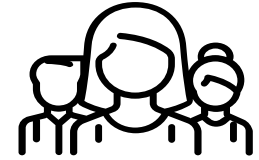




MODELAGEM DE MARCHA ANTROPOMÓRFICA

Professores:
Agenor de Toledo Fleury
Decio Crisol Donha

MEMBROS



Bruno Akira Oshiro (10771667)

Francisco Samuel Amâncio Lima (10771584)

Gabriela Gomes Valejo Sanches (10772592)

Wilson Siou Kan Chow (10769938)

01

INTRODUÇÃO

02

METODOLOGIA

03

MODELAGEM

04

ANÁLISE

SUMÁRIO



A person is hiking on a rocky trail in a forest. The person is wearing light-colored pants and dark hiking boots. The ground is covered with rocks and pine needles. The background is a dense forest with sunlight filtering through the trees.

INTRODUÇÃO

01



PREMISSAS DA MOBILIDADE

PROGRESSÃO

Padrão motor básico para movimentar o corpo na direção desejada

ESTABILIDADE

Necessidade de estabelecer e manter uma postura propícia para locomoção

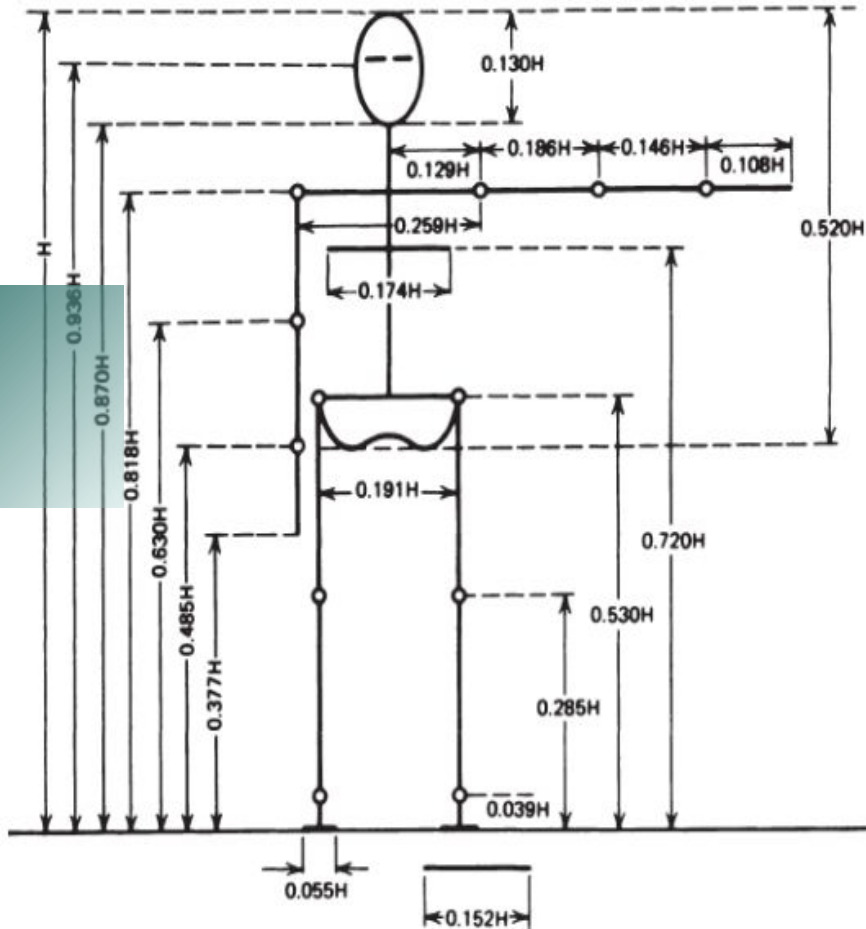
ADAPTAÇÃO

Habilidade de ajustar o andar - evitar obstáculos e alterar direção e velocidade

ANTROPOMETRIA

COMPRIMENTOS LONGITUDINAIS

Pode-se expressar os comprimentos de cada membro em relação a altura do indivíduo estudado.



(WINTER, 2009)

MASSA E CENTRO DE MASSA

ANTROPOMETRIA

(BATISTA, 2013)

Segmento	Definição do comprimento do segmento	Peso do segmento / peso total do corpo	Centro de massa/ comprimento do segmento		Raio de giro/ comprimento do segmento
			Proximal	Distal	Centro de gravidade
Pé	Maléolo lateral/cabeça do metatarso ii	0.0145	0.5	0.5	0.475
Perna	Côndilos femorais/ maléolo mediano	0.0465	0.433	0.567	0.302
Coxa	Trocânter maior/ côndilos femorais	0.1	0.433	0.567	0.323
Perna e pé	Côndilos femorais/ maléolo mediano	0.061	0.606	0.394	0.416

MARCHA

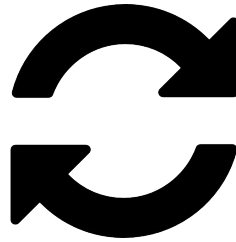


FASE DE APOIO

Contato com o solo

Distribuição do peso

Suporte corporal



FASE DE BALANÇO

Não há contato

Avanço dos membros inferiores



MOVIMENTO DOS MEMBROS INFERIORES

Movimento Tridimensional

Oito graus de liberdade:

- Três graus no quadril;
- Dois no joelho;
- Três no tornozelo.



A person wearing khaki pants and hiking boots is walking on a rocky trail in a forest. The ground is covered with small rocks and pine needles. The background shows a dense forest of trees with sunlight filtering through the canopy.

