir as demandas articulares e, conseqüentemente, prevenir o contato com o obstáculo.

A locomoção em ambientes complexos exige maior demanda atencional, especialmente na ultrapassagem de obstáculo (GOBBI e PATLA, 1997; GONÇALVES, MORAES e GOBBI, 2000). Neste momento, especialmente durante a ultrapassagem de um obstáculo que se movimenta rapidamente, modulações espaciais do padrão locomotor foram observadas. Estas modulações demandam atenção e, provavelmente, foram controladas de maneira feedforward e monitoradas on-line pelas informações sensoriais, como evidenciado pelo aumento da DVPO. Somente com a integração das informações sensoriais (vestibulares, visuais e somatosensoriais), o indivíduo

pode controlar sua postura e os movimentos do seu corpo (KANDELL, 1991; HORAK e MACPHERSON, 1996; GOBBI e PATLA, 1997).

7.2 Estratégias locomotoras adaptativas: velocidade baixa do obstáculo

Na velocidade baixa, esperava-se observar ajustes na fase de aproximação (diminuição nos comprimentos e aumento nas durações dos passos) e de ultrapassagem (aumento na margem de segurança, diminuição na distância de aproximação, aumento na distância após a ultrapassagem e aumento na duração da ultrapassagem) em relação à condição controle.

Estratégias locomotoras adaptativas foram observadas quando o obstáculo foi movimentado na velocidade baixa. Como esperado, ocorreu diminuição no comprimento e aumento na duração do penúltimo e do último passo, na fase de aproximação. Durante a ultrapassagem, ocorreu diminuição na distância de aproximação, aumento na distância após a ultrapassagem e aumento na duração da ultrapassagem; entretanto, não houve alteração na margem de segurança sobre o obstáculo entre a velocidade baixa e a condição controle.

Ultrapassar um obstáculo com deslocamento lento gerou um maior número de estratégias adaptativas. De acordo com TRESILIAN (2004), o movimento lento de objetos permite ao indivíduo explorar captar maior quantidade de informações relevantes (estratégia de exploração) como

conseqüência do aumento do tempo de visão. O emprego da estratégia de exploração favorece o detalhamento no planejamento da ação. Também, a execução do movimento pode ser mais baixa e com passos menores, o que realmente ocorreu, tanto para a fase de abordagem como de ultrapassagem. Mais especificamente, o aumento da variabilidade no TUP e no TULT parece indicar que houve uma tendência à exploração nas duas fases.

Em relação à DHPO, os resultados evidenciaram maior aproximação da perna de abordagem. Esta aproximação requer aumento na flexão das articulações do quadril, joelho e tornozelo. Estas configurações da perna de abordagem causaram tendência de aumento na margem de segurança e aumento na duração da ultrapassagem. Considerando que a amostra foi composta por indivíduos jovens e saudáveis, esta estratégia de ultrapassagem pode ser realizada, em detrimento da economia de energia e da diminuição da estabilidade. Resultados opostos foram observados por CHOU e DRAGANICH (1998a,b) em relação à perna de suporte. Neste caso, a configuração alterada da perna de suporte (diminuição dos ângulos de flexão) causou diminuição na margem de segurança sobre o obstáculo, redução do tempo de balanço e um aumento no número de contatos com o obstáculo, onde a economia de energia parece ter sido privilegiada.

Durante a execução da tarefa proposta, especialmente na velocidade baixa de movimentação do obstáculo, as informações *exteroceptivas* estavam disponíveis e foram utilizadas no planejamento antecipatório das mudanças adaptativas a serem executadas e explicam o comportamento na fase de aproximação. Por outro lado, as informações *proprioceptivas* e

exproprioceptivas também estavam disponíveis e foram empregadas no ajuste on-line do sistema efector, durante a ultrapassagem, para a orientação e velocidade do corpo e de seus segmentos no ambiente (LEE e LISHMAN, 1977; GIBSON, 1982; PATLA, PRENTICE e GOBBI, 1996; GOBBI e PATLA, 1997; GOBBI, MENUCHI, UEHARA e SILVA, 2003).

