

# Resultados de simulação de medidas de equilíbrio de um novo modelo de controle postural humano

**Lucas Altamirando de Andrade da Rocha**, Laboratório de Engenharia Biomédica, UFU,  
e-mail: [lucasaarocha@hotmail.com](mailto:lucasaarocha@hotmail.com), home-page: <http://www.biolab.eletrica.ufu.br>

**Adriano Alves Pereira**, Laboratório de Engenharia Biomédica, UFU,  
e-mail: [adriano@eletrica.ufu.br](mailto:adriano@eletrica.ufu.br), home-page: <http://www.biolab.eletrica.ufu.br>

**Adriano O. Andrade**, Laboratório de Engenharia Biomédica, UFU,  
e-mail: [aoandrade@yahoo.com.br](mailto:aoandrade@yahoo.com.br), home-page: <http://www.biolab.eletrica.ufu.br>

**Alcimar Barbosa Soares**, Laboratório de Engenharia Biomédica, UFU,  
e-mail: [alcimar.soares@gmail.com](mailto:alcimar.soares@gmail.com), home-page: <http://www.biolab.eletrica.ufu.br>

**Eduardo Lázaro Martins Naves**, Laboratório de Engenharia Biomédica, UFU,  
e-mail: [eduardonaves@yahoo.com.br](mailto:eduardonaves@yahoo.com.br), home-page: <http://www.biolab.eletrica.ufu.br>

## Introdução

Recentemente, várias pesquisas são realizadas buscando elucidar os mecanismos responsáveis pelo controle do movimento e da postura humana. Essas pesquisas têm o objetivo, dentre outros, de facilitar o diagnóstico precoce e tornar mais eficiente o tratamento de doenças que afetam o funcionamento normal do sistema de controle postural humano (e.g., doença de Parkinson, neuropatias diversas, AVCs, etc.).

A tarefa de se compreender o que realmente ocorre nos sistemas biológicos é um desafio considerável. Neste cenário, a modelagem teórica aliada à simulação computacional, emerge como alternativa viável para tentar transpor este desafio. Desta forma, este trabalho apresenta o modelo de Naves (Naves, 2006) físico-matemático dedicado ao estudo do controle da postura ereta humana. Tal modelo se constitui num avanço por integrar simultaneamente o sistema muscular intrafusar (IF), o estímulo neural descendente do sistema nervoso central (SNC) e também os reflexos neuromusculares, além da excitação neural. A tarefa motora simulada pelo modelo, consiste na postura ortostática com apoio bipodal, esta tarefa é mantida por meio da contração dos músculos posturais, abordados em outros modelos extrafusais (EF) já usados para estudar a postura ereta (Kuo e Zajac, 1993; Soetanto, Kuo et al., 2001).

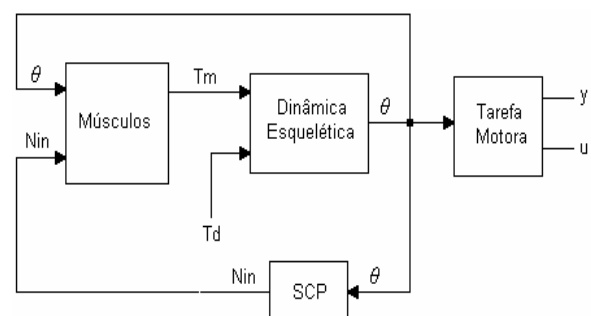
## Modelagem do sistema de controle postural

Este trabalho visa apresentar e comparar as medidas de um novo modelo de controle postural humano. Nesta seção será descrito, em linhas gerais, as características do modelo de Naves, mais precisamente o sistema de controle postural e os resultados simulados do novo modelo.

A dinâmica do corpo é representada por um modelo de pêndulo invertido linearizado, e a sua oscilação em torno da postura ereta de referência é reproduzida pela inserção de um torque de distúrbio apropriado ( $T_d$ ). Com o valor do ângulo de inclinação do corpo em relação à vertical ( $\theta$ ), as posições do centro de gravidade ( $y$ ) e do centro de pressão ( $u$ ), passíveis de

medição externa associadas à tarefa motora em questão, são então calculadas.

De acordo com o diagrama proposto por Naves (Fig.1) o modelo assume que o sistema de controle postural (SCP) percebe qualquer desvio ( $\theta$ ) do corpo diferente daquele assumido como associado a uma postura ereta de referência ( $\theta = 0$ ), e então envia estímulos neurais ( $N_{in}$ ) aos músculos que geram um torque muscular ( $T_m$ ) para resistir ao desvio. O controle do torque é fornecido por um controlador PID (proporcional-integral-derivativo). O controlador PID implementado é especificado por três constantes:  $K_p$  associada à rigidez do sistema,  $K_d$  o fator que controla o amortecimento do sistema, e  $K_i$  fator de compensação (lenta) no ajuste de erro do sistema. As constantes  $K_p$ ,  $K_d$  e  $K_i$  do controlador PID foram determinadas pelo método de Ziegler-Nichols, de forma que o controle neural simulado pelo controlador PID apresentasse respostas compatíveis as observadas empiricamente (Coelho, 2005).