METODOLOGIA

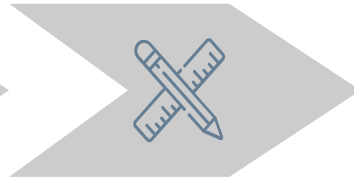
02

METODOLOGIA

ESCOLHA DO
MODELO
FÍSICO



CÁLCULO DAS
EQUAÇÕES



ANÁLISES





ESCOLHA
DO
MODELO
FÍSICO



METODOLOGIA

ANÁLISE DE TEXTOS BIBLIOGRÁFICOS

Coletar informações
sobre a literatura



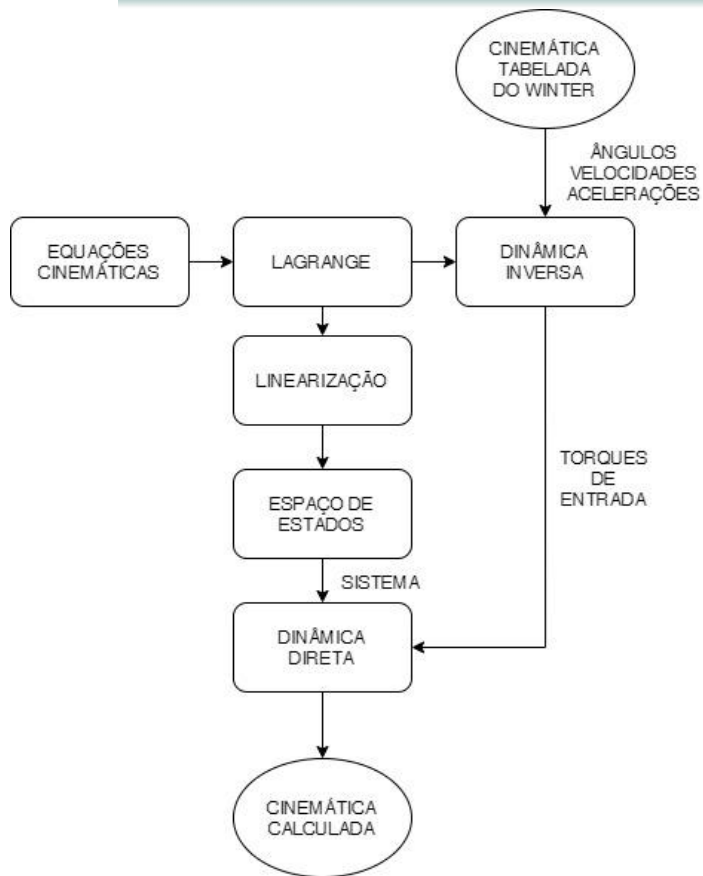
ESCOLHA DO MODELO

Fundamentada por hipóteses
adequadas



CÁLCULO DAS EQUAÇÕES

METODOLOGIA





ANÁLISES

METODOLOGIA

SIMULAÇÃO E ESPAÇO DE ESTADOS

Determinada a
equação dinâmica do
movimento



ANÁLISE DOS PÓLOS

Pólos indicam a estabilidade
do sistema



INSTABILIDADE DO SISTEMA



ANÁLISES

METODOLOGIA

SIMULAÇÃO E ESPAÇO DE ESTADOS

Determinada a
equação dinâmica do
movimento

PÓLOS DO SISTEMA
DINÂMICO

INSTABILIDADE DO
SISTEMA

ANÁLISE DO ACÚMULO DE ERROS E TESTES COM ANGULAÇÕES MENORES, DIAGRAMA DE BODE

Comportamento com entradas diferentes

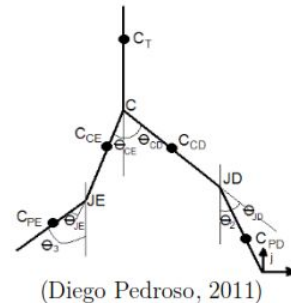
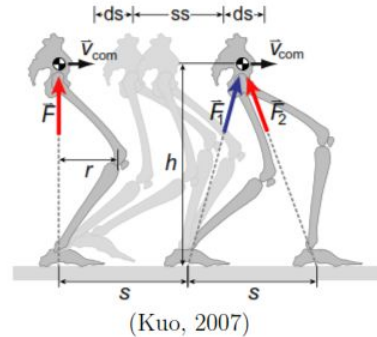
A person wearing khaki pants and hiking boots is walking on a rocky trail in a forest. The ground is covered with small rocks and pine needles. The background shows a dense forest of trees with sunlight filtering through the canopy.

MODELAGEM

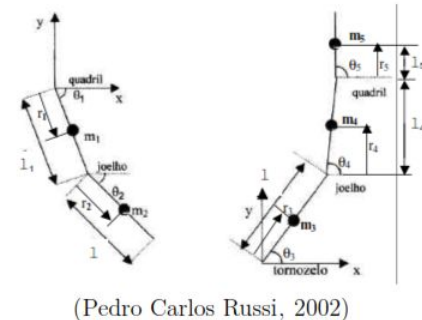
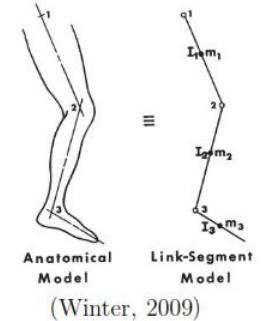
03