Desta forma, os participantes modularam o sistema efector de acordo com a velocidade do obstáculo, especialmente na velocidade baixa. Esta modulação também parece ter sido influenciada pelos impulsos nervosos no tracto vestibulo-espinhal que, entre outros, tem sido considerado essencial para a ocorrência da locomoção, exercendo influência no gerador central de padrão para a produção de movimentos locomotores suaves (DUYSENS e VAN DE CROMMERT, 1998).

LEE e LISHMAN (1977) descreveram matematicamente um modelo óptico de ação relacionando-o com tempo para contato. Esta é uma variável potencialmente usada para o controle de ações tanto para agarrar quanto para acertar um objeto, que envolve interação com objetos em movimento (TRESILIAN, 1991). O tempo para contato (TC) é a informação temporal, contida no padrão de expansão óptica que possibilita o controle das ações. O tempo gasto pelo objeto até o observador é especificado por uma variável ótica de TC, denominada tau (τ) por LEE (1976), que corresponde ao inverso da quantidade de dilatação da imagem do obstáculo numa velocidade constante. No caso da tarefa proposta, com movimento do obstáculo perpendicularmente ao participante, a velocidade de aproximação ao obstáculo foi determinada pelo participante. No caso da velocidade baixa de deslocamento do obstáculo, os

participantes adequaram a velocidade de aproximação e de ultrapassagem aumentando o tempo gasto nos últimos passos e sobre o obstáculo. Assim, o TC foi empregado na realização da tarefa, especialmente quando se observa que não houve diferença estatisticamente significativa no erro absoluto entre as condições controle e baixa.

BRADSHAW e SPARROW (2001) evidenciaram o acoplamento contínuo entre a percepção das características do ambiente (formas de obstáculos) e a modulação on-line do padrão locomotor (movimento do indivíduo) quando os participantes diminuíram a velocidade de aproximação para garantir a segurança ao ultrapassar o obstáculo. O presente estudo, empregando obstáculo móvel, evidenciou resultados diferentes, especialmente na velocidade baixa. Os participantes aumentaram a duração e diminuíram o comprimento dos dois passos antes da ultrapassagem, fase de aproximação. Talvez, o aumento do tempo disponível para visualizar o obstáculo em movimento tenha desencadeado um acoplamento diferente entre os sistemas visual e efector. Desta forma, os participantes podem ter aumentado a velocidade nos passos anteriores (não avaliados neste estudo) e “esperado” a chegada do obstáculo nos dois últimos passos. A tendência de diminuição do erro pode confirmar esta especulação.

7.3 Estratégias locomotoras adaptativas: comparação entre velocidade baixa e alta

Os resultados da comparação das estratégias locomotoras adaptativas entre as velocidades baixa e alta evidenciaram que, na velocidade alta, ocorreu aumento nos comprimentos do penúltimo e último passo e nas distâncias antes e depois do obstáculo. Não ocorreu diferença significativa para a margem de segurança sobre o obstáculo. Quanto às variáveis temporais, ocorreu, na velocidade baixa, aumento na duração de todos os passos, tanto na aproximação como na ultrapassagem do obstáculo. Estes resultados demonstram que os indivíduos foram capazes de modular o padrão locomotor de acordo com as diferentes velocidades do obstáculo. KRELL e PATLA (2002) e MOHAGHEGHI, MORAES e PATLA (2004) também observaram que ao realizar a tarefa de ultrapassar sobre um ou dois obstáculo que se localizava a 4 ou 5 passos à frente, participantes tiveram a oportunidade de visualmente guiar tanto os ajustes de comprimento da passada, assegurando a colocação consistente do pé antes do obstáculo, como na margem de segurança sobre o obstáculo.

PATLA, PRENTICE, ROBINSON e NEUFIELD (1991), em estudo sobre estratégias de desvio de obstáculos, revelaram que um ciclo de passada anterior ao obstáculo é suficiente para que o indivíduo promova os ajustes posturais necessários para executar um desvio ou ultrapassagem segura. Os resultados do presente estudo indicam que, quando o obstáculo não está estacionário, mais do que um ciclo de passada é necessário.

