

# **Biomecânica e Controle Motor do Andar na Água Rasa**

**Marcos Duarte**

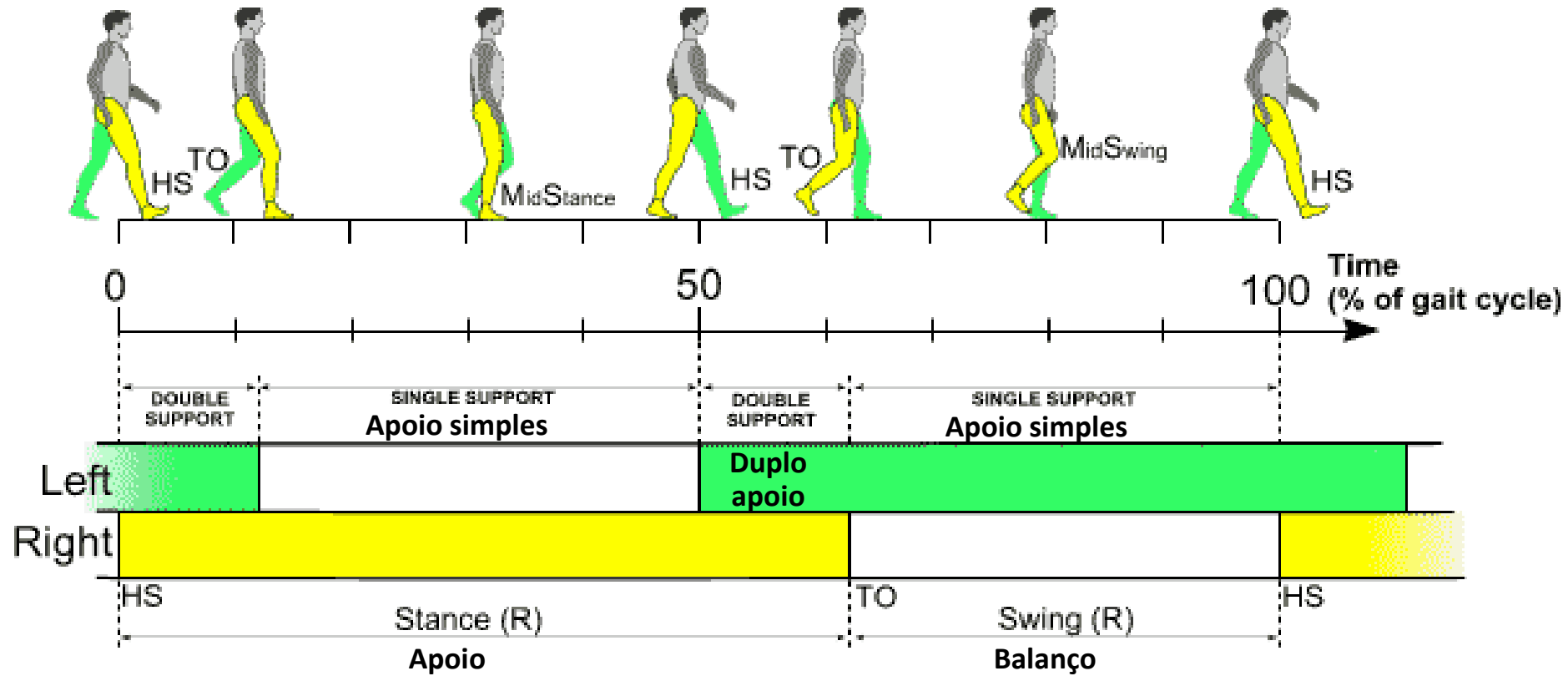
Universidade Federal do ABC

**<http://demotu.org>**

# A andar na água como treinamento e reabilitação

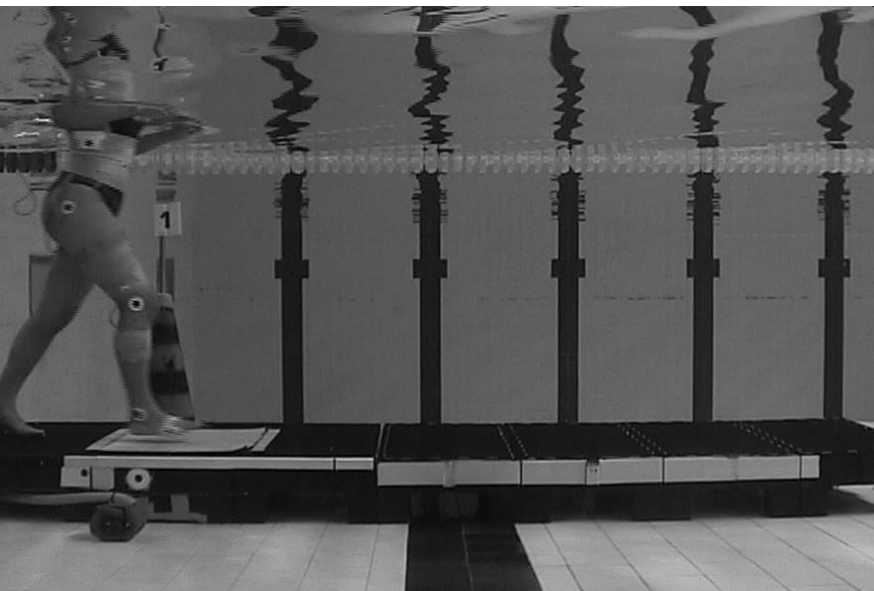
- Atividades na água, outras que natação, como o andar na piscina rasa, são muito utilizadas em reabilitação e treinamento físico.
- Apesar do seu amplo uso, pouco é conhecido sobre a biomecânica e controle motor do movimento humano na água.
- Há uma década tenho, junto com colaboradores, estudado este assunto.
- Aqui estão alguns dos resultados destes estudos.