MODELOS ANALISADOS

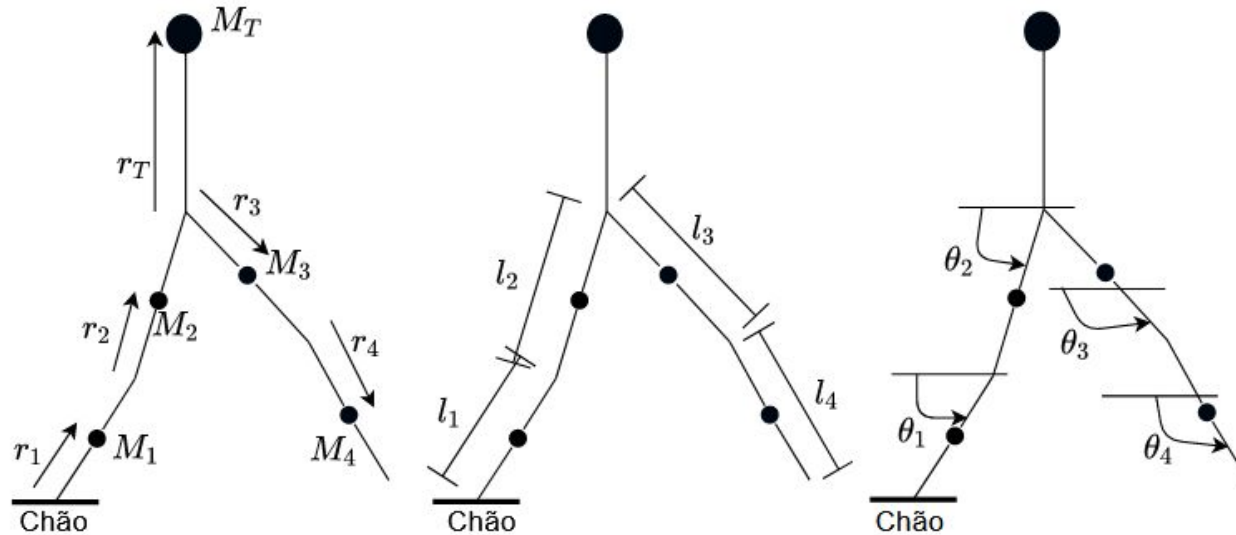
- MOVIMENTO PLANO;
- PÊNULO DUPLO/TRIPLO;
- BARRAS DELGADAS;
- DINÂMICA INVERSA;
- MAIORIA DESCONSIDERAM O PÉ;
- NÃO LEVAM EM CONTA A COLISÃO.



PADRÕES ENCONTRADOS



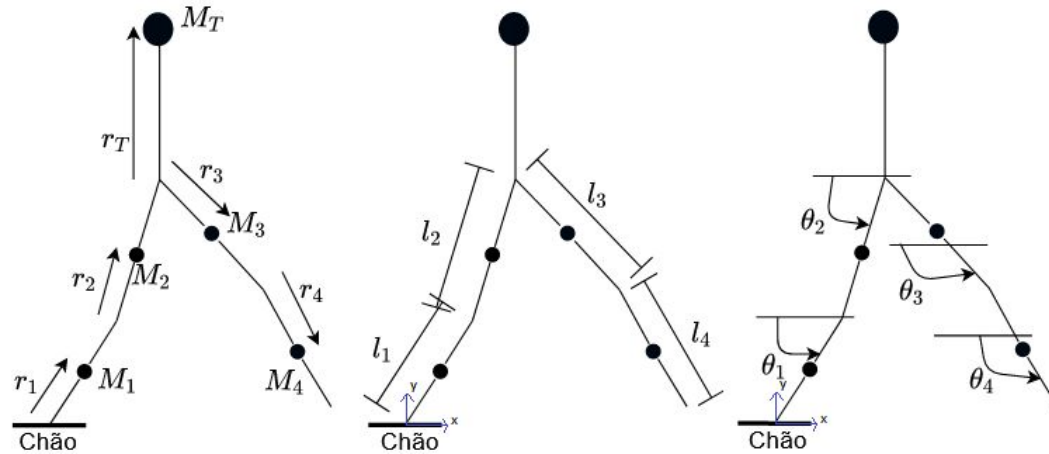
MODELO ADOTADO



HIPÓTESES:

1. Barras Delgadas
2. Centro de Massa constante
3. Momento de Inércia constante
4. Tamanho constante
5. Pé desconsiderado
6. Massa Superior concentrada no tronco
7. Tronco a 90°
8. Plano Sagital
9. Forças Resistivas desprezadas

MODELO ADOTADO



PÊNDBULO TRIPLO INVERTIDO, ACOPLADO A UM PÊNDBULO DUPLO COMUM

Um pêndulo influencia o outro, e cada um está em uma fase diferente.



$$R_1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\text{sen}(\theta_1) \\ \text{sen}(\theta_1) & \cos(\theta_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \cos(\theta_1) \\ r_1 \text{sen}(\theta_1) \end{bmatrix}$$

$$E_{C1} = \frac{1}{2} \dot{\theta}_1^2 (M_1 r_1^2 + I_1)$$

$$\dot{R}_1 = \begin{bmatrix} -r_1 \text{sen}(\theta_1) \dot{\theta}_1 \\ r_1 \cos(\theta_1) \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_1 \text{sen}(\theta_1) \\ r_1 \cos(\theta_1) \end{bmatrix} \dot{\theta}_1$$