VALLIS e MCFADYEN (2003) estudaram as mudanças que ocorrem nos três últimos passos anteriores ao desvio de um obstáculo cujas dimensões (2 m de altura por 23 cm de diâmetro) impediam a ultrapassagem por cima. Os resultados não revelaram diferenças significativas no comprimento dos passos prévios ao desvio. Mudanças na largura nos três passos antes do cruzamento do obstáculo, mas não durante a ultrapassagem, foram observadas. Ajustes no sentido médio-lateral anteriores à colocação do pé asseguraram um controle lateral do centro de massa, gerando um desvio seguro do obstáculo. No presente estudo, o deslocamento médio-lateral do participante foi impedido pela delimitação da passarela e ajustes ântero-posteriores foram observados nas fases de aproximação e de ultrapassagem.

BRADSHAW e SPARROW (2001) observaram que características no alvo (pisar antes de uma faixa limite ou entre duas faixas delimitando um espaço) e tipo de obstáculo (vareta suspensa, caixa e tábua de impulsão) afetaram a regulação do comprimento do passo e a velocidade de aproximação. Quando o alvo tinha maior restrição, tal que a presença de mais que um limite (duas faixas), houve uma redução significativa no comprimento do passo e uma diminuição da velocidade na aproximação. Os resultados deste estudo revelam que adaptações no padrão locomotor são evidentes à medida que a tarefa oferece níveis de desafios maiores (p. ex., velocidade do obstáculo). Para este estudo, sugere-se que quanto maior o risco oferecido pela tarefa (obstáculo mais rápido) maior demanda atencional foi requerida aos participantes. Os resultados da variável erro, em que ocorreu uma tendência de diminuição com o aumento da velocidade, confirmam a necessidade de maior

atenção. Sugere-se que um controle feedforward para a elaboração de estratégias e um ajuste on-line no momento da ultrapassagem foram empregados em associação à demanda atencional.

O estudo de SANTOS e PATLA (submetido), que explorou movimentação do obstáculo em aproximação ou afastamento do participante, revelou que quando a informação sobre um obstáculo estacionário é percebida durante a fase de aproximação, o desvio do mesmo pode ser planejado antecipadamente usando a informação visual de maneira feedforward. Entretanto, em um ambiente dinâmico com movimento de obstáculo e mudanças repentinas no ambiente, a habilidade de perceber mudanças é fundamental e requer que o sistema efetor esteja sintonizado com as informações visualmente percebidas.

Considerando que nenhum estudo foi encontrado na literatura relacionando a locomoção na ultrapassagem de obstáculo se movendo perpendicularmente à trajetória do participante, os estudos de TRESILIAN (1991, 2004), com ações interceptativas, podem auxiliar no entendimento dos resultados do presente estudo.

Estudando, por cerca de duas décadas, o comportamento motor em ações interceptativas (atingir uma bola com uma raquete ou um taco), TRESILIAN (1991, 2004) tem revelado que os indivíduos necessitam determinar, com antecedência, quando e onde a interceptação irá ocorrer. Nestes estudos, indivíduos têm mostrado alta precisão na determinação temporal da interceptação e que sua localização é dependente da disponibilidade de tempo para visualizar a bola ou o alvo. Quando a velocidade

do alvo foi manipulada, baixa e alta, mecanismos diferentes para o controle da ação foram considerados. Na velocidade alta, a ação interceptativa parece ser pouco guiada pelas informações sensoriais, ser mais dependente de uma pré-programação e ser mais precisa. Na velocidade baixa, ao contrário, os indivíduos revelaram ser mais dependentes das informações sensoriais e a ação foi menos precisa para atingir o alvo. TRESILIAN (2004) encontrou evidências de que, na velocidade baixa, o indivíduo sofre maior efeito do ruído interno do próprio sistema de controle motor. Este ruído interno foi, então, decomposto em ruído sensorial (eliminação de informação irrelevante), ruído motor central (escolha do tipo de ação) e ruído motor periférico (ativação do gerador de padrão motor e da musculatura apropriada).