# Fases do Andar

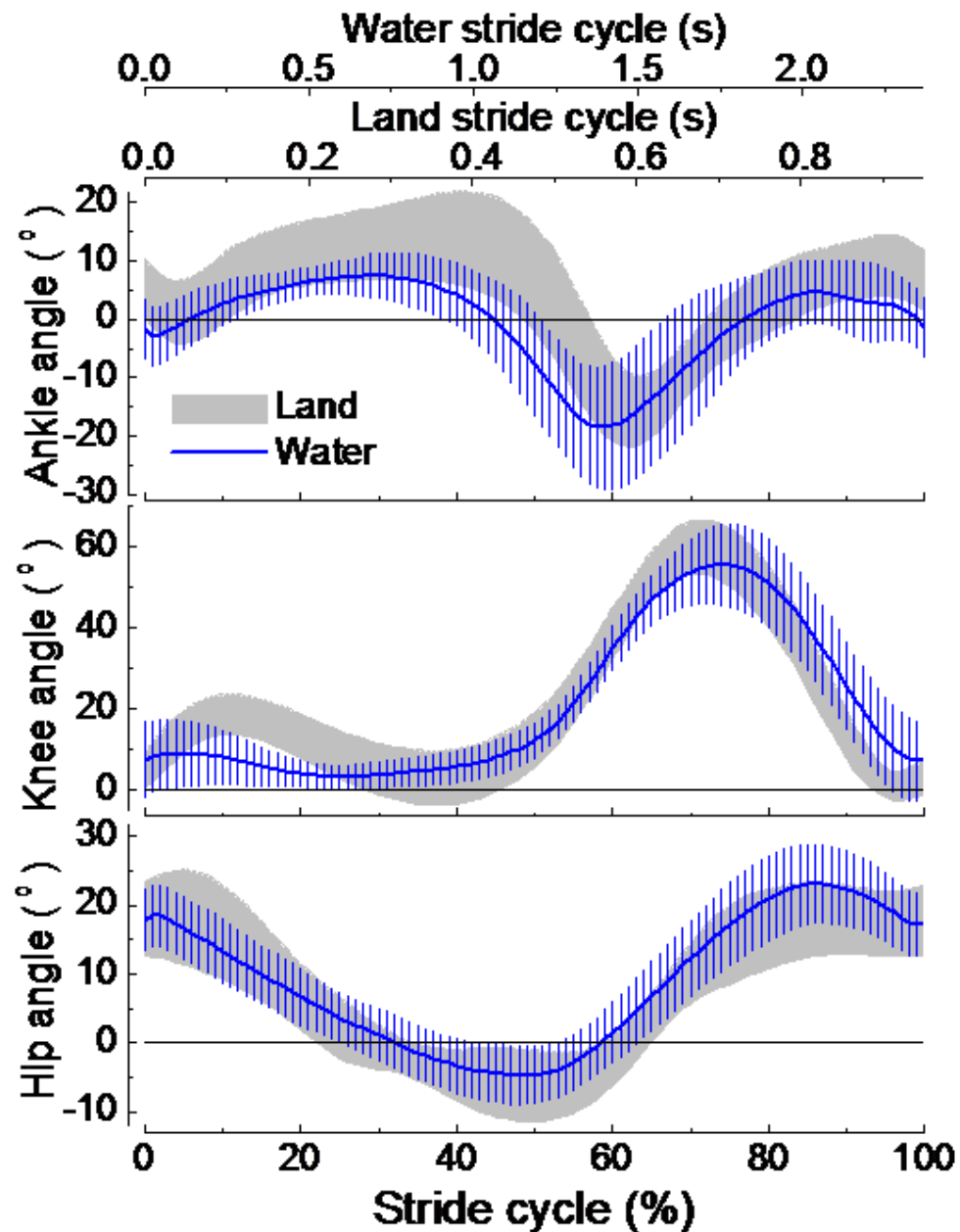


# Andar na água:

## Cinemática articular

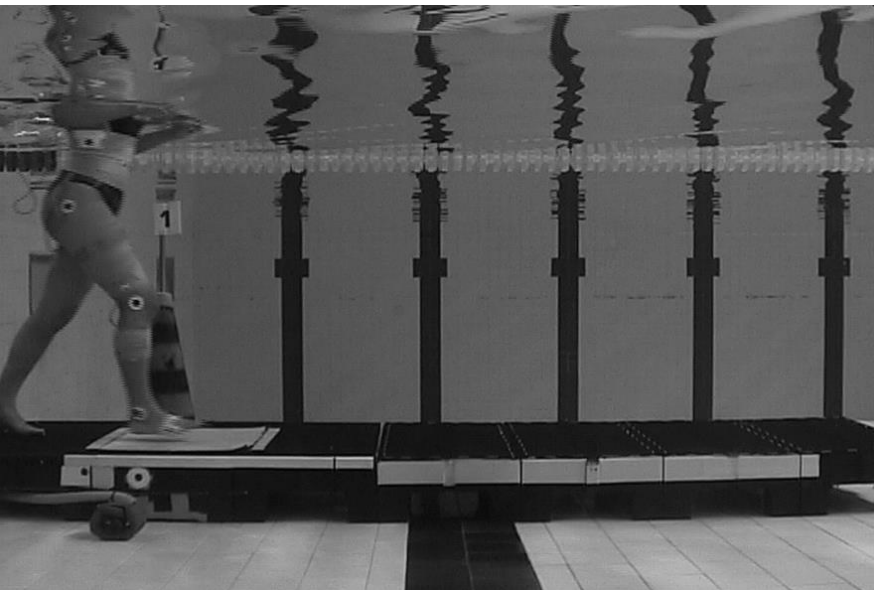


Deslocamento angular do tornozelo, joelho e quadril durante o andar na terra e na água.

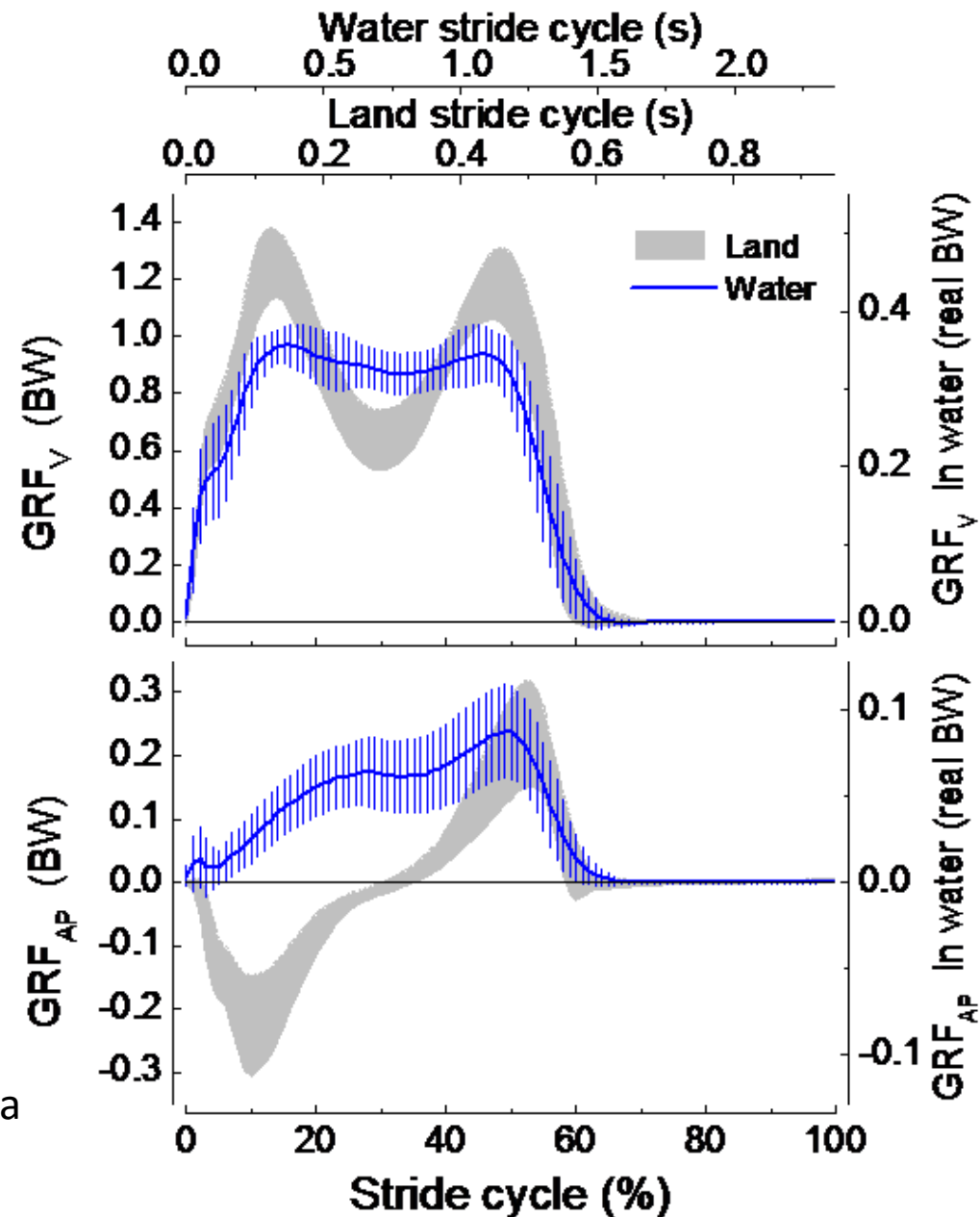


# Andar na água:

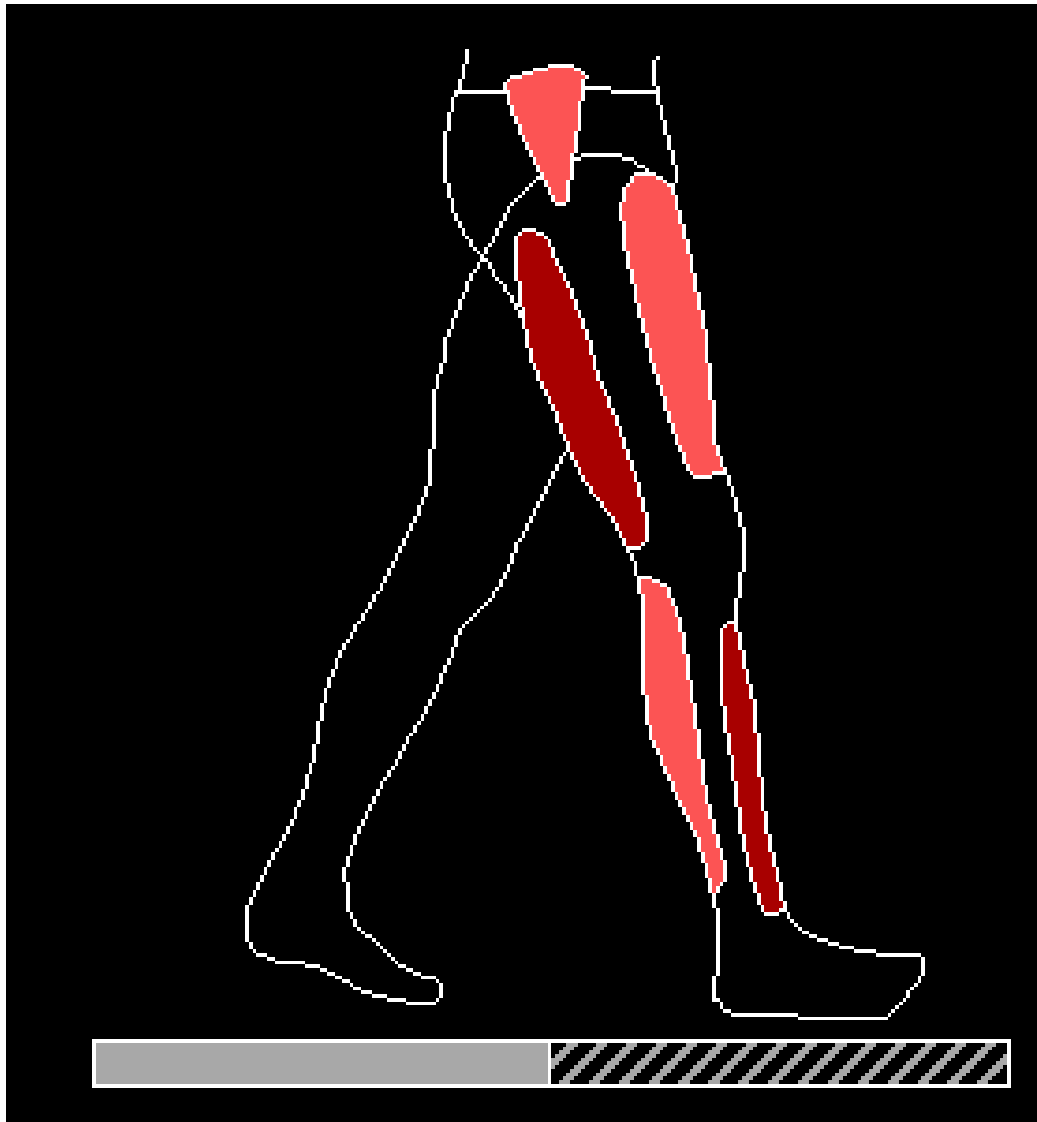
## Forças de reação do solo



Forças de reação do solo durante o andar na terra e na água.