$$E_{P1} = M_1 g r_1 \text{sen} \theta_1$$



$$L = E_C - E_P$$

$$\begin{aligned}
 L = & (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + \dot{\theta}_2 r_2 \sin(\theta_2))^2)/2 + (\dot{\theta}_1^2(M_1 r_1^2 + I_1))/2 + (I_2 \dot{\theta}_2^2)/2 \\
 & + (I_1 \dot{\theta}_4^2)/2 + (I_2 \dot{\theta}_3^2)/2 + (M_1(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - l_2\dot{\theta}_3 \cos(\theta_3) \\
 & - \dot{\theta}_4 r_4 \cos(\theta_4))^2)/2 + (M_1(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - l_2\dot{\theta}_3 \sin(\theta_3) \\
 & - \dot{\theta}_4 r_4 \sin(\theta_4))^2)/2 + (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \dot{\theta}_3 r_3 \cos(\theta_3))^2)/2 \\
 & + (M_t(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2))^2)/2 \\
 & + (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - \dot{\theta}_3 r_3 \sin(\theta_3))^2)/2 \\
 & + (M_t(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2))^2)/2 \\
 & + (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + \dot{\theta}_2 r_2 \cos(\theta_2))^2)/2 \\
 & - M_1 g(l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2) - l_2 \sin(\theta_3) - r_4 \sin(\theta_4)) \\
 & - M_2 g(l_1 \sin(\theta_1) + r_2 \sin(\theta_2)) - M_t g(r_t + l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2)) \\
 & - M_2 g(l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2) - r_3 \sin(\theta_3)) - M_1 g r_1 \sin(\theta_1)
 \end{aligned}$$

LAGRANGE



$$\begin{aligned}
 L = & (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + \dot{\theta}_2 r_2 \sin(\theta_2))^2)/2 + (\dot{\theta}_1^2(M_1 r_1^2 + I_1))/2 + (I_2 \dot{\theta}_2^2)/2 \\
 & + (I_1 \dot{\theta}_4^2)/2 + (I_2 \dot{\theta}_3^2)/2 + (M_1(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - l_2\dot{\theta}_3 \cos(\theta_3) \\
 & - \dot{\theta}_4 r_4 \cos(\theta_4))^2)/2 + (M_1(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - l_2\dot{\theta}_3 \sin(\theta_3) \\
 & - \dot{\theta}_4 r_4 \sin(\theta_4))^2)/2 + (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \dot{\theta}_3 r_3 \cos(\theta_3))^2)/2 \\
 & + (M_t(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2))^2)/2 \\
 & + (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - \dot{\theta}_3 r_3 \sin(\theta_3))^2)/2 \\
 & + (M_t(l_1\dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2))^2)/2 \\
 & + (M_2(l_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + \dot{\theta}_2 r_2 \cos(\theta_2))^2)/2 \\
 & - M_1 g(l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2) - l_2 \sin(\theta_3) - r_4 \sin(\theta_4)) \\
 & - M_2 g(l_1 \sin(\theta_1) + r_2 \sin(\theta_2)) - M_1 g(r_t + l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2)) \\
 & - M_2 g(l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_2) - r_3 \sin(\theta_3)) - M_1 g r_1 \sin(\theta_1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = & l_1 l_2 M_1 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 \sin(\theta_1 - \theta_3) - 2l_1 M_2 g \cos(\theta_1) - l_1 M_t g \cos(\theta_1) - M_1 g r_1 \cos(\theta_1) - \\
 & - l_1 l_2 M_1 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - l_1 l_2 M_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - l_1 M_1 g \cos(\theta_1) - \\
 & - l_1 l_2 M_t \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - l_1 M_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 r_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) + l_1 M_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 r_3 \sin(\theta_1 - \theta_3) + \\
 & + l_1 M_1 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_4 r_4 \sin(\theta_1 - \theta_4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = & \dot{\theta}_1 (M_1 r_1^2 + I_1) + l_1 M_1 \cos(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - l_2 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3) - \\
 & - \dot{\theta}_4 r_4 \cos(\theta_4)) + l_1 M_2 \cos(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \dot{\theta}_3 r_3 \cos(\theta_3)) + \\
 & + l_1 M_1 \sin(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - l_2 \dot{\theta}_3 \sin(\theta_3) - \dot{\theta}_4 r_4 \sin(\theta_4)) + \\
 & + l_1 M_t \cos(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2)) + l_1 M_2 \sin(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + \\
 & + l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - \dot{\theta}_3 r_3 \sin(\theta_3)) + l_1 M_2 \cos(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_1) + \dot{\theta}_2 r_2 \cos(\theta_2)) + \\
 & + l_1 M_t \sin(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2)) + l_1 M_2 \sin(\theta_1) (l_1 \dot{\theta}_1 \sin(\theta_1) + \\
 & + \dot{\theta}_2 r_2 \sin(\theta_2))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \right) = & I_1 \ddot{\theta}_1 + l_1^2 M_1 \ddot{\theta}_1 + 2l_1^2 M_2 \ddot{\theta}_1 + l_1^2 M_t \ddot{\theta}_1 + M_1 r_1^2 \ddot{\theta}_1 + l_1 M_1 g \cos(\theta_1) + \\
 & + 2l_1 M_2 g \cos(\theta_1) + l_1 M_t g \cos(\theta_1) + M_1 g r_1 \cos(\theta_1) + l_1 l_2 M_1 \sin(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 + \\
 & + l_1 l_2 M_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - l_1 l_2 M_1 \sin(\theta_1 - \theta_3) \ddot{\theta}_3 + l_1 l_2 M_t \sin(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 + \\
 & + l_1 M_2 r_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - l_1 M_2 r_3 \sin(\theta_1 - \theta_3) \ddot{\theta}_3 - l_1 M_1 r_4 \sin(\theta_1 - \theta_4) \ddot{\theta}_4 + \\
 & + l_1 l_2 M_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 + l_1 l_2 M_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - l_1 l_2 M_1 \cos(\theta_1 - \theta_3) \ddot{\theta}_3 + \\
 & + l_1 l_2 M_t \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 + l_1 M_2 r_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - l_1 M_2 r_3 \cos(\theta_1 - \theta_3) \ddot{\theta}_3 - \\
 & - l_1 M_1 r_4 \cos(\theta_1 - \theta_4) \ddot{\theta}_4
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = & I_1 \ddot{\theta}_1 + l_1^2 M_1 \ddot{\theta}_1 + 2l_1^2 M_2 \ddot{\theta}_1 + l_1^2 M_t \ddot{\theta}_1 + M_1 r_1^2 \ddot{\theta}_1 + l_1 M_1 g \cos(\theta_1) + \\ & + 2l_1 M_2 g \cos(\theta_1) + l_1 M_t g \cos(\theta_1) + M_1 g r_1 \cos(\theta_1) + l_1 l_2 M_1 \sin(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2 + \\ & + l_1 l_2 M_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2 - l_1 l_2 M_1 \sin(\theta_1 - \theta_3) \dot{\theta}_3^2 + l_1 l_2 M_t \sin(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2 + \\ & + l_1 M_2 r_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2 - l_1 M_2 r_3 \sin(\theta_1 - \theta_3) \dot{\theta}_3^2 - l_1 M_1 r_4 \sin(\theta_1 - \theta_4) \dot{\theta}_4^2 + \\ & + l_1 l_2 M_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 + l_1 l_2 M_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - l_1 l_2 M_1 \cos(\theta_1 - \theta_3) \ddot{\theta}_3 + \\ & + l_1 l_2 M_t \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 + l_1 M_2 r_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - l_1 M_2 r_3 \cos(\theta_1 - \theta_3) \ddot{\theta}_3 - \\ & - l_1 M_1 r_4 \cos(\theta_1 - \theta_4) \ddot{\theta}_4 \end{aligned}$$