**Figura 1: Diagrama em blocos do modelo de Naves.**

## Método de Trabalho

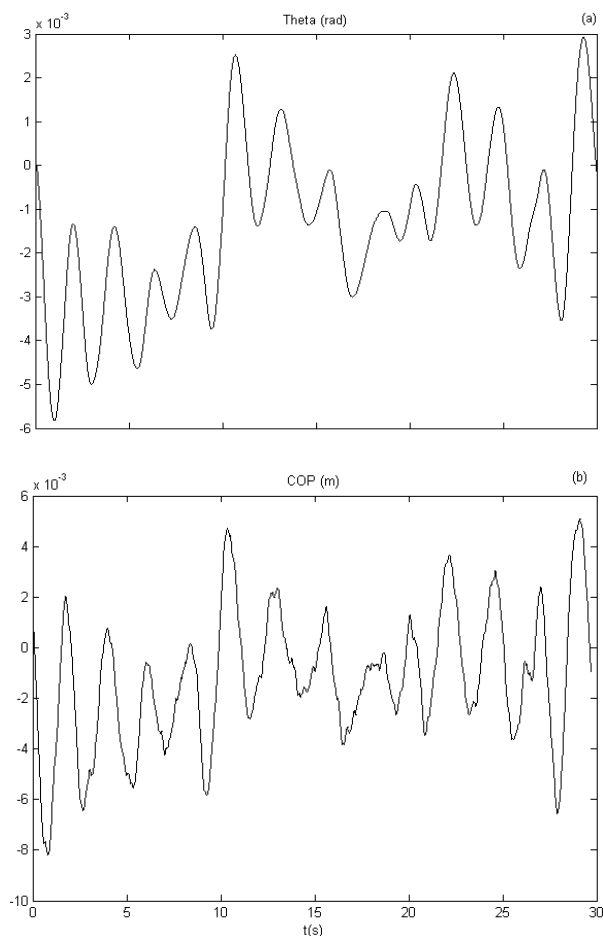
Este trabalho tem o objetivo de efetuar uma análise no novo modelo, mais especificamente no SCP, apresentado por Naves comparado aos resultados obtidos com valores experimentais coletados por Collins (Collins, 1993). Por esta análise, será buscada a melhoria do SCP por meio da otimização dos parâmetros  $K_p$ ,  $K_d$  e  $K_i$  do controlador PID segundo a metodologia de Maurer (Maurer, 2005). Os resultados

parciais das simulações são mostrados na Tabela 1, comparados com valores da Faixa de Collins.

	Resultados das simulações	Faixa de Collins
RMS	2.308	2.28-5.36
MV	4.637	4.54-8.90
MAXD	17.340	10.7-24.7
MD	1.838	1.81-4.39
MFREQ	0.449	0.27-0.57
POWER	5.383	5.00-28.6
P50	0.383	0.21-0.39
P95	0.676	0.67-1.30
CFREQ	0.406	0.40-0.67
FREQD	0.693	0.62-0.70
Kp=32.5, Kd=3.55 e Ki=2.9		

**Tabela 1: Resultados das simulações.**

A Figura 2 apresenta amostras com 30s de duração de algumas das séries temporais obtidas nas simulações do modelo, onde pode ser vista a consistência do modelo em relação ao deslocamento angular (Figura 2a) e em relação a oscilação do COP (Figura 2b) compatíveis com as observadas experimentalmente na postura ereta.



**Figura 2: Simulação com 30s; (a) deslocamento angular (Theta); (b) deslocamento do COP.**

Os resultados obtidos nas simulações (Figura 2) permitem concluir que o modelo de Naves é consistente com algumas propriedades fundamentais do

sistema somatosensorial, evidenciadas experimentalmente por outros investigadores que estudaram a postura ereta (Fitzpatrick, Taylor et al., 1992; Fukuoka, Nagata et al., 2001). Especificamente, com respeito à característica antecipatória (ou derivativa) observada no sistema de realimentação somatosensorial e, conseqüentemente, a capacidade desse sistema em sustentar por si só o corpo na postura ereta.

### Comentários finais

O propósito deste trabalho foi mostrar os resultados das simulações de medidas do novo modelo de controle postural humano, que possibilite o desenvolvimento de um modelo mais preciso, para facilitar o diagnóstico precoce e tornar mais eficiente o tratamento de doenças que afetam o funcionamento normal do sistema de controle postural humano.

Os resultados obtidos nas simulações mostraram que o comportamento do modelo proposto é compatível com propriedades fundamentais do sistema somatosensorial observadas experimentalmente por outros investigadores.

### Referências bibliográficas

- Coelho, D. B. Modelo de ativação neural do controle postural humano durante a postura ereta. ENGEVISTA, vol. 7, n. 1, 83-90, 2005.
- Collins JJ and De Luca CJ. Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res* 95:308-318, 1993.
- Fitzpatrick, R. C., J. L. Taylor, et al. Ankle stiffness of standing humans in response to imperceptible perturbation: Reflex and taskdependent components. *J Physiology*, n.454, p.533-547. 1992.
- Fukuoka, Y., T. Nagata, et al. Characteristics of Somatosensory Feedback in Postural Control During Standing. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v.9, n.2, p.145-153. 2001.
- Kuo, A. D. e F. E. Zajac. A Biomechanical Analysis of Muscle Strength as a Limiting Factor in Standing Posture. *J Biomechanics*, n.26, Suppl. 1, p.137-150. 1993.
- Maurer, C. e R. J. Peterka. A new interpretation of spontaneous sway measures based on a simple model of human postural control. *J Neurophysiology*, n.93, p.189-200. 2005.
- Naves, E. L. M. Modelagem e simulação do controle da postura ereta humana quase-estática com reflexos neuromusculares. Tese Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2006.