

# PME3380

## Modelagem de sistemas dinâmicos

Modelagem de Equilíbrio do corpo humano como pêndulo duplo invertido

Carolina Carvalho Silva - 10705933

Gabriel José Camargo Fuoco - 10769351

João Antônio de Paula Salgado - 10355436

João Guilherme Rezende Baraldi - 10772776



## Introdução

- A postura ereta humana é **instável**, visto que o torque aplicado pela força gravitacional é **maior** que o torque restaurador das juntas viscoelásticas.[1]
- O cérebro estabiliza o sistema gerando **torques ativos nas juntas**, de acordo com o atraso de resposta do sistema neural.[1]
- Modelo de **pêndulo duplo invertido** para representar o equilíbrio de um humano parado em pé

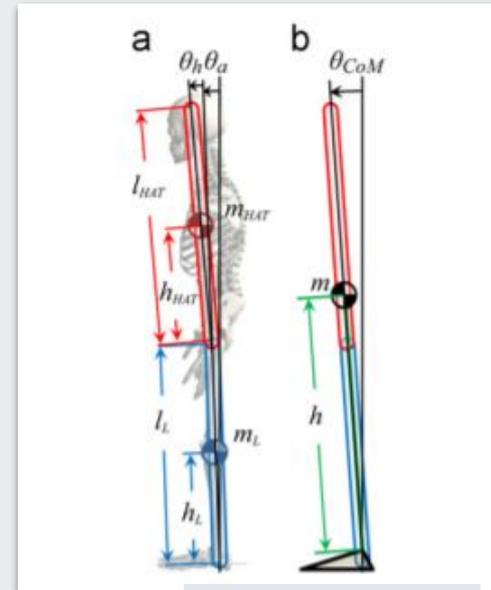


figura 1 - Representação visual do modelo utilizado - [1]

## Introdução

O corpo humano é um sistema diferente e **mais complexo que um pêndulo duplo invertido**, sendo assim, algumas simplificações são necessárias:

- **SIMPLIFICAÇÕES:**
  - **Pêndulo Duplo:**
    - Modelo plano, desconsiderando as juntas cilíndrica do joelho e esférica craniocervical.

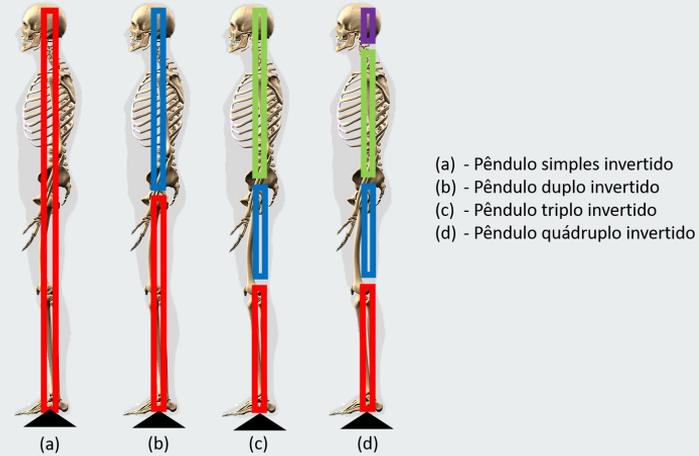


figura 2 - Diferentes representações do corpo humano com pêndulos invertido

### Introdução

O corpo humano é um sistema diferente e **mais complexo que um pêndulo duplo invertido**, sendo assim, algumas simplificações são necessárias:

- **SIMPLIFICAÇÕES:**
  - **Articulação do tornozelo:**
    - A junta do tornozelo, permite 1 grau de liberdade principal, e será o grau de liberdade considerado no modelo. [2]

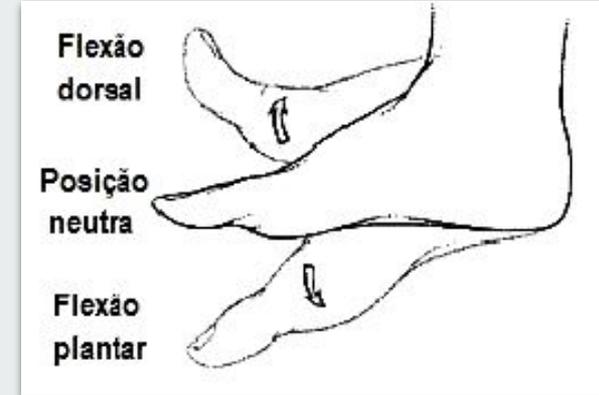


figura 3 - Grau de liberdade considerado para o modelo - Tornozelo

## Introdução

O corpo humano é um sistema diferente e **mais complexo que um pêndulo duplo invertido**, sendo assim, algumas simplificações são necessárias:

- **SIMPLIFICAÇÕES:**

- **Junta pélvica:**

- A junta pélvica conta com 2 graus de liberdade principais, será considerada apenas 1 grau de liberdade.