- $\bar{\theta}_1 = \bar{\theta}_2 = \bar{\theta}_3 = \bar{\theta}_4 = \pi/2 \text{ rad}$
- $\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_3 = \dot{\theta}_4 = 0$
- $\ddot{\theta}_1 = \ddot{\theta}_2 = \ddot{\theta}_3 = \ddot{\theta}_4 = 0$

Linearização da angulação em torno de 90° graus

Velocidades e acelerações são linearizadas em torno de zero.

LINEARIZAÇÃO



$$\begin{aligned}\tau_1 = & \ddot{\theta}_1(I_1 + l_1^2 M_1 + 2l_1^2 M_2 + l_1^2 M_T + M_1 r_1^2) - l_1 \ddot{\theta}_3(M_2 r_3 + l_2 M_1) + \\ & + l_1 \ddot{\theta}_2(M_2 r_2 + M_T r_2 + l_2 M_1 + l_2 M_2) - \\ & - g \left(\theta_1 - \frac{\pi}{2} \right) (M_1 r_1 + l_1 M_1 + 2l_1 M_2 + l_1 M_T) - l_1 M_1 \ddot{\theta}_4 r_4\end{aligned}$$

TORQUE 1

$$\begin{aligned}\tau_2 = & \ddot{\theta}_2(I_2 + l_2^2 M_1 + l_2^2 M_2 + M_2 r_2^2 + M_T r_2^2) - l_2 \ddot{\theta}_3(M_2 r_3 + l_2 M_1) + \\ & + l_1 \ddot{\theta}_1(M_2 r_2 + M_T r_2 + l_2 M_1 + l_2 M_2) - \\ & - g \left(\theta_2 - \frac{\pi}{2} \right) (M_2 r_2 + l_2 M_1 + l_2 M_2 + l_2 M_T) - l_2 M_1 \ddot{\theta}_4 r_4\end{aligned}$$

TORQUE 2

$$\begin{aligned}\tau_3 = & \ddot{\theta}_3(M_1 l_2^2 + M_2 r_3^2 + I_2) - l_1 \ddot{\theta}_1(M_2 r_3 + l_2 M_1) - l_2 \ddot{\theta}_2(M_2 r_3 + l_2 M_1) + \\ & + g \left(\theta_3 - \frac{\pi}{2} \right) (M_2 r_3 + l_2 M_1) + l_2 M_1 \ddot{\theta}_4 r_4\end{aligned}$$

TORQUE 3

$$\tau_4 = \ddot{\theta}_4(M_1 r_4^2 + I_1) - l_1 M_1 \ddot{\theta}_1 r_4 - l_2 M_1 \ddot{\theta}_2 r_4 + l_2 M_1 \ddot{\theta}_3 r_4 + M_1 g r_4 \left(\theta_4 - \frac{\pi}{2} \right)$$

TORQUE 4

ESPAÇO DE ESTADOS



$$J = \begin{bmatrix} 9,6791 & 8,9802 & -0,9508 & -0,2112 \\ 8,9802 & 8,7655 & -0,9469 & -0,2104 \\ -0,9508 & -0,9469 & 0,7687 & 0,2104 \\ -0,2112 & -0,2104 & 0,2104 & 0,1299 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} -224,9855 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -207,0027 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 21,9171 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,8687 \end{bmatrix}$$

$$O = \begin{bmatrix} 353,4064 \\ 325,1591 \\ -34,4274 \\ -7,6478 \end{bmatrix}$$

$$\Theta = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \quad \theta_4 \quad \dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2 \quad \dot{\theta}_3 \quad \dot{\theta}_4]^T$$

$$\dot{\Theta} = [\dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2 \quad \dot{\theta}_3 \quad \dot{\theta}_4 \quad \ddot{\theta}_1 \quad \ddot{\theta}_2 \quad \ddot{\theta}_3 \quad \ddot{\theta}_4]^T$$

$$u = [\tau_1 \quad \tau_2 \quad \tau_3 \quad \tau_4 \quad 1]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} \text{zeros}(4,4) & I(4,4) \\ -J^{-1} * K & \text{zeros}(4,4) \end{bmatrix}$$