Quando os resultados do presente estudo são analisados em relação à determinação de quando e onde ultrapassar o obstáculo, cabe salientar que onde interceptá-lo estava previamente definido pelas limitações da passarela. Assim, os participantes deveriam determinar apenas quando realizar a ultrapassagem. Talvez, por este motivo, apenas as variáveis temporais na fase de aproximação foram diferentes na velocidade alta em relação à baixa.

Aplicando a noção de ruído interno na interpretação dos resultados do presente estudo, as diferenças encontradas no comportamento locomotor em relação à velocidade do obstáculo podem não ser devidas apenas à demanda atencional. Na velocidade alta, as informações relativas ao deslocamento do obstáculo deveriam ser rapidamente capturadas para modular o sistema efetor de acordo. Assim, o ruído sensorial foi diminuído. Em relação ao ruído motor central, as instruções dadas aos participantes para a realização da tarefa foram

rígidas o suficiente para determinar o padrão motor e a perna que deveria ultrapassar o obstáculo primeiro. Os participantes cumpriram as instruções e ajustes temporais foram realizados apenas na fase de aproximação com diminuição da duração dos passos. Neste caso, pode-se sugerir que o ruído motor central exerceu pouca ou nenhuma influência na realização da tarefa. A contribuição do ruído motor periférico pode ser observada pela alteração na trajetória do quinto metatarso durante a ultrapassagem do obstáculo lento, como mostra a Figura 19, revelando que ocorreu um bloqueio do curso do movimento para, provavelmente, esperar a chegada do obstáculo. Entretanto, este dado deve ser observado com cautela, especialmente porque não houve diferença no TULT entre as velocidades baixa e alta do obstáculo.

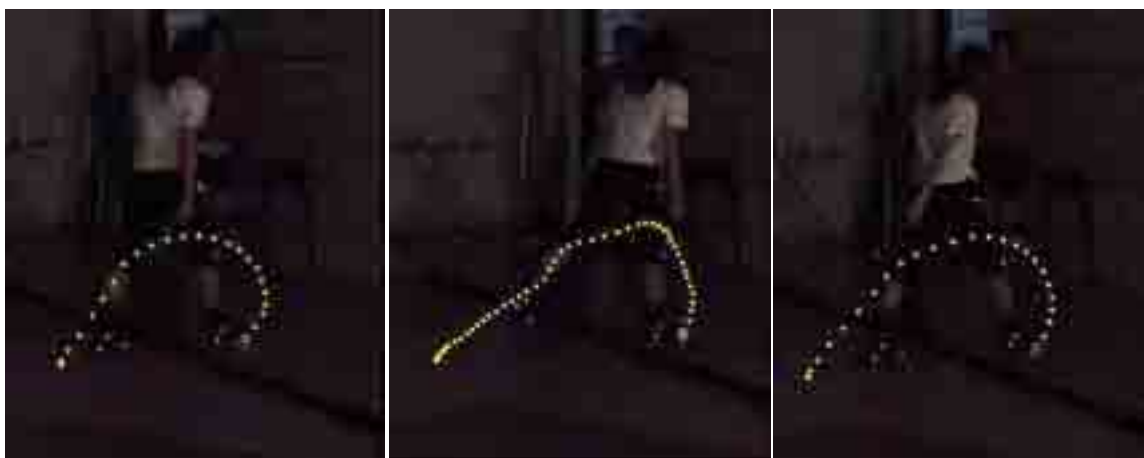


Figura 19: Trajetória do quinto metatarso durante a ultrapassagem vista pela câmera 2: **a** - condição controle (obstáculo parado); **b** – condição de velocidade baixa (1,07 m/s); **c** – condição de velocidade alta (1,71 m/s). Nota-se a diferença na trajetória de condição baixa do obstáculo, que apresenta forma irregular.

Diante dos resultados encontrados e de sua discussão, sugere-se que novos estudos sejam realizados observando todas as passadas da fase de aproximação, a seleção de uma variável que permita diferenciar as trajetórias sobre o obstáculo (Figura 19) e a determinação de uma variável temporal para

mensurar a coincidência entre os deslocamentos do quinto metatarso e do obstáculo.

8. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitem concluir que estratégias locomotoras adaptativas foram observadas na execução da tarefa de andar e ultrapassar por sobre um obstáculo em movimento. Estas estratégias evidenciaram que mudanças nos parâmetros espaciais e temporais fossem observadas em fases distintas da tarefa. Na fase de aproximação, as variáveis espaciais revelaram mudanças apenas em relação à movimentação baixa do obstáculo, enquanto as variáveis temporais revelaram mudanças para ambas as velocidades e entre elas. Durante a ultrapassagem, as variáveis espaciais determinaram que à medida que a movimentação do obstáculo e sua velocidade aumenta, os participantes aumentam a margem de segurança sobre o obstáculo e colocam o pé mais longe dele após a ultrapassagem.

9. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, B.; PAVAN, A.L. Alturas e comprimentos. In. PETROSKI, E.L. (Ed.) **Antropometria: técnicas e padronizações**. Porto Alegre: Palotti, 1999. p. 29-52.

BARELA, J.A. Perspectiva dos sistemas dinâmicos: teoria e aplicação no estudo de desenvolvimento motor. In: PELLEGRINI, A.M. (Org.) **Coletânea de Estudos: Comportamento Motor I**. São Paulo: Movimento, 1997. p.11-28.

BENT, L. R.; MCFADYEN, B. J.; MERKLEY, V. F.; KENNEDY, P. M.; INGLIS, J. T. Magnitude effects of galvanic vestibular stimulation on the trajectory of human gait. **Neuroscience Letters**, v.279, p.157-160, 2000.

BRADSHAW, E.J.; SPARROW, W.A. Effects of approach velocity and foot-target characteristics on the visual regulation of step length. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.20, p.401-426, 2001.

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

CHOU, L.S.; DRAGANICH, L.F. Increasing obstacle height and decreasing toe-obstacle distance affect the joint moments of the stance limb differently when stepping over an obstacle. **Gait and Posture**, Oxford (UK), v.8, p.186-204, 1998b.

CLARK, J.E. Motor Development. **Encyclopedia of Human Behavior**. V. 1-4, p. M20-1-M20-11, Texas: Academic Press, 1994.

CROMWELL, R.L. Movement strategies for head stabilization during incline walking, **Gait and Posture**, Oxford (UK), v. 17, p. 246-253, 2003.

DUYSENS, J.; VAN DE CROMMERT, H.W.A.A. Neural control of locomotion; Part 1: the central pattern generator from cats to humans. **Gait and Posture**, Oxford (UK), v. 7, p. 131-141, 1998.

FREITAS JUNIOR, P.B.; BARELA, J.A. Postural control as a function of self- and object-motion perception. **Neuroscience Letters**, Clare, v.369, p.64-68, 2004.

GIBSON, J.J. Notes of Affordances. In: REED, E.; JONES, R. (Eds) **Reasons for realism**. Hillsdale: Erlbaum, 1982. p. 401-418.

GIBSON, J.J. **The sense considered as perceptual systems**. Bostom: Houghton Mifflin, 1966.

GOBBI, L. T. B.; MENUCHI, M. R. T. P.; UEHARA, E. T.; SILVA, J. J. Influência da informação exproprioceptiva em tarefa locomotora com alta demanda de equilíbrio em crianças. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, v.11, n.4, p.79-86, 2003.

GOBBI, L.T.B.; PATLA, A.E. Desenvolvimento da locomoção em terrenos irregulares: proposta de um modelo teórico. In: PELLEGRINI, A.M. (Org.) **Coletânea de Estudos: Comportamento Motor I**. São Paulo: Movimento, 1997. p.29-44.

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.

HAYWOOD, K.M; GETCHELL, N. **Desenvolvimento motor ao longo da vida**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

HOLLANDS, M.A.; SORENSON, K.L.; PATLA, A.E. The effects of head immobilization on the coordination and control of head and body reorientation and translation during steering. **Experimental Brain Research**, New York, n.140, p.223-233, 2001.