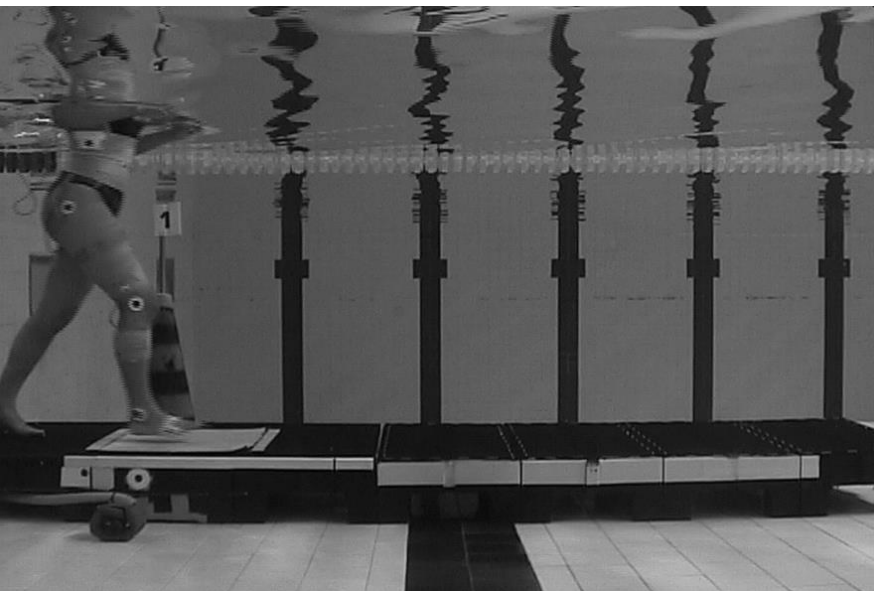
# Atividade muscular durante o andar



Vaughan (2005)

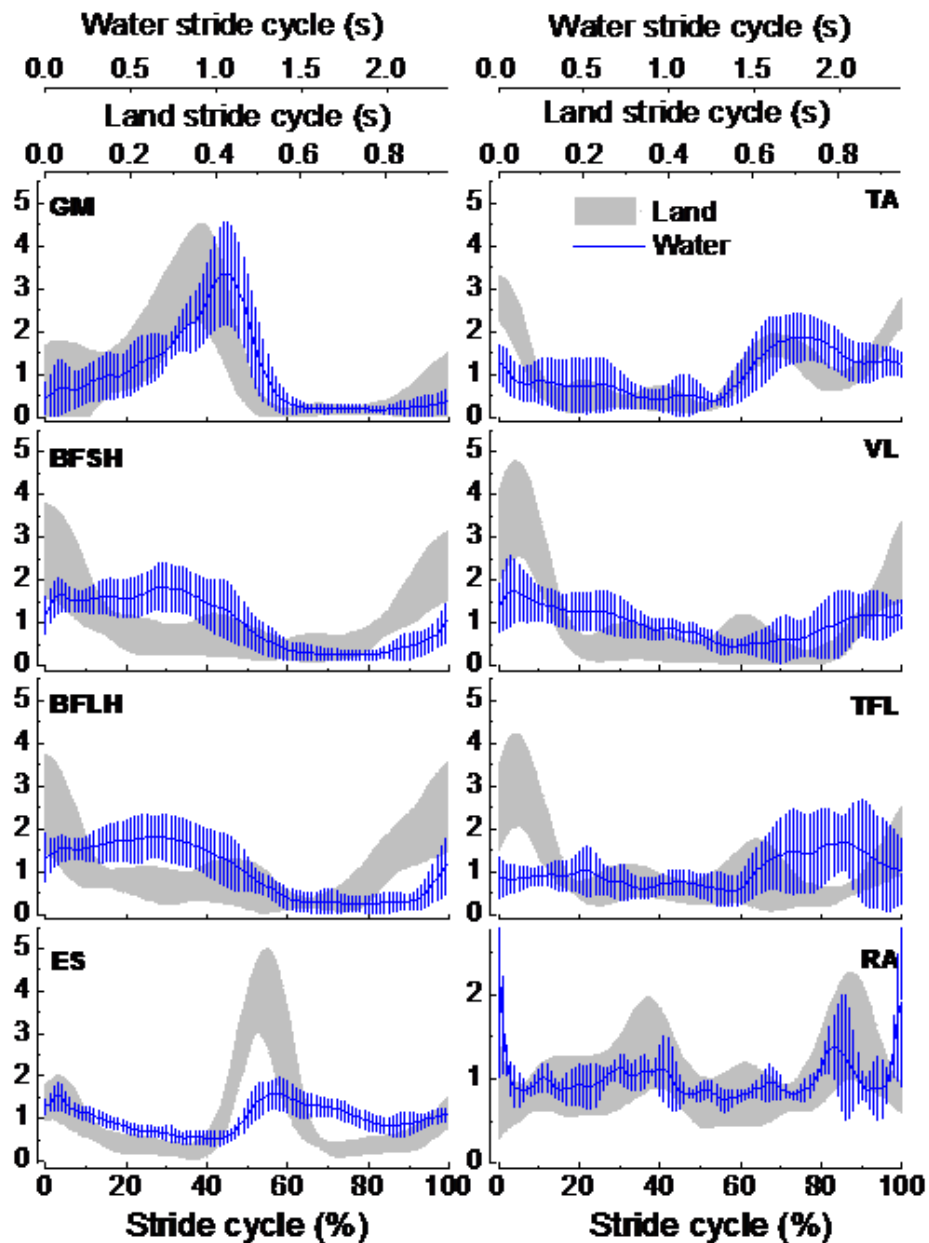
# Andar na água:

## Atividade muscular



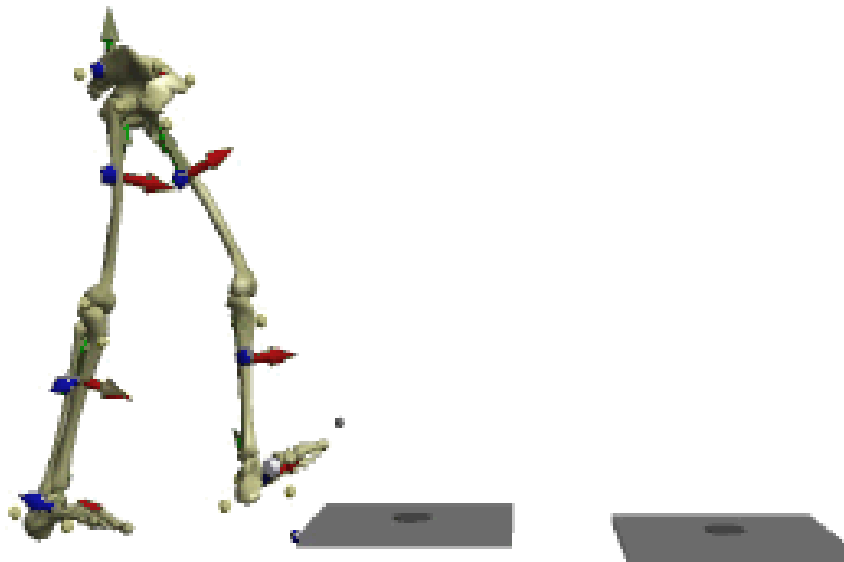
Atividade elétrica de músculos do membro inferior e tronco durante o andar na terra e na água.

EMG activity (normalized by the mean value)



# Estimativa das forças e torques internos articulares durante o andar

- A estimativa das forças internas no aparelho locomotor, tais como forças musculares e forças sobre tendões, durante movimentos é útil para compreender a carga mecânica sobre o corpo humano e o controle neural do movimento.