ESPAÇO DE ESTADOS



$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 470,4533 & -444,8570 & 1,5356 & -0,1624 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -483,5027 & 484,5557 & -5,6812 & 0,06007 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -15,7633 & 53,6576 & -57,0607 & 19,0351 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7,5036 & -25,5418 & 85,6888 & -67,5882 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \text{zeros}(4,4) & \text{zeros}(4,1) \\ J^{-1} & -J^{-1} * O \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2,0910 & -2,1490 & -0,07 & 0,0333 & -42,3636 \\ -2,1490 & 2,3408 & 0,2592 & -0,1233 & 6,3261 \\ -0,07 & 0,2592 & 2,6034 & -3,9096 & 0,2062 \\ 0,0333 & -0,1233 & -3,9096 & 13,8821 & -0,0981 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \dot{\Theta} = A\Theta + Bu \\ Y = C\Theta \end{cases}$$

A person wearing khaki pants and dark hiking boots is walking on a rocky, pine-needle-covered trail in a forest. The background is a soft-focus forest with sunlight filtering through the trees. A semi-transparent teal rectangle is overlaid on the left side of the image, containing the word 'ANÁLISE' in white, bold, uppercase letters.

ANÁLISE

04



PÓLOS DO SISTEMA

Verificação de Estabilidade

$$\det A - \lambda I = 0$$

Parte real	Parte imaginária
-30.6769	0
30.6769	0
3.5204	0
-3.5204	0
0	10.1211i
0	-10.1211i
0	4.5465i
0	-4.5465i

