

## PLANEJAMENTO DE PASSADAS BASEADO NO COMPORTAMENTO HUMANO PARA UMA ÓRTESE ROBÓTICA DE MEMBROS INFERIORES

Vanessa Gabriela de Souza Moraes, UFRN, [vanessagabi09@hotmail.com](mailto:vanessagabi09@hotmail.com)

Márcio Valério de Araújo, UFRN, [marcio@ct.ufrn.br](mailto:marcio@ct.ufrn.br)

Pablo Javier Alsina, UFRN, [pablo@dca.ufrn.br](mailto:pablo@dca.ufrn.br)

**Resumo.** Órteses robóticas para membros inferiores são mecanismos desenvolvidos para auxiliar na locomoção de pessoas incapazes de se locomoverem por si só, todavia, esses dispositivos não variam o tamanho da passada de forma autônoma e isto implica que em certas circunstâncias o usuário com a órtese encontrará dificuldades para finalizar o trajeto. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma órtese robótica para membros inferiores, denominada Ortholeg capaz de ajustar o tamanho da passada de forma autônoma para um determinado percurso mantendo a marcha o mais natural possível, isso graças a um algoritmo de planejamento inspirado no comportamento humano. Por meio da cinemática externa foram realizados vários experimentos com um grupo de pessoas saudáveis para verificar como se comporta a variação do tamanho da passada em função das distâncias percorrida para um dado trajeto. Com base na análise estatística dos resultados experimentais foi desenvolvida uma estratégia de variação do tamanho da passada com base no comportamento médio observado.

**Palavras chave:** Planejamento de passadas, órtese robótica, tamanho da passada.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há um crescente desenvolvimento de órteses robóticas utilizadas por paraplégicos ou pessoas com mobilidade reduzida nos membros inferiores (ARAUJO ET AL, 2015), (A. DOLLAR and H.HERR,2008),( K. E. GORDON and D. P. FERRIS, 2007). Tais dispositivos permitem que o usuário caminhe por diversos terrenos, sente e levante (H.HERR ET AL, 2009) , suba e desça escadas (HUNG A.S., 2011),(MERTZ L.,2012), entre outras tarefas de forma natural.

Dependendo do percurso a ser realizado pelo usuário de uma órtese robótica, o tamanho do passo, ou da passada, deve ser variado para se adequar as condições impostas pelo ambiente sem, contudo, perder a naturalidade do movimento da marcha. Tal situação onde o tamanho da passada deve ser variado é quando o usuário caminha de um ponto inicial até um determinado obstáculo, que pode ser um buraco, um degrau a ser subido ou descido, uma calçada, ou um objeto no chão. Nestes casos o usuário se aproxima o máximo do obstáculo para depois transpô-lo, e para se aproximar o máximo o tamanho da passada é sempre variado.

No caso de usuários de órteses robóticas que realizam os movimentos de marcha que não variam o tamanho da passada ao longo de um trajeto, pode ocorrer de que para um determinado ponto final de parada a órtese robótica não consiga se aproximar o suficiente do ponto desejado. Como para essas órteses o tamanho do passo (S) ou da passada (P) é constante a distância percorrida do ponto inicial até o ponto em que a órtese para (D) é sempre um múltiplo de S ou de P.

Partindo desse pressuposto, e também pelo fato de que não há nenhuma órtese capaz de fazer tal adaptação do tamanho da passada de forma autônoma, este trabalho apresenta um algoritmo de planejamento de passadas baseado no comportamento humano utilizado por uma órtese robótica de membros inferiores, denominada. Com isso a órtese Ortholeg é capaz de ajustar o tamanho da passada ao final do trajeto de forma autônoma, garantindo que o usuário se aproxime ao máximo do ponto final desejado parando sempre com os dois pés no chão (posição ortostática).

O comportamento humano implementado no algoritmo torna a marcha mais natural e a autonomia é fundamental pois é muito difícil ou praticamente impossível para um usuário variar os tamanhos das passadas de uma órtese robótica passo a passo. Todo o planejamento das passadas é feito para que o usuário inicie o movimento de caminhada na posição ortostática e conclua o movimento também na mesma posição o mais próximo possível do ponto final do trajeto.

Para realizar o planejamento das passadas de um ponto inicial até um ponto final, a distância D, por exemplo, de um obstáculo até a órtese Ortholeg é estimada por um sistema de visão embarcado na própria órtese, em seguida o computador embarcado na órtese Ortholeg, com base no valor da distância medido, realiza o planejamento das passadas até o ponto final identificado pelo sistema de visão. Todo o sistema de visão e planejamento é supervisionado pelo usuário que pode escolher seguir ou não o planejamento proposto.