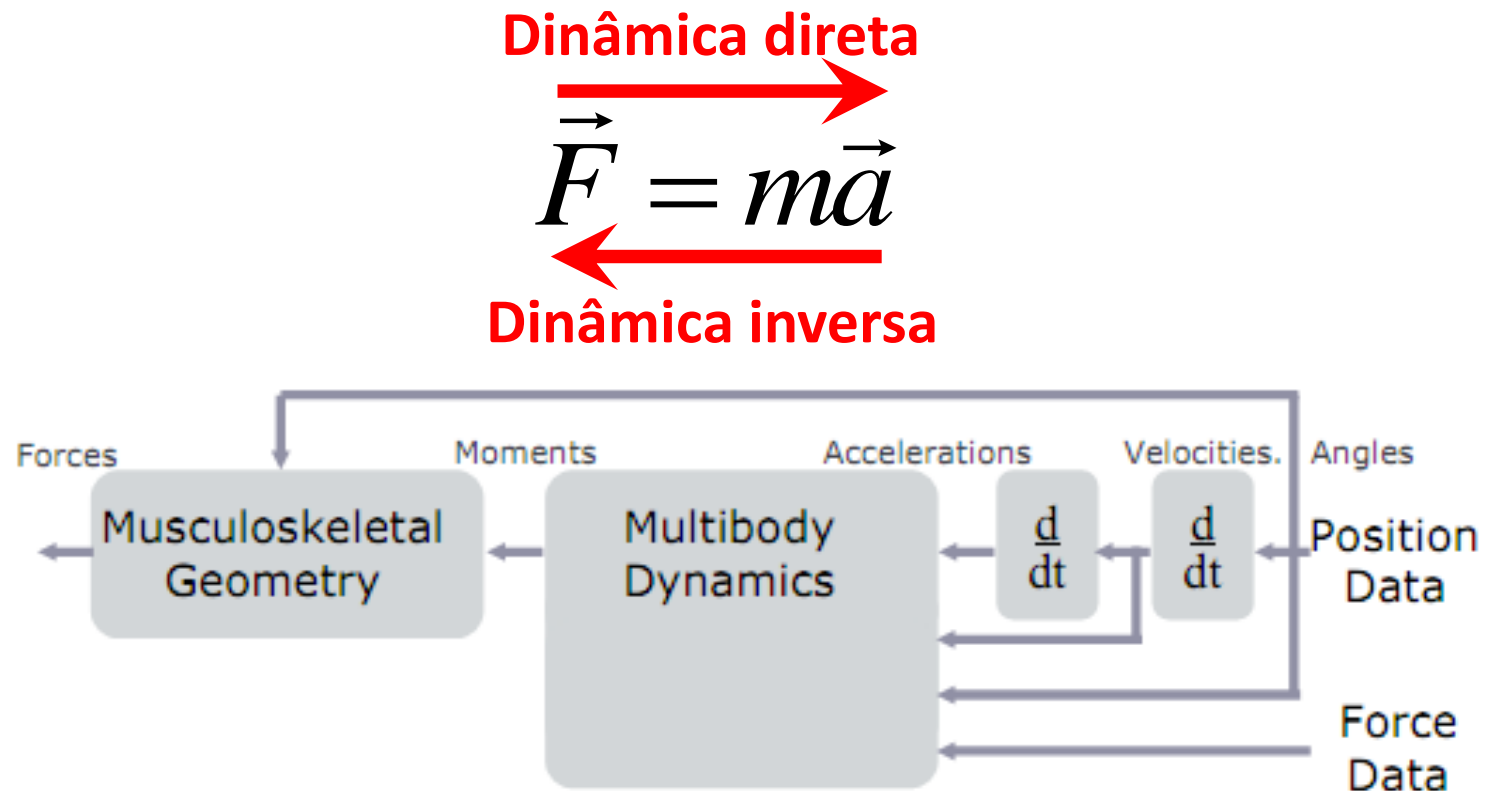


Ariel (2000)

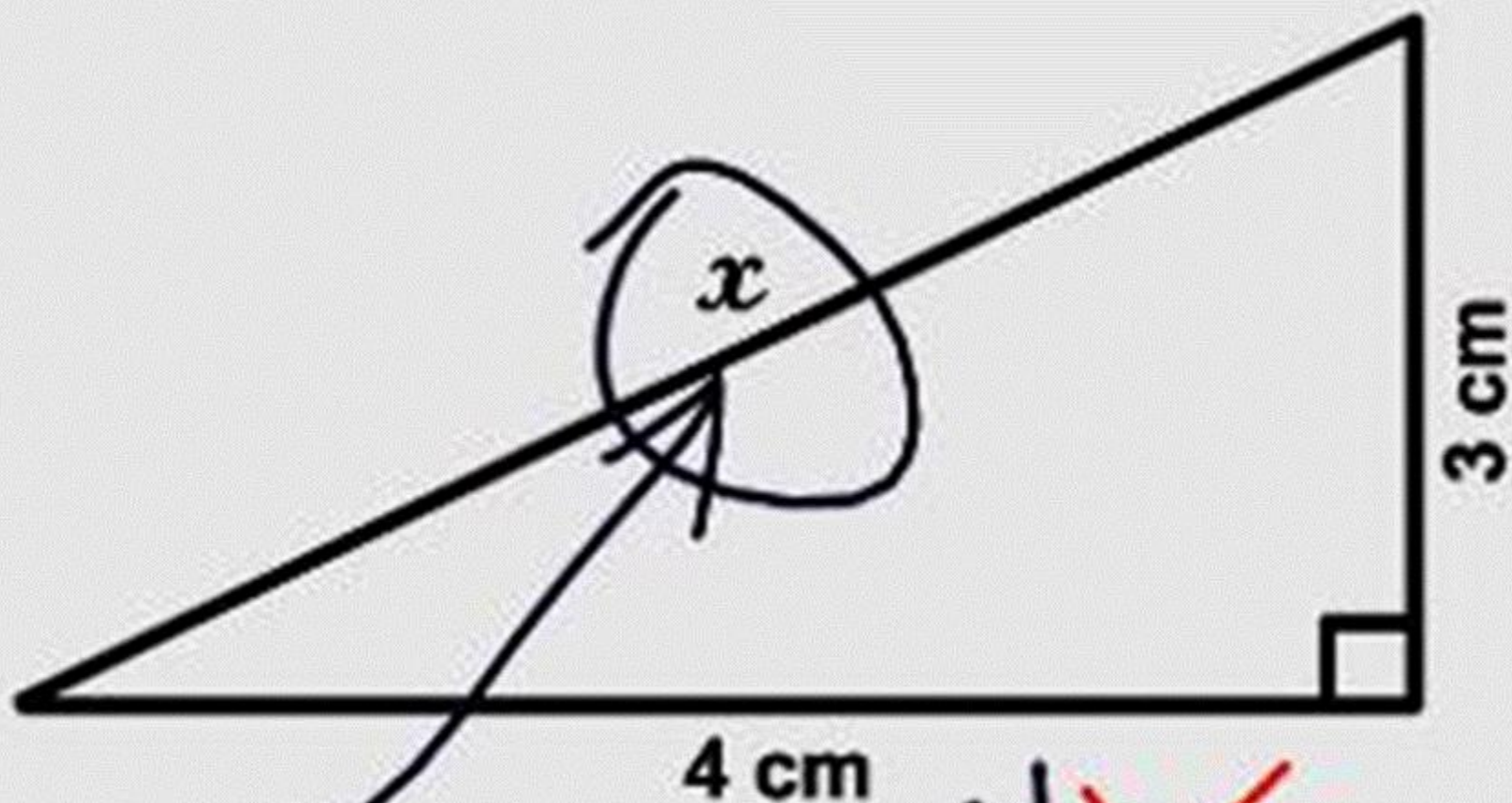


# Dinâmica inversa

- Na biomecânica usualmente estima-se estas forças internas por meio de um modelo físico-matemático do corpo humano, medidas experimentais das forças externas, posição e propriedades inerciais do corpo . Esta abordagem é conhecida como **dinâmica inversa**.



**3. Encontre X.**



Ele está aqui!

~~X~~

○

# Dinâmica inversa

- Para o corpo humano se movendo na água, as forças ( $F_{pji}$ ) e torques ( $M_{pji}$ ) na articulação proximal no plano sagital (2D) podem ser expressas por:

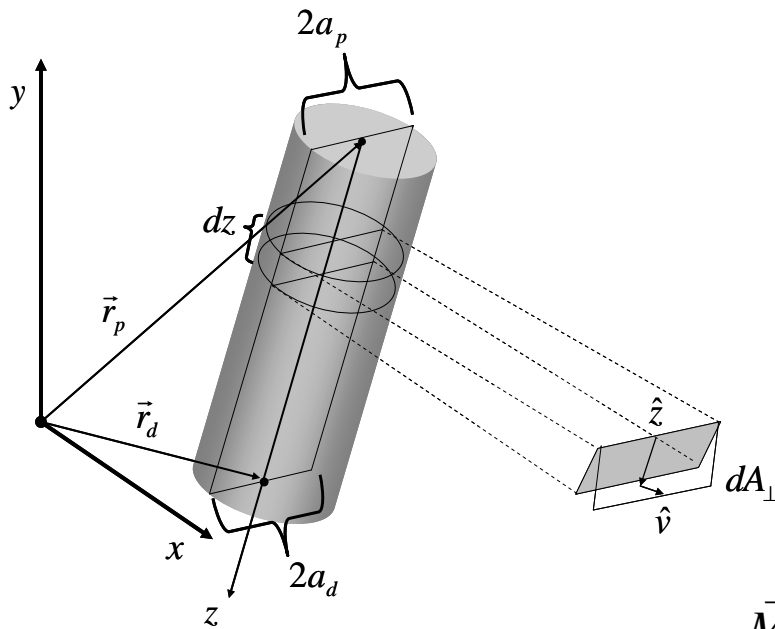
$$\begin{aligned}\vec{F}_{pji} &= m_i \vec{a}_i - \vec{F}_{dji} - \vec{F}_{Gi} - \vec{F}_{Bi} - \vec{F}_{Di} \\ \vec{M}_{pji} &= I_i \vec{\alpha}_i - \vec{M}_{dji} - \vec{M}_{Gi} - \vec{M}_{Bi} - \vec{M}_{Di}\end{aligned}$$