HORAK, F. B.; MACPHERSON, J. M. Postural orientation and equilibrium. In: ROWELL, L. B.; SHEPHERD, J. T. (Eds). **Handbook of Physiology Section 12: Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems**. New York: Oxford University Press, 1996. p.255-292.

KANDELL, E.R. Perception of Motion, Depth, and Form. In KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSELL, T.M. (Eds) **Principles of Neural Science**. 3 ed. Norwalk: Appleton & Lange, 1991. p. 440-466.

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

LATASH, M.L; ANSON, G.J. What are “normal movements” in atypical populations? **Behavioral and Brain Sciences**, New York, v.19, p.55-106, 1996.

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

LEE, D.N.; LISHMAN, R. Visual control of locomotion. **Scandinavian Journal of Psychology**, Oxford (UK), v. 18, p.224-230, 1977.

MASON, C.; KANDELL, E.R. Central Visual Pathways. In: Kandel, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSELL, T.M. (Ed) **Principles of Neural Science**. 3 ed. Norwalk, Appleton & Lange, p. 420-439, 1991.

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. 459-468, 2004.

NEWELL, K.M. Physical constraints to development of motor skills. In: THOMAS, J.R. (Ed) **Motor Development During Childhood and Adolescence**. Louisiana: Burgess Publishing Company, 1986. p. 105-120.

OIE, K.S.; KIEMEL, T.; JEKA, J.J. Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. **Cognitive Brain Research**, Amsterdam, v.14, p.164-176, 2002.

PATLA, A.E. Understanding the control of human locomotion: a prologue. In: PATLA, A.E. (Ed.) **Adaptability of Human Gait**. Amsterdam: Elsevier, 1991, p.13-17.

PATLA, A.E.; SHUMWAY-COOK, A. Dimension of mobility: defining the complexity and difficulty associated with community mobility. **Journal of Aging and Physical Activity**, Champaign, v.7, p. 17-19, 1999.

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.; TEASDALE, N. (Eds) **Changes in Sensory Motor Behavior in Aging**. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. p. 257-275.

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

PATLA, A.E.; RIETDYK, S. Visual control of limb trajectory over obstacles during locomotion: effect of obstacle height and width. **Gait and Posture**, Oxford (UK), v.1, n.1, p.45-60, 1993.

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

PATLA, A.E.; RIETDYK, S.; PRENTICE S; UNGER-PETERS, G.; GOBBI, L.T.B. Understanding the roles of sensory inputs in the control of limb trajectory over obstacle during locomotion. **Society for Neuroscience Abstracts**, 1993. v.29, p. 148.

SANTOS, L.C.; PATLA, A.E. The effects of optic flow manipulations on the control of foot placement during obstacle avoidance. **Experimental Brain Research** (submetido).

SCHÖNER, G.; DIJKSTRA, T.M.H.; JEKA, J.J. Action-perception pattern emerge from coupling and adaptation. **Ecological Psychology**, v.10, p.323-346, 1998.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.H. **Motor control**: theory and practical applications. Maryland: Williams & Wilkins, 1995. 475 p.

SILVA, J.J.; OLIVEIRA, M.D.T; GOBBI, L.T.B. Estratégias adaptativas na ultrapassagem de obstáculo móvel: estudo piloto. In: II Congresso Brasileiro de Comportamento Motor, 2004, Belo Horizonte. **Anais do II Congresso Brasileiro de Comportamento Motor**, 2004. v.1. p.84 – 84.

SILVA, J.J.; GOBBI, L.T.B.; SIMÕES, C.S.; SILVEIRA, C.R.A. Ultrapassagem de obstáculo móvel: descrição do comportamento locomotor em indivíduos adultos. **Motriz**. Rio Claro: UNESP, v.11, n.1, p.S172 - S172, 2005.

TRESILIAN, J.R. Empirical and theoretical issues in the perception of time to contact. **Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance**, Washington, v.17, n. 3, p.865-876, 1991.