## 2. METODOLOGIA

Para verificar o comportamento da variação do tamanho da passada de um ser humano ao longo de uma trajetória em linha reta de um ponto inicial a um ponto final, foram realizadas várias medidas da variação do tamanho da passada, tanto da perna direita quanto da perna esquerda de um grupo de pessoas saudáveis, para vários percursos utilizando a técnica da cinemetria externa (SILVEIRA ET AL, 2006).

Foram selecionados nove adultos saudáveis de ambos os sexos para percorrer várias distâncias escolhidas aleatoriamente (3,87 m, 4,50 m, e 5,30m), cada pessoa percorreu três vezes cada trajeto. A Tab. (1) apresenta as principais características dos usuários selecionados para o experimento.

Tabela 1: Características principais do grupo de pessoas analisados.

<b>Idade (anos)</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Altura (m)</b>
19-32	54-85	1,6-1,8

O experimento iniciava sempre com a pessoa parada com os dois pés juntos (posição ortostática) na marca de 0 m, além disso, ela era instruída a começar a caminhada sempre com o pé direito. O objetivo era caminhar até o fim do trajeto parando no ponto final com os dois pés também juntos. Uma fita métrica posicionada entre os pés e fixada no chão foi utilizada para medir o tamanho de cada passo e na medida em que a pessoa caminha uma câmera de vídeo filmava sempre as pontas dos dois pés simultaneamente para depois saber o ponto em que cada pé tocou o solo para assim calcular o tamanho da passada. A Fig.(1) mostra uma imagem registrada pela câmera indicando a posição do de cada pé ao longo do trajeto.



Figura 1. Experimento de análise da variação da passada ao longo de uma distância D onde com o auxílio de uma fita métrica posicionada entre os pés foi possível saber a posição de cada pé no trajeto.

Dependendo do tamanho do percurso e do tamanho da passada a marcha terminava com a perna esquerda ou direita. Os dados coletados com este experimento foram submetidos a uma análise estatística para verificar o tamanho da passada médio e o desvio padrão. A Tab. (2) apresenta esses resultados para as três distâncias percorridas.

Tabela 2: Médias e Desvio padrão para o percurso com tamanho de passada constante.

<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Tamanho médio das passadas (m)</b>	
	<b>Esquerda</b>	<b>Direita</b>
3,87	0,58 ± 0,01	0,53 ± 0,1
4,5	0,56 ± 0,1	0,59 ± 0,01
5,3	0,58 ± 0,1	0,62 ± 0,02

A Figura 2 mostra um gráfico da variação do tamanho da passada em função da distância percorrida. É possível observar neste gráfico Fig. (2) o seguinte comportamento: o primeiro ponto corresponde a primeira passada dada com a perna direita, em seguida existe uma determinada parcela do trajeto em que o tamanho médio das passadas permanece praticamente constante, e por fim, quando o ser humano se aproxima do ponto final, é possível identificar também uma região onde o tamanho da passada varia significativamente. Outra coisa observada é que geralmente são as últimas duas passadas que variam de tamanho para se ajustar ao percurso.

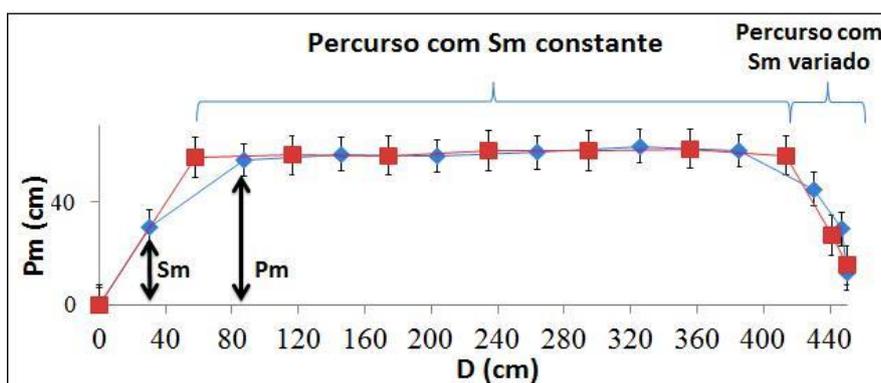


Figura 2. Exemplo de um conjunto de dados coletados mostrando a variação do tamanho da passada em função de certa distância percorrida.