- Considerando a interação do corpo humano com a água como estacionária e ignorando termos não inerciais, a força de arrasto é dada simplesmente por:

$$\vec{F}_D = -\frac{C_D \rho_m A_{\perp} v^2}{2} \hat{v}$$

# Dinâmica inversa

- Devido ao movimento de rotação e translação dos segmentos do corpo, cada ponto do corpo tem uma velocidade diferente, Então devemos calcular a força de arrasto em cada ponto e somá-la sobre cada segmento.
- Para realizar este cálculo é necessário utilizar a teoria das faixas, desenvolvida na hidrodinâmica (Newman, 1977).



$$d\vec{F}_D = -\frac{C_D \rho_m v^2}{2} dA_{\perp} \hat{v}$$

$$\vec{v}(z) = \frac{z\vec{v}_d + (L-z)\vec{v}_p}{L}$$

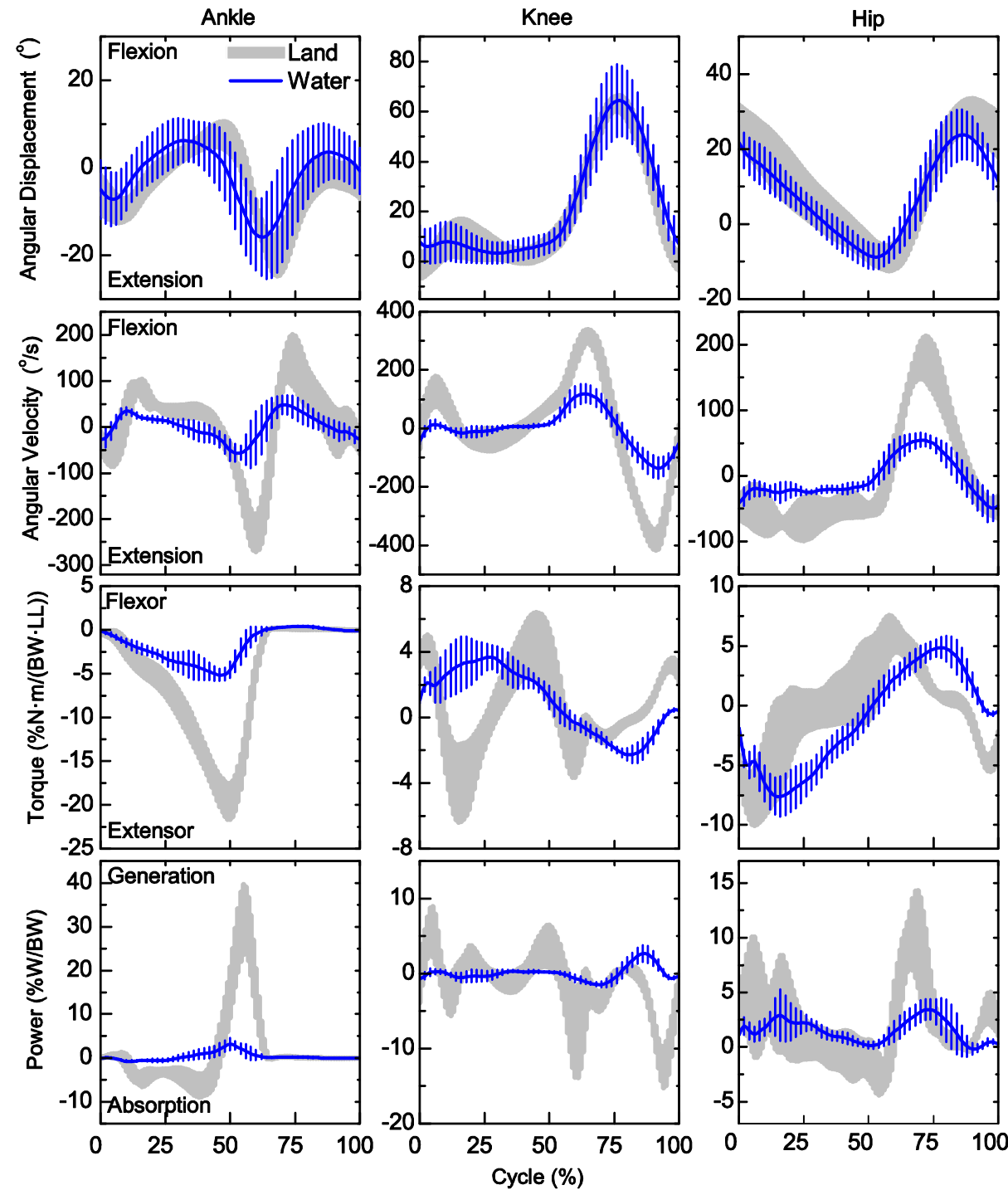
$$dA(z) = 2a(z)dz = 2\left[\frac{(a_d - a_p)z + a_p L}{L}\right]dz$$

$$\vec{F}_D = -\int_0^L C_D \rho_m \left[\frac{(a_d - a_p)z + a_p L}{L}\right] \|\hat{z} \times \vec{v}(z)\| \vec{v}(z) dz$$

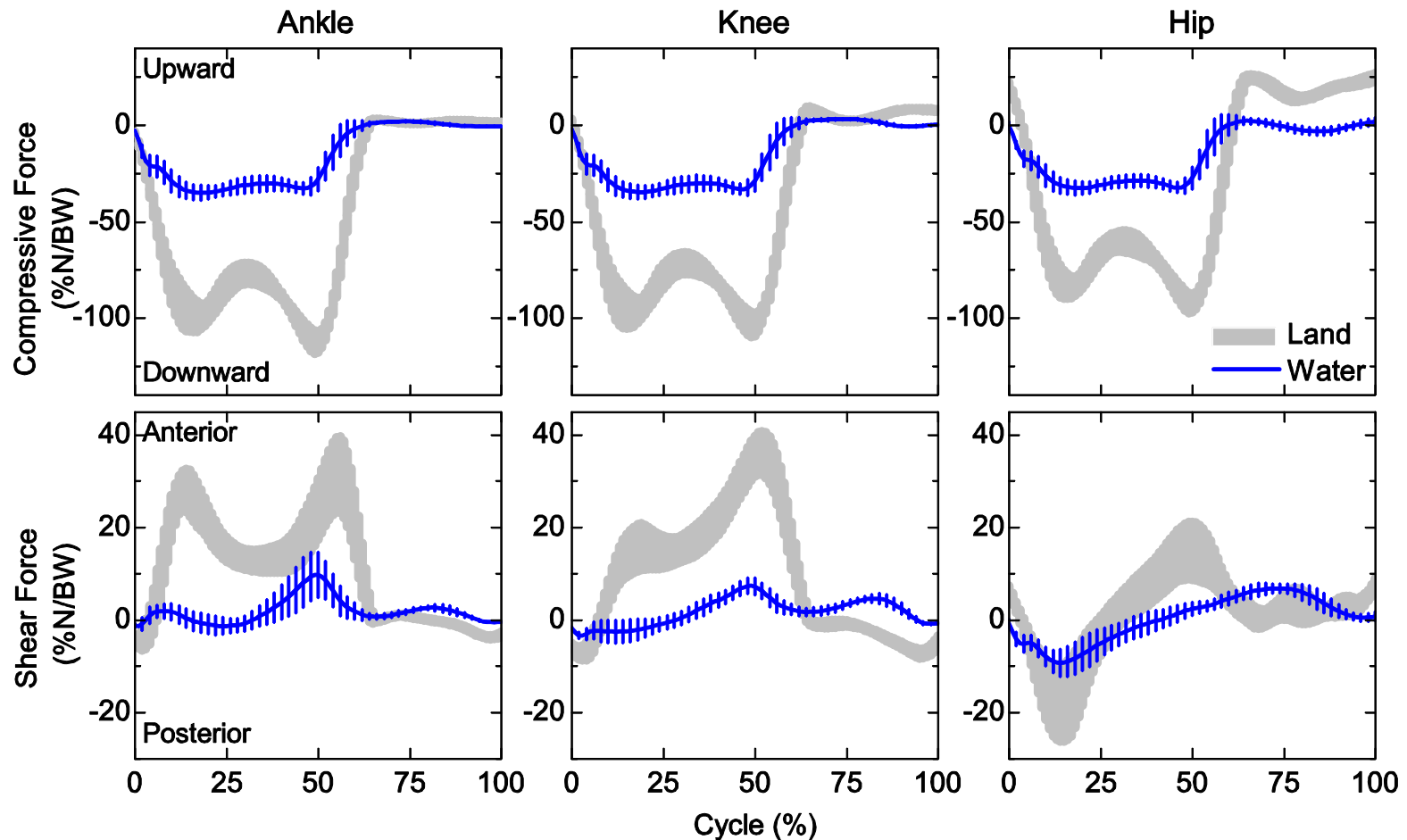
$$\vec{M}_D = -\int_0^L C_D \rho_m z \left[\frac{(a_d - a_p)z + a_p L}{L}\right] \|\hat{z} \times \vec{v}(z)\| (\hat{z} \times \vec{v}(z)) dz$$

# Andar na água

Deslocamento e velocidade angular, torque e potência mecânica no tornozelo, joelho e quadril durante o andar na terra e na água.