TRESILIAN, J.R. The accuracy of interceptive action in time and space. **Exercise and Sport Science Review**, v.32, n. 4, p.167-173, 2004.

TROISI, A. The concept of alternative strategies and its relevance to psychiatry and clinical psychology. **Neuroscience and Behavioral Reviews**, 29, p. 159-168, 2005.

WINTER, D. A. **The Biomechanics and Motor Control of Human Gait**. 2 ed. Waterloo: University of Waterloo, 1991.

ABSTRACT

Considering that both individual and environment are dynamically related and that the individual find in the environment situations also in movement, the purpose of the present study was to analyze the locomotor strategies during crossing the obstacle, which moved in different speeds. Ten young adults, undergraduate students participated. Passive markers were attached in anatomical landmarks. Each participant walked on a pathway of 6m long and 0.5m wide and passed over an obstacle that perpendicularly (90°) crossed his/her trajectory under three velocity conditions: control (motionless), low (1,07 m/s) and high (1,71 m/s). Obstacle height was personalized for each participant at his/her knee height. The obstacle was fixed on a little car that moved it on trails by a motor (WEG, model 71, 0,33 hp, three-phases, 1,6 A, 60 Hz, 220 v, 1720 RPM) and controlled by means of a frequency inverter (TOSHIBA, model VF-SX, 220 v, 0,75 kw). On the participant right sagittal plane, the trajectories of the three-dimensional were collected by two digital camcorders (JVC, model GR – DVL 9800, of the Biomechanical Analyses Lab – UNESP/RIO CLARO). Eleven dependent variables were selected: the last but two step length prior to approach (APP), the last but one step length prior to the approach (PP), last step length prior to approach (UP), foot placement prior to the obstacle (DHPO), foot placement after the obstacle (DHOP), toe clearance (DVPO), absolute error (ERRO), the last but two step duration (TAPP), the last but one step duration (TPP), the last step duration (TUP) e and leading limb crossing duration (TULT). All dependent variables were statistically treated by trial by means of repeated measures Analyses of Variance (ANOVA one-way), for obstacle velocities conditions. Tukey's method was used in order to localize the differences among conditions. Significance level of $p \leq 0,05$ was adopted for all analyses. The results revealed that the obstacle velocity unchained spatial and temporal adjustments in all steps prior to the obstacle. During the crossing phase, the results revealed that in low speed the participants got closer to the obstacle before crossing, increased the safety margin over the obstacle, increased the foot placement after the obstacle, decreased the errors, and increased the time to pass over the obstacle. However, on the high velocity, the participants increased even more the safety margin over the obstacle and increased foot placement after the obstacle. These results showed that the obstacle velocity modulated the approach and crossing patterns.

Key words: locomotion, mobile obstacle, adaptive strategies, and motor control.

ANEXO I : Parecer do Comitê de Ética

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
Instituto de Biociências de Rio Claro
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Rio Claro, 11 de novembro de 2003.

Ofício CEP-90/2003

Prezado(a) senhor(a):

Informo que em reunião realizada em **11.11.2003**, o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro (CEP-IB-UNESP), aprovou o projeto de pesquisa intitulado *Estratégias Adaptativas da locomoção na ultrapassagem de obstáculo móvel*, sob sua responsabilidade, protocolo 004387, datado de 11/08/2003.

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

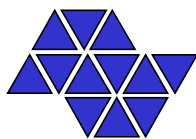
Atenciosamente,


 Profa. Dra. **Rosa Maria Feitiro Cavalari**
 Coordenadora do Comitê

11/11/2003 15:11:11

Ilmo(a) Sr(a):
Profa. Dra. LILIAN TERESA BUCKEN GOBBI
 DD. Docente do Departamento de Educação Física - IB
 UNESP - CRC

ANEXO II: Formulário de Consentimento Livre e Esclarecido



Formulário de Consentimento Livre e Esclarecido
IB/UNESP/Rio Claro



Título do Estudo: *Estratégias Adaptativas da Locomoção na Ultrapassagem de Obstáculo Móvel.*

Conduzido por: Msdo. Jean José Silva e Prof^a. Dr^a. Lilian Teresa Bucken Gobbi

O objetivo deste estudo é analisar as relações espaço-temporais na interação sujeito e ambiente durante a transposição de obstáculo. Mais especificamente, objetiva-se verificar as estratégias locomotoras adaptativas na transposição de obstáculo móvel em diferentes velocidades.