Com base nos valores médios do tamanho da passada para cada distância D foi feita também uma média desses valores, no caso o tamanho da passada média  $P_m$  é de 0,56 m, e por questão de simplificação do modelo matemático que o algoritmo de planejamento utiliza, adotou-se esse valor ( $P_m = 0,56$  m) tanto para a passada da perna direita quanto para a da perna esquerda. Como o tamanho do passo (S) é a metade do tamanho da passada (P), adotou-se também que o tamanho médio do passo ( $S_m$ ) é a metade de  $P_m$ .

Tendo sido feito um levantamento da variação do tamanho da passada média em função das distâncias percorridas, os dados obtidos foram utilizados para gerar um algoritmo de planejamento de passadas baseado no comportamento humano observado.

Como o algoritmo é baseado no comportamento humano observado, ele divide o trajeto percorrido também em duas fases: percurso com  $P_m$  ou  $S_m$  constante (onde o primeiro passo sempre começa com a perna direita) e percurso com  $P_m$  ou  $S_m$  variável. Lembrando que a órtese sempre inicia os movimentos partindo da posição ortostática e encerrando a marcha também nessa mesma posição. A Fig. (3) ilustra as duas etapas mencionadas.

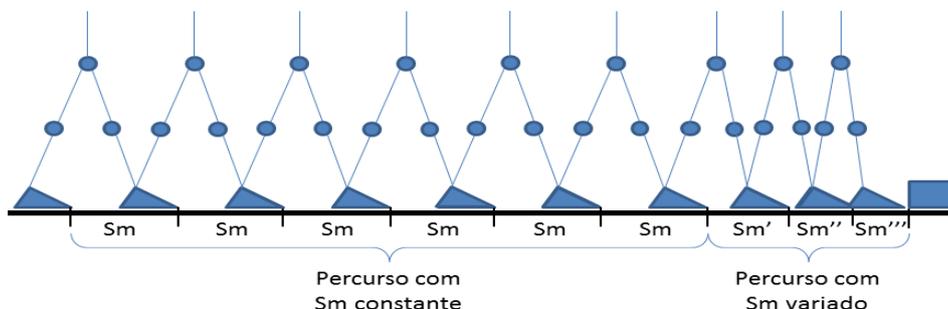


Figura 3. Exemplo de um percurso realizado pela órtese com adaptação do tamanho do passo de um ponto inicial até um ponto final parando bem próximo ao obstáculo.

A distância total percorrida pelo usuário (D) é a soma dos dois percursos, o constante (C) e o variado (V). Com a distância (D) informada pelo sistema de visão, o algoritmo calcula a quantidade de passos inteiros sem considerar o ajuste final da trajetória, tendo como base em um passo médio  $S_m = 0,28$  m que pode ser personalizado de acordo com as características antropométricas de cada usuário da órtese. Os últimos passos, tanto da perna direita quanto da esquerda, são diminuídos até chegar no ponto final como pode ser visto na Fig. 3.

A Eq. 1, mostra como é calculado o número de passos  $N_p$ , que neste caso é aproximado para um número inteiro. A Eq. 2 é utilizada para calcular o tamanho da região com percurso constante e para isso são subtraídos os últimos quatro passos de acordo com o que foi verificado no experimento realizado. A Eq. 3 mostra o cálculo da região onde o tamanho da passada sofre uma variação perceptível.

$$N_p = D/S_m \tag{1}$$

$$C = (N_p - 4) * S_m \tag{2}$$

$$V = D - C = D - (N_p - 4) * S_m \tag{3}$$

De acordo com as observações feitas no experimento que apresenta a variação do tamanho da passada com base no comportamento humano, as últimas duas passadas diminuem seu tamanho, tal comportamento é praticamente imitado pelo algoritmo de planejamento da caminhada que no caso simplifica esse comportamento variando sempre as últimas duas passadas.

### 3. RESULTADOS

Os dados para verificar o comportamento da variação do tamanho da passada de um ser humano ao longo de uma trajetória, foram coletados através da técnica da cinemetria externa. Partindo sempre da posição ortostática, foi observado que o ser humano dá o primeiro passo e depois mantém o tamanho da passada praticamente constante durante a maior parte do trajeto, variando apenas, nas duas últimas passadas para finalizar o percurso com os dois pés juntos, seja em frente a um obstáculo ou a um buraco ou um ponto final qualquer.