# Andar na água: forças articulares

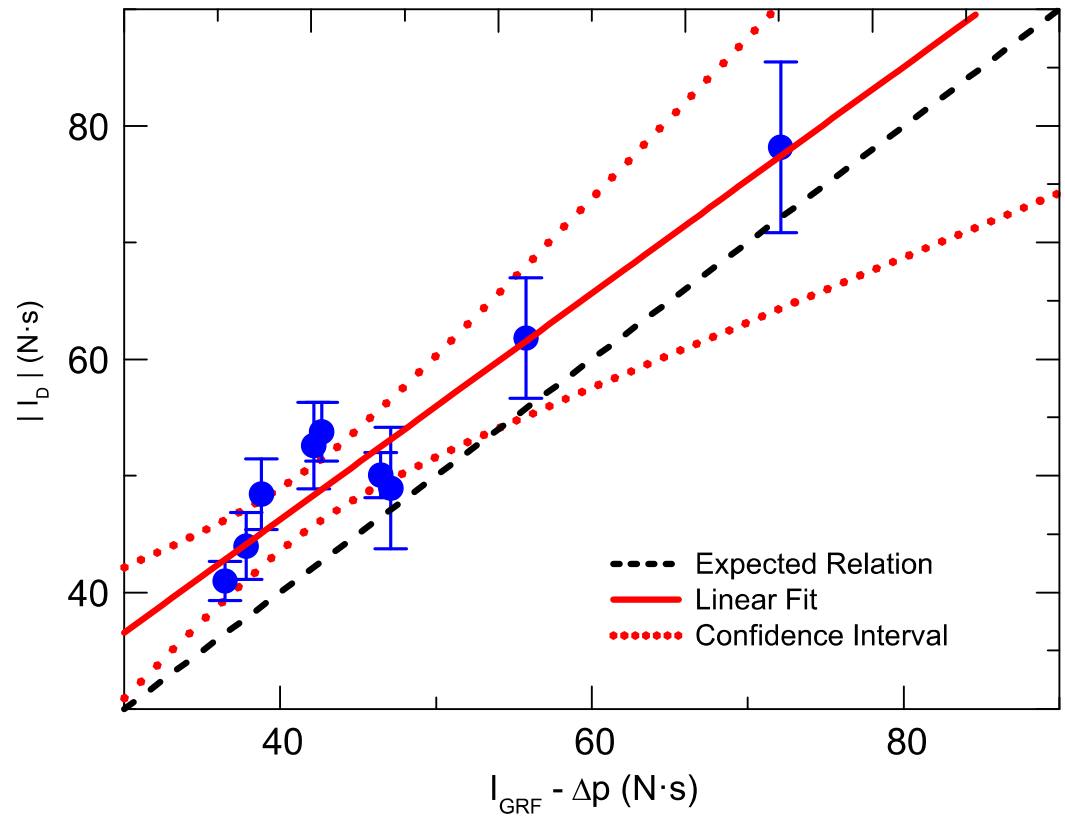


Forças de compressão e cisalhamento no tornozelo, joelho e quadril durante o andar na terra e na água.

# Validação inicial do método para estimar a força de arrasto

A exatidão do método para estimativa da força de arrasto da água foi feita comparando a mudança da quantidade de movimento linear na horizontal do corpo inteiro devido à força de arrasto estimada com o impulso gerado pela força de reação do solo (valor adotado como verdadeiro).

Os resultados desta comparação mostram um bom acordo entre os dois métodos.



# **Modelagem e Simulação**

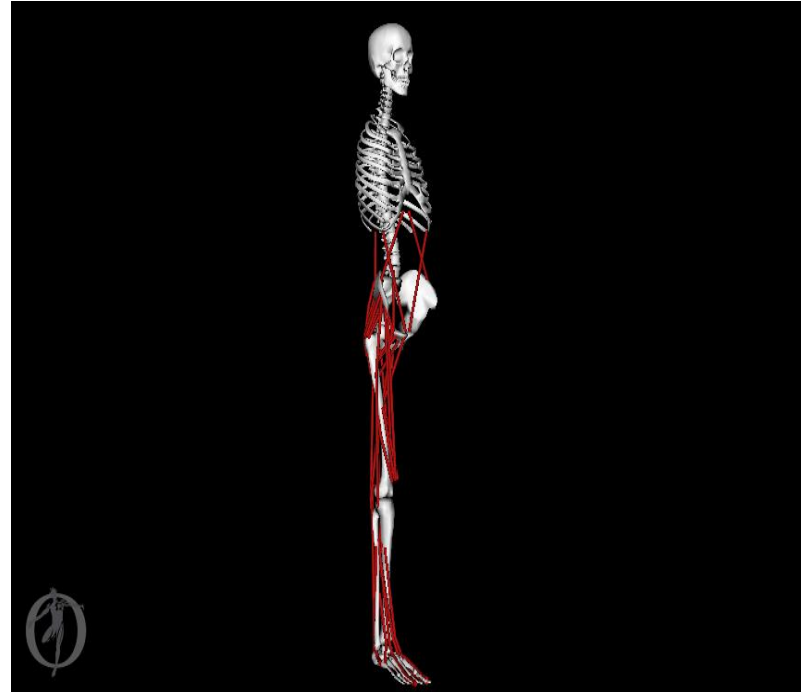
## **Estimativa das forças e torques internos articulares e atividade muscular durante o andar**

- Quantificar a carga nos músculos e nas articulações do membro inferior durante o andar de adultos em piscina com água rasa e velocidade confortável.
- Compreender melhor a atuação individual de cada músculo no controle do movimento durante essa tarefa.
- Verificar a viabilidade do uso do software OpenSim na análise da marcha humana em ambiente aquático.

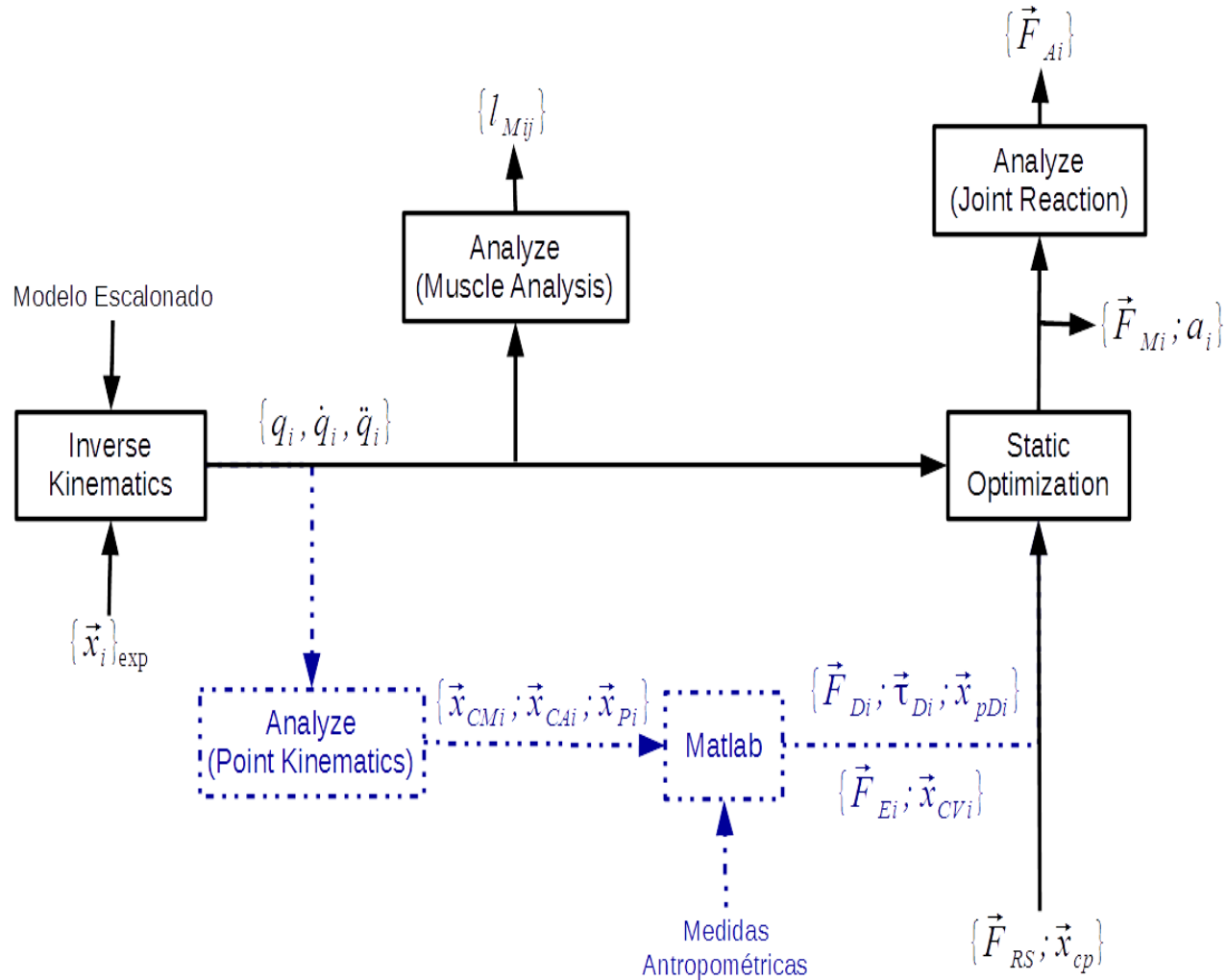


# Modelo do corpo humano

- 5 segmentos rígidos articulados
- 7 graus de liberdade
- 43 músculos do tipo Hill
- Baseado nos trabalhos de:
  - Delp e colaboradores, IEEE Transactions on Biomedical Engineering (1990)
  - Anderson e Pandy, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering (1992)