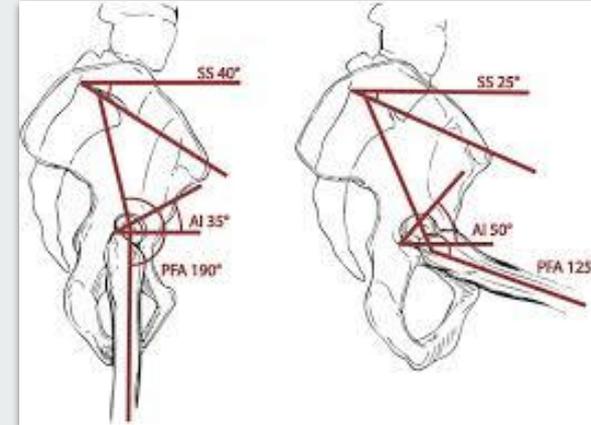


figura 4 - Grau de liberdade considerado para o modelo - Pelve [3]

## Introdução

O corpo humano é um sistema diferente e **mais complexo que um pêndulo duplo invertido**, sendo assim, algumas simplificações são necessárias:

- **SIMPLIFICAÇÕES:**

- **Perturbações do sistema:**

- Consideremos os ângulos das juntas pequenos, tendo como referência o corpo em pé perfeitamente ereto.

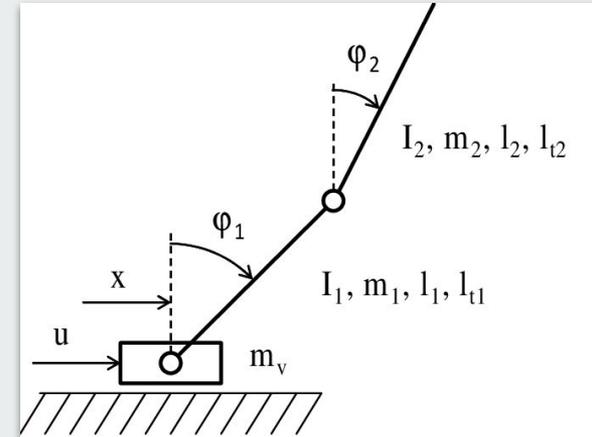


figura 5 - Modelo esquemático de um pêndulo duplo [4]

## Objetivos

Definido o escopo do projeto, foi então definido que seria feito um modelo em que sua **entrada seria um torque na junta pélvica**, que corresponde à junta entre os dois pêndulos.

- Seleção do problema e suas hipóteses simplificadoras (já apresentadas)
- Aplicação de técnicas apresentadas no curso (linearização, representação no espaço de estados, entre outras)
- Modelo digital



## Objetivos

- Utilizamos 6 informações: posição e velocidade angular de ambos os pêndulos e os torques de feedback realizados no tornozelo e na pelve.

[1]

n°	Estado	Simbolo
1	Posição angular pêndulo inferior	$\theta_1$
2	Posição angular pêndulo superior	$\theta_2$
3	Velocidade angular pêndulo inferior	$\dot{\theta}_1$
4	Velocidade angular pêndulo superior	$\dot{\theta}_2$
5	Torque feedback do sistema pelve	$\tau_{fb1}$
6	Torque feedback do sistema tornozelo	$\tau_{fb2}$

- Portanto, o sistema estudado tem **ordem  $\geq 4$**  [5]

## Bibliografia

- [1] **SUZUKI, Y. et al.** Intermittent control with ankle, hip, and mixed strategies during quiet standing: A theoretical proposal based on a double inverted pendulum model. *Journal of Theoretical Biology*, v. 310, p. 55 – 79, 2012. ISSN 0022-5193. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519312003062>>.
- [2] **AMADIO, A. C.; DUARTE, M.** Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano. São Paulo: Laboratório de Biomecânica/EEFUSP, 1996.
- [3] **HECKMANN, N. et al.** Late dislocation following total hip arthroplasty: Spinopelvic imbalance as a causative factor. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, v. 100, p. 1845–1853, 11 2018.
- [4] **Neusser, Zdeněk & Valasek, Michael.** (2013). Control of the double inverted pendulum on a cart using the natural motion. *Acta Polytechnica*. 53. 10.14311/AP.2013.53.0883.
- [5] **GARCIA, C.** Modelagem e Simulação. 2. ed. [S.l.]: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. v. 1. 66 p. ISBN 85-314-0904-7.
- [6] **Jadlovská, S.; Sarnovský, J.** Classical double inverted pendulum — a complex overview of a system. In: 2012 IEEE 10th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi). [s.n.], 2012. p. 103–108. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6208937>>.