A Fig. (4.a) mostra o comportamento da variação do tamanho da passada de um ser humano ao longo de uma trajetória predefinida, onde é possível observar uma região com tamanho de passo constante e a outra região com tamanho de passo variável e a Fig. (4.b) apresenta o resultado do planejamento de passadas desenvolvido pelo algoritmo da órtese robótica Ortholeg, que também é possível observar uma região com tamanho de passo constante e a outra com tamanho de passo variável se aproximando ao comportamento humano observado. Em ambos os casos, o movimento sempre começa com o mesmo pé (pé direito), todavia dependendo do tamanho do percurso, o último passo pode ser dado com o pé esquerdo ou direito.

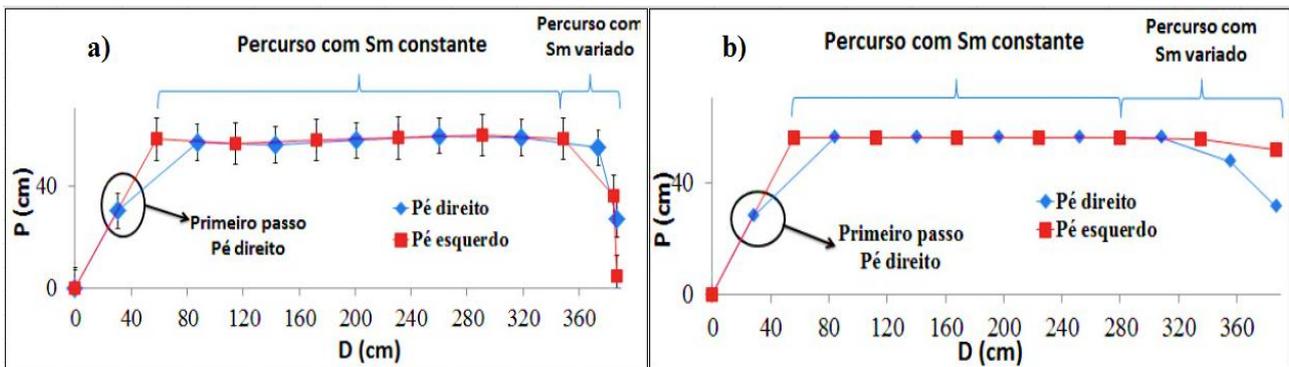


Figura 4. a) Variação do tamanho da passada de um ser humano em função de uma distância percorrida de 387 cm. b) Resultado do planejamento de passadas gerado pelo algoritmo para a mesma distância.

A Fig. (5.a) mostra também o comportamento da variação do tamanho da passada para uma distância um pouco maior e a Fig. (5.b) apresenta o resultado do planejamento de passadas desenvolvido pelo algoritmo baseado no comportamento humano observado.

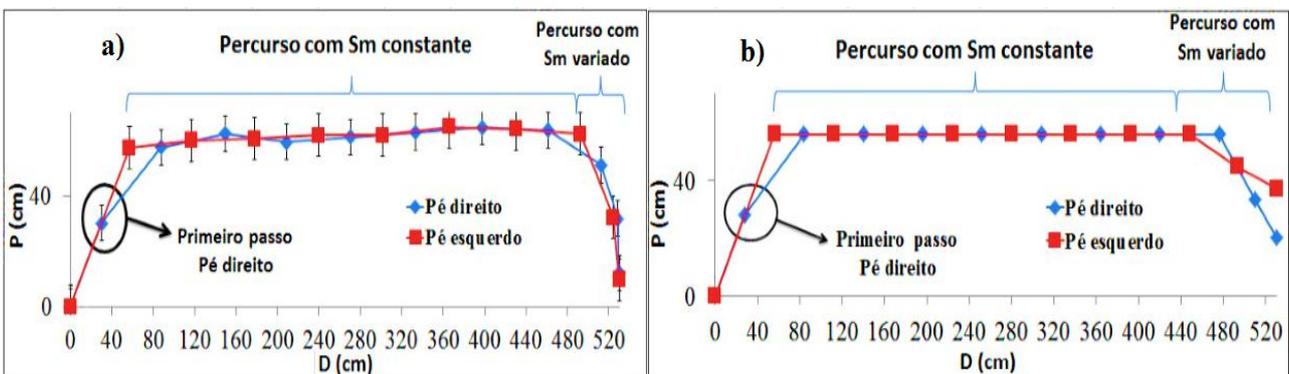


Figura 5. a) Variação do tamanho da passada de um ser humano em função de uma distância percorrida de 530 cm. b) Resultado do planejamento de passadas gerado pelo algoritmo para a mesma distância.