# Estimativa das forças musculares

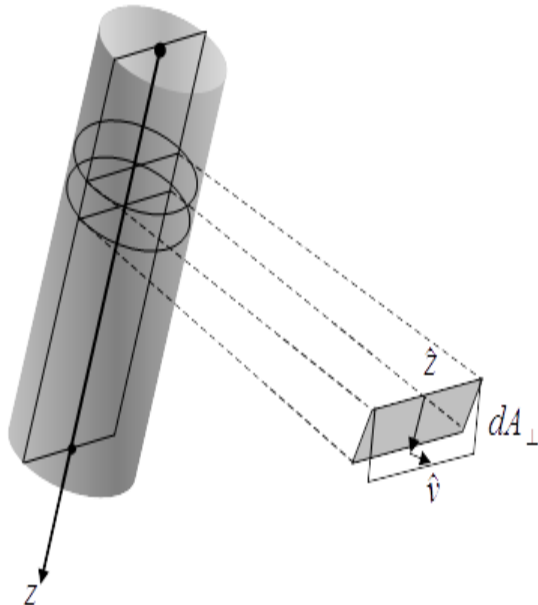


# Estimativa das forças musculares

- Cálculo da força de arrasto: *Strip Theory* (Newman, 1977).

**Modelo Geométrico dos Segmentos Corporais**

**Força de arrasto infinitesimal em cada faixa**



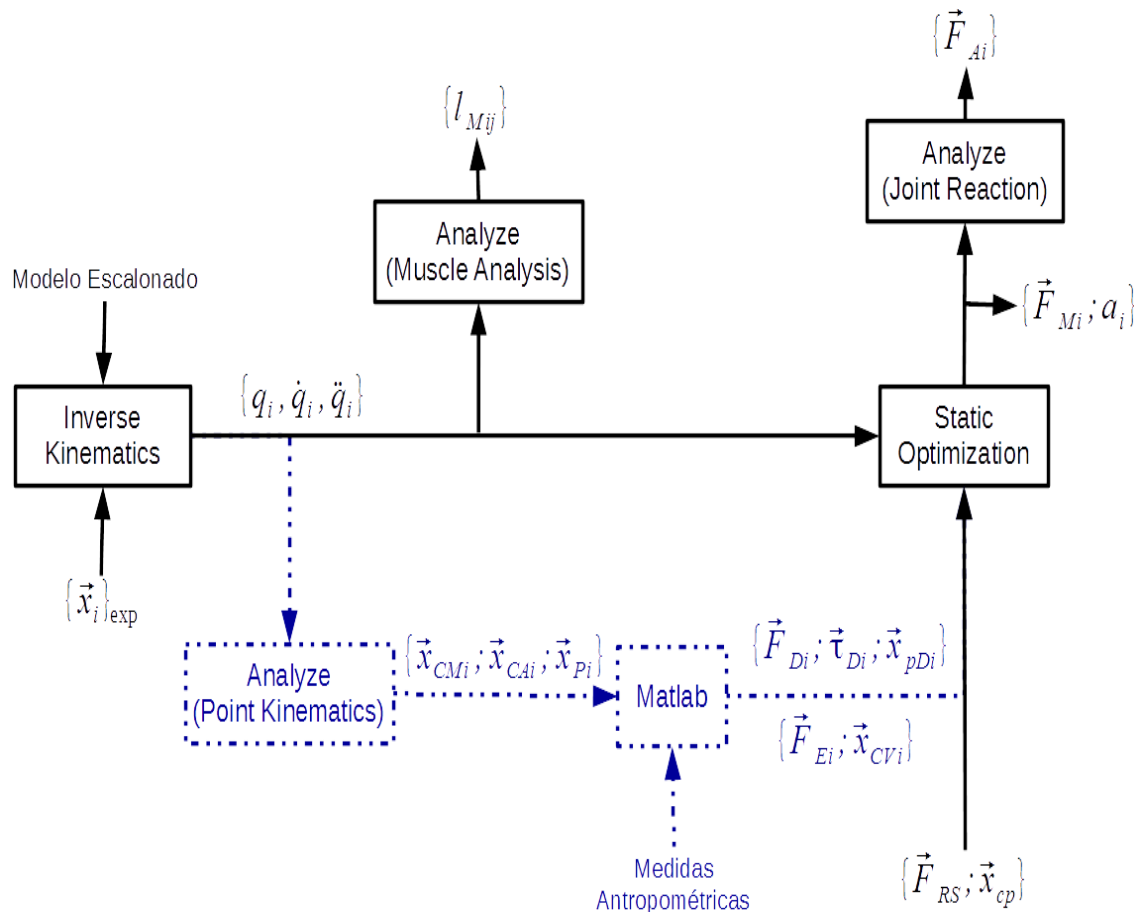
$$d\vec{F}(z_i) = \frac{C_D \rho dA_{\perp}(z_i) v(z_i)^2}{2} \hat{v}(z_i)$$

**Força de arrasto resultante**

$$\vec{F} = \int_0^L d\vec{F}$$

*Orselli e Duarte, Journal of Biomechanics (2011)*

# Estimativa das forças musculares



Determinar  $F_{M_i}$ , tal que :

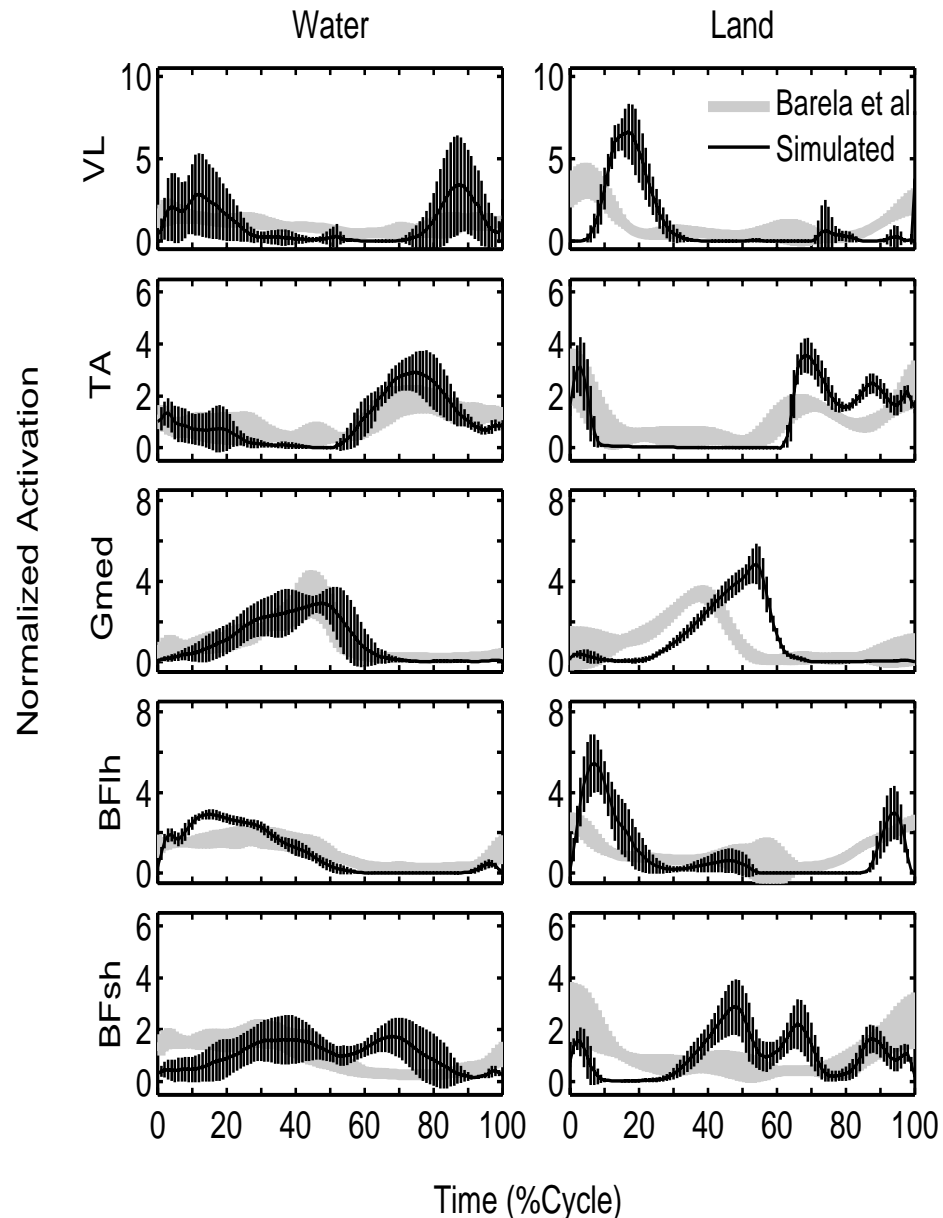
$$\tau_j = \sum_{i=1}^m R_{ji} a F_{M_i}^0 f_{Al}(\bar{l})$$