**Parte real positiva indica
INSTABILIDADE**



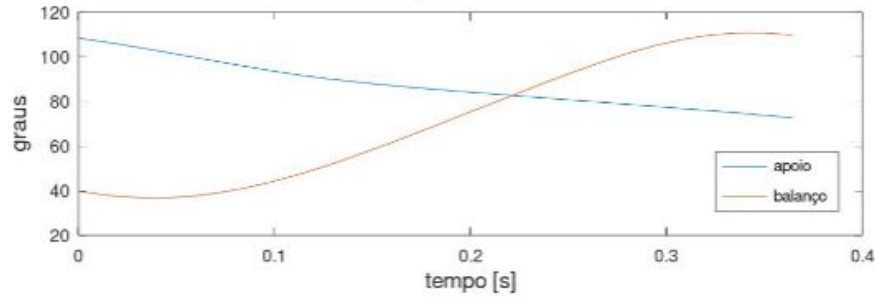
DINÂMICA INVERSA

VALORES
CINEMÁTICOS
TABELADOS

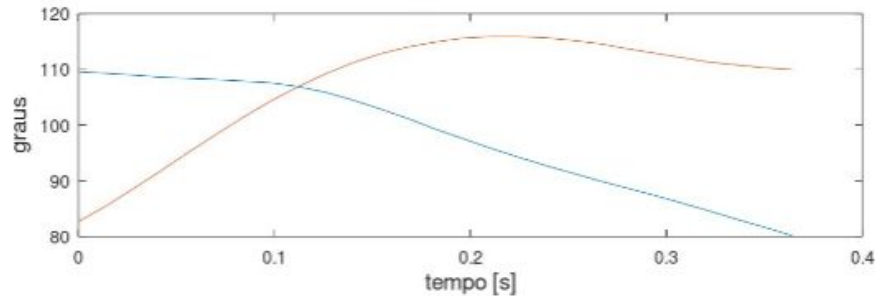


CURVA DE
TORQUES

Ângulo Joelho

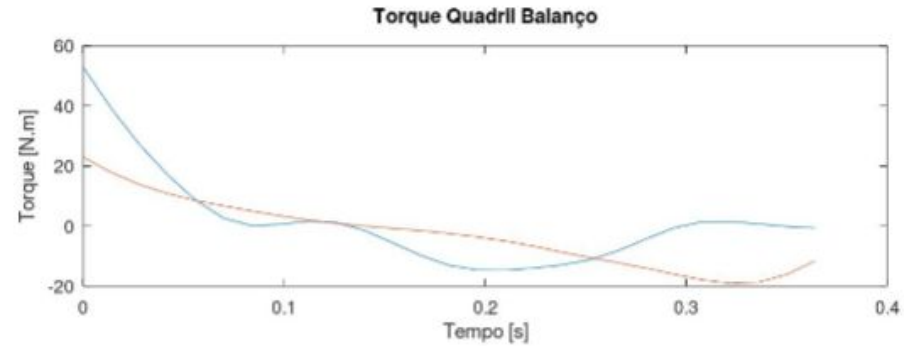
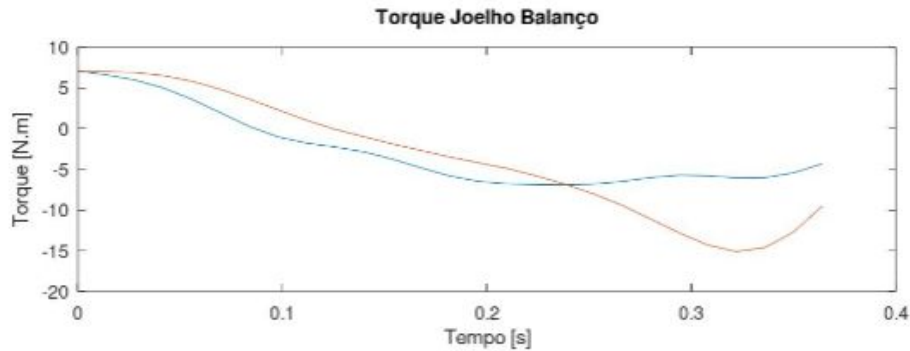
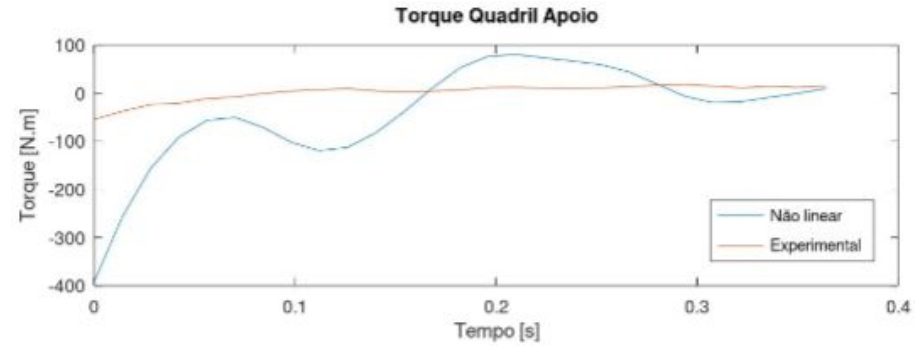
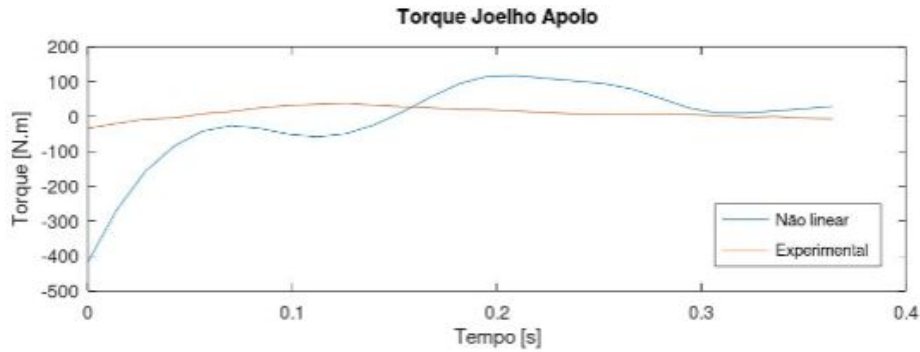