Perguntas relativas aos dados pessoais e medidas antropométricas (estatura, massa corporal, comprimentos do membro inferior) serão registradas em sua ficha de coleta de dados e arquivadas para análises.

Você será, então, convidado percorrer uma distância de 6 metros ultrapassando por sobre um obstáculo que se movimentará à sua frente. Em cada tentativa o obstáculo terá uma velocidade. Assim que eu der um comando, você deverá regular sua velocidade de andar a fim de passar por cima do obstáculo presente em seu caminho e, então continuar andando até o ponto demarcado.

Serão duas velocidades diferentes do obstáculo (alta e baixa) e com o obstáculo estacionário. Desta forma, você terá 3 condições experimentais com 5 tentativas para cada condição, totalizando 15 tentativas. Sua participação nesta tarefa não deverá exceder 60 minutos.

Esta tarefa possui um pequeno risco de tropeço, contudo o mecanismo de movimentação do obstáculo possui destrave automático ao mínimo toque,

Você receberá um código, o qual assegurará a sua identidade confidencial.

Consentimento de Participação

Código do Participante: _____

Eu, _____ li as informações anteriores e os pesquisadores me esclareceram os procedimentos e riscos envolvidos no estudo. 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, eu autorizo que os dados coletados neste estudo sejam utilizados somente para fins de ensino e pesquisa.

Rio Claro, ____ de _____ de 2004.

Assinatura

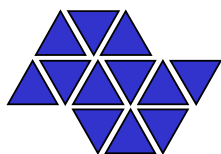
RG

Dados para Contato

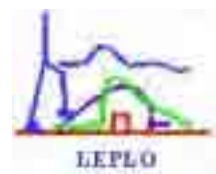
Nome: _____

Endereço: _____ Telefone: _____

ANEXO III: Ficha de Coleta de Dados



FICHA DE COLETA DE DADOS



NOME:		CÓDIGO:	
DATA DE NASCIMENTO: ____/____/____		COLETA: ____/____/____	
MASSA CORPORAL: _____ Kg		ESTATURA: _____ m	
COMPRIMENTOS			
COXA	cm	PÉ	cm
PERNA	cm	LARGURA PÉ	cm
MI	cm	ALTURA TORNOZELO	cm
Obstáculo:	cm		

Tentativa	Condição	Observação
1	alta	
2	alta	
3	alta	
4	alta	
5	alta	
6	baixa	
7	baixa	
8	baixa	
9	lento	
10	baixa	
11	controle	
12	controle	
13	controle	
14	controle	
15	controle	

ANEXO IV: Tabela de médias e desvios-padrão

	APP(cm)	PP(cm)	UP(cm)	DHPO(cm)	DHOP(cm)	DVPO(cm)	ERR O(cm)	TAPP (s)	TPP (s)	TUP (s)	TULT (s)
Controle	61,2216	62,2717	63,7971	104,6459	37,5601	17,0332	16,6685	0,2833	0,2752	0,2674	0,4611
	6,0967	10,4725	16,4431	26,9628	3,6324	3,6674	7,684	0,0327	0,0303	0,0419	0,0345
Baixa	59,1788	49,0552	56,3787	87,5041	43,0983	18,4275	14,4574	0,2988	0,3098	0,3622	0,5648
	4,5729	15,2291	12,2887	15,0466	4,5986	4,1687	9,8658	0,0426	0,0386	0,1312	0,1744
Alta	58,5956	62,7561	66,0908	107,1023	46,8961	18,8697	11,2404	0,256	0,2368	0,2556	0,4393
	9,9565	13,6883	14,5495	20,9957	7,9878	5,7592	9,6553	0,0337	0,0325	0,0461	0,0259