$$f_v(\bar{l}) \min J = \sum_{i=1}^m a_i^2$$

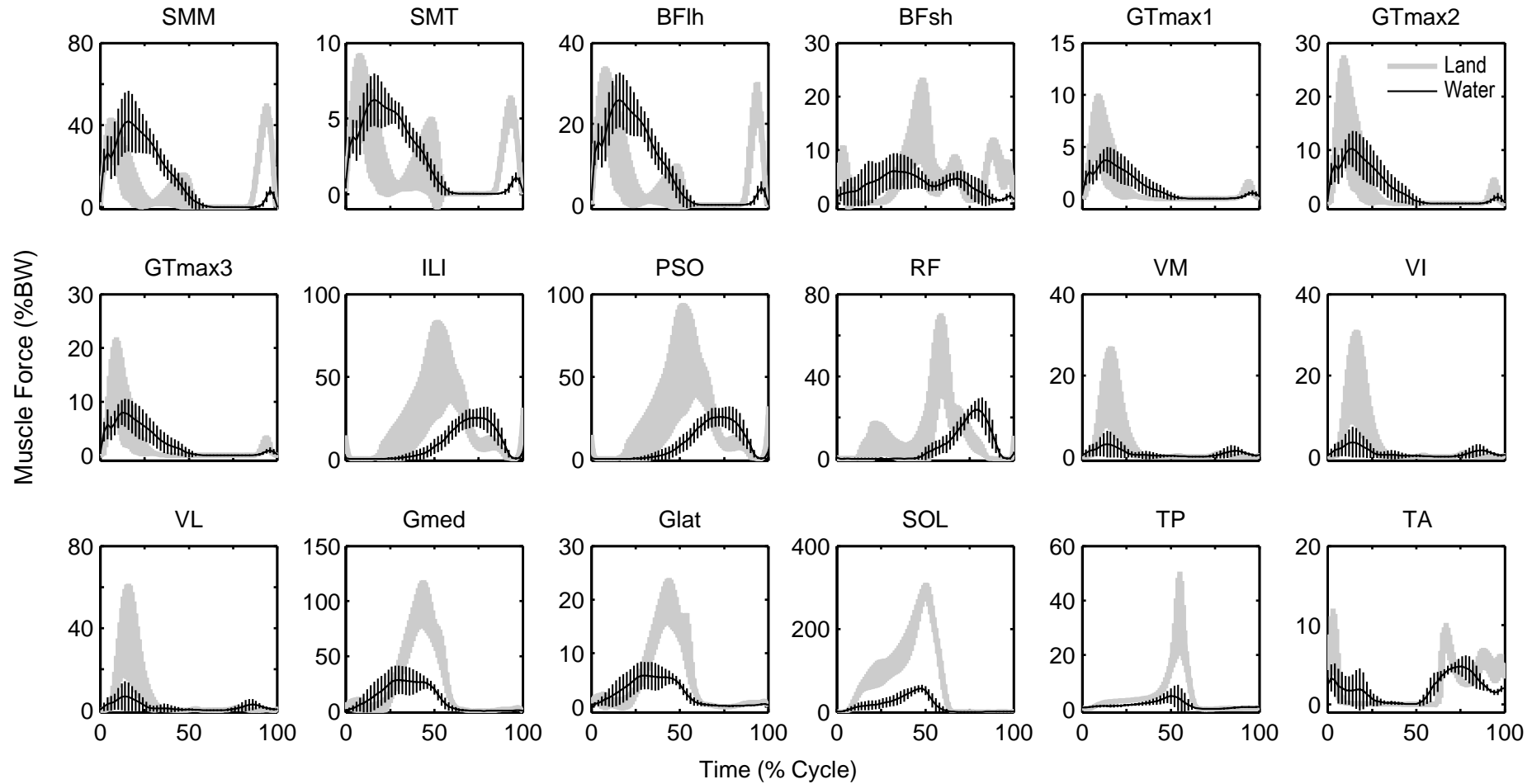
Anderson e Pandy, *Journal of Biomechanics*, 34 (2001)

# Ativações musculares simuladas

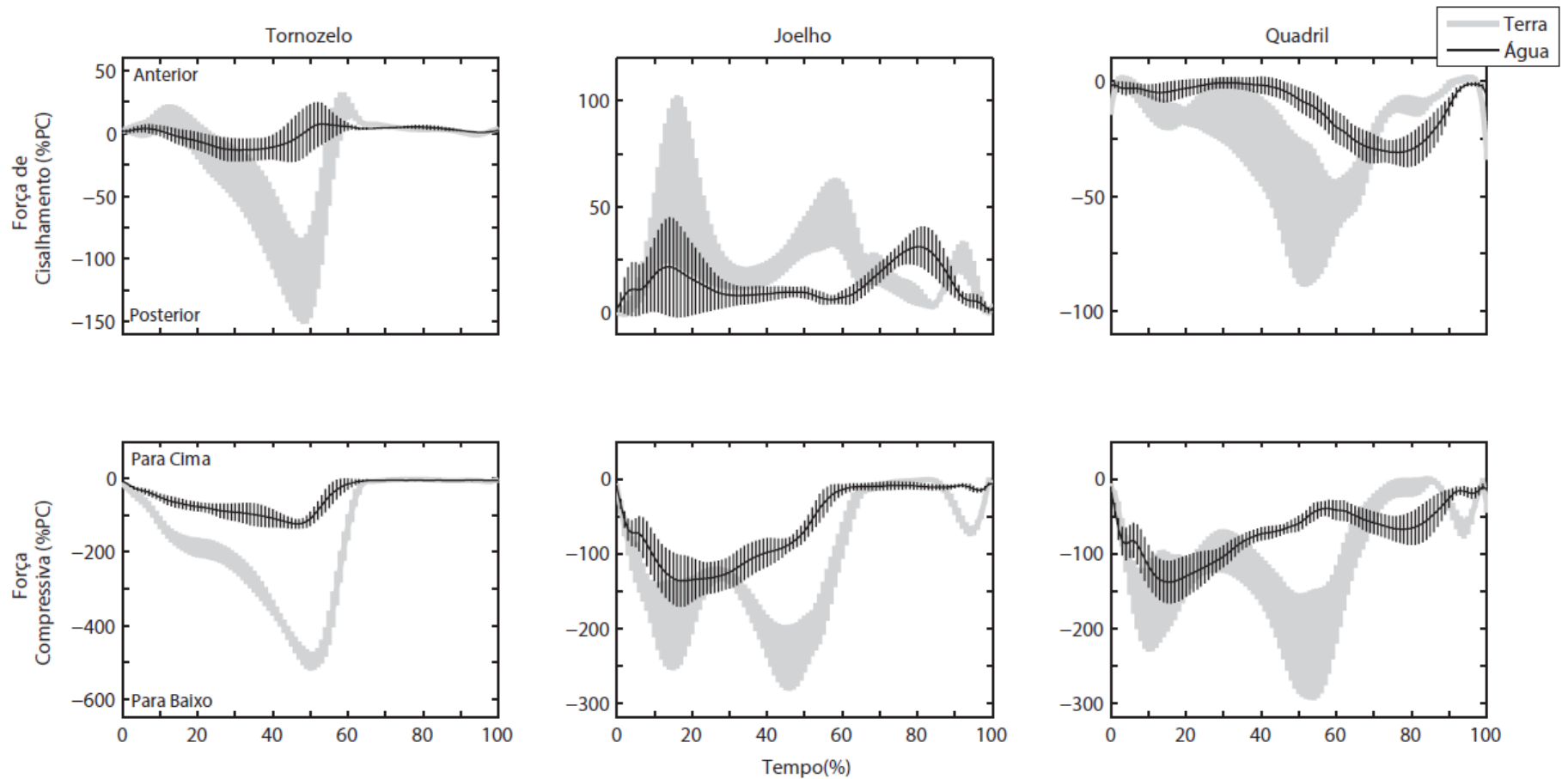
O padrão de ativação dos músculos Vasto Lateral, Tibial Anterior, Gastrocnêmio Medial e para a Cabeça Longa do Bíceps Femoral concordam com os resultados de Barela e colaboradores (2006)



# Forças musculares simuladas



# Forças articulares simuladas



# Comentários finais

- Forças musculares desenvolvidas no quadril e no joelho nem sempre serão menores em ambiente aquático.
- Simulação computacional do movimento do andar na água pode ser uma ferramenta poderosa para compreender melhor o fenômeno.
- Agora, nós entendemos um pouco mais sobre a biomecânica e controle motor do andar na água.





*Obrigado*