Ângulo Quadril





DINÂMICA INVERSA



Torques calculados



DINÂMICA DIRETA

VALORES
CINEMÁTICOS
TABELADOS



CURVA DE
TORQUES

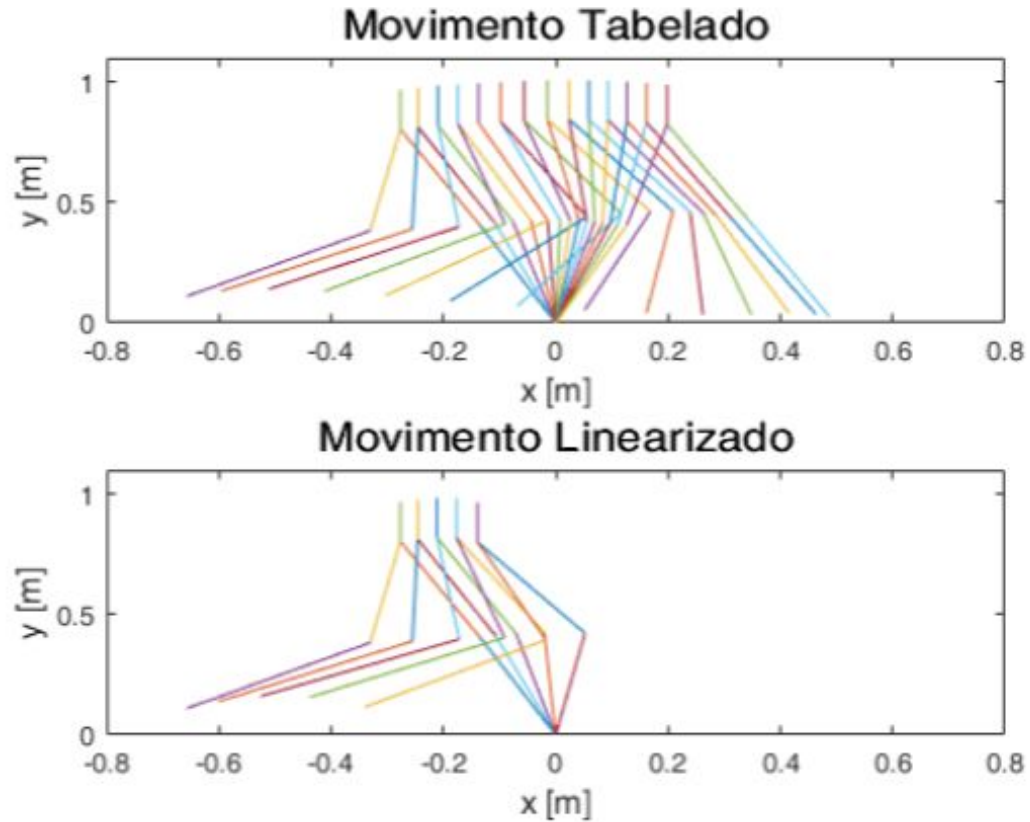
**TORQUES
OBTIDOS**



**VALORES
CINEMÁTICOS**



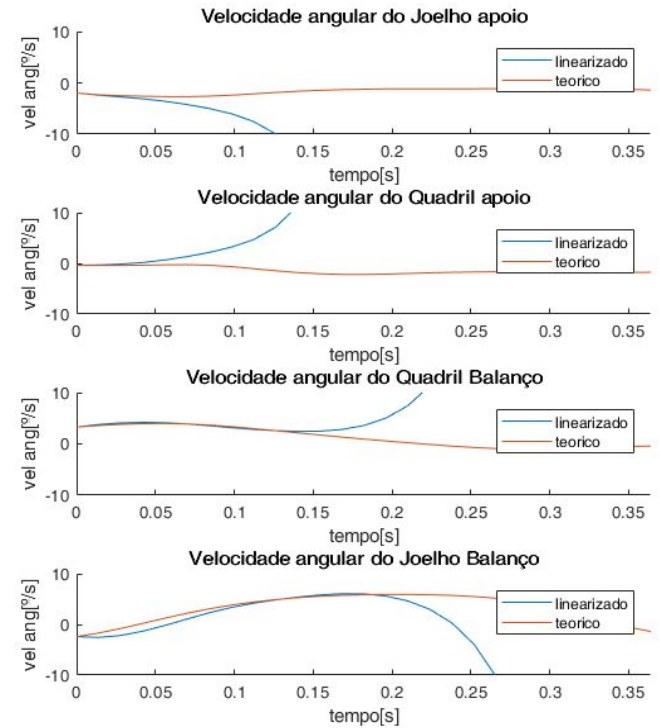
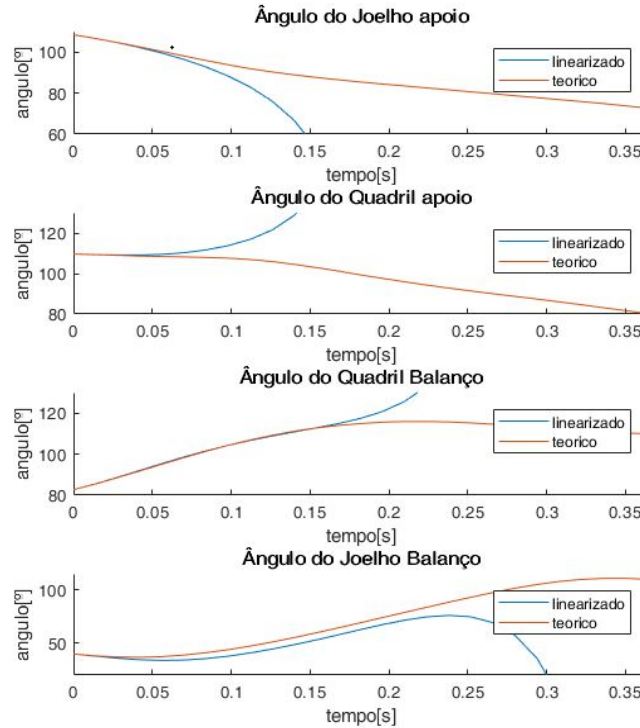
DINÂMICA DIRETA





DINÂMICA DIRETA

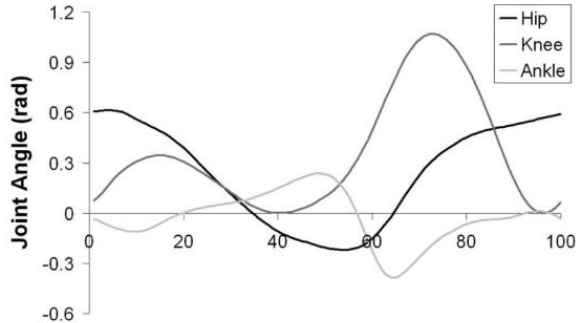
A solução linearizada começa a divergir quando atinge ângulos mais altos, pois a linearização começa a perder a validade.





TESTES COM PEQUENAS ANGULAÇÕES

Testar a linearização do sistema usando como entrada pequenas angulações.

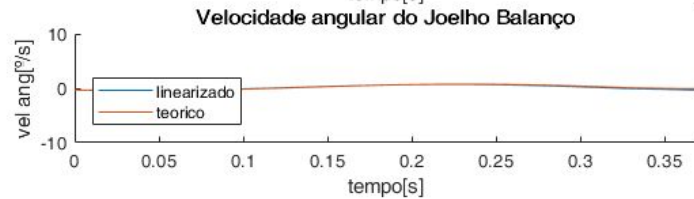
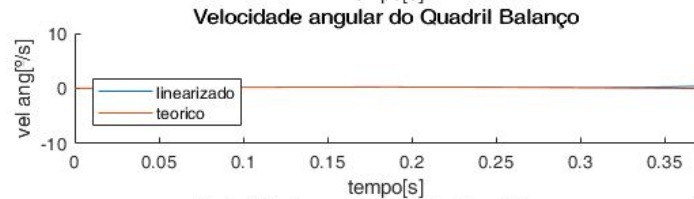
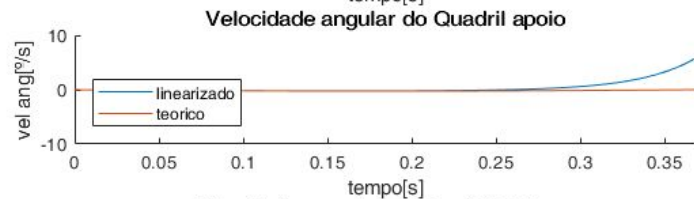
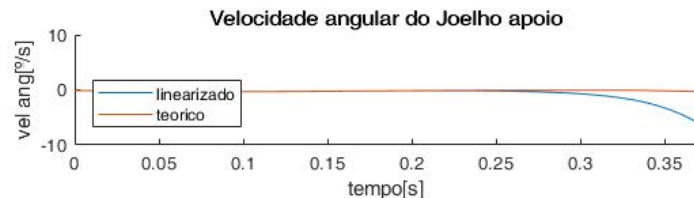