Com base nos dados coletados, o algoritmo de planejamento do tamanho da passada foi gerado para calcular as distâncias dos percursos, constante e variável, utilizando o tamanho de passo padrão ( $S_m = 0,28$  m). Sendo assim, pode ser visto nas Fig. (4) e Fig. (5) o comportamento é praticamente o mesmo para todas as distâncias, ou seja, o usuário dá

o primeiro passo com o pé direito e em seguida caminha com passadas praticamente constantes até um determinado ponto, se ajustando nas duas últimas passadas para finalizar o percurso com os dois pés juntos (posição ortostática).

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível observar que o comportamento da marcha humana ao longo de uma trajetória se divide em três regiões: inicial, constante e final. De acordo com o comportamento humano observado, a fase inicial é caracterizada pelo o primeiro passo com o pé direito previamente padronizado, realizando para quaisquer distâncias uma função linear, a fase constante, é possível perceber que o ser humano caminha um determinado percurso com tamanho de passadas praticamente constantes e a fase final é definida pela variação do tamanho da passada, que se ajusta para finalizar o percurso.

Com base no comportamento observado e os dados coletados, foi gerado um algoritmo onde é feito o planejamento de passadas para uma órtese ativa de membro inferior, sendo ele capaz de planejar o tamanho da passada para quaisquer distâncias de forma autônoma. Por definição, o algoritmo varia sempre as duas últimas passadas para finalizar o percurso com os dois pés juntos, garantindo ao usuário uma confortabilidade maior em percorrer uma trajetória com quaisquer tipos de obstáculos. Além disso, o ajuste do tamanho da passada garante que o usuário da órtese Ortholeg seja capaz de parar o mais próximo possível do ponto final reproduzindo um comportamento antropomórfico.

#### 5. REFERÊNCIAS

- A. Dollar and H. Herr, "Lower extremity exoskeletons and active orthoses: Challenges and state-of-the-art," *Robotics, IEEE Transactions on*, vol. 24, no. 1, pp. 144 –158, feb. 2008.
- Araujo, Marcio Valerio; Alsina, Pablo Javier; Cavalcanti Roza, Valber Cesar; Melo, Nicholas Bastos, "Powered Orthosis Ortholeg: Design and Development," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, vol.13, no.1, pp.90,95, Jan. 2015 doi: 10.1109/TLA.2015.7040633.
- H. Herr, "Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions," *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, vol. 6, no. 1, p. 21, 2009.
- Hung, A.S.; Hongtao Guo; Wei-Hsin Liao; Fong, D.T.; Kai-Ming Chan, "Experimental studies on kinematics and kinetics of walking with an assistive knee brace," *Information and Automation (ICIA), 2011 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.45,50, 6-8 June 2011.
- K. E. Gordon and D. P. Ferris, "Learning to walk with a robotic ankle exoskeleton," *Journal of Biomechanics*, vol. 40, no. 12, pp. 2636 – 2644, 2007.
- K. Mankala, S. Banala, and S. Agrawal, "Novel swing-assist un motorized exoskeletons for gait training," *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, vol. 6, no. 1, p. 24, 2009.
- Mertz, L., "The Next Generation of Exoskeletons: Lighter, Cheaper Devices Are in the Works," *Pulse, IEEE*, vol.3, no.4, pp.56,61, July 2012.
- SILVEIRA, Luís Felipe et al. *Relação entre a utilização da cinemetria interna e externa na análise da cinemática articular do joelho*. Salão de iniciação Científica (18.: 2006: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

#### 6. ABSTRACT

*Robotic orthosis for lower limbs are mechanisms developed to assist in moving people unable to move around alone, however, these devices do not change the size of the last autonomously and this implies that in certain circumstances the user with the bracing find it difficult to complete the path. This work aims to present a robotic orthosis for lower limbs, called Ortholeg able to adjust the size of last autonomously for a given route while maintaining the most natural gait possible, this thanks to a planning algorithm inspired by human behavior. Through the external kinematic several experiments were conducted with a group of healthy persons to see how it behaves the change in stride length depending on the distance traveled for a given path. Based on statistical analysis of the experimental results was developed a variation of the strategy last size based on the observed average behavior.*

**Keywords:** *Past Planning, robotic orthosis, step length.*

#### 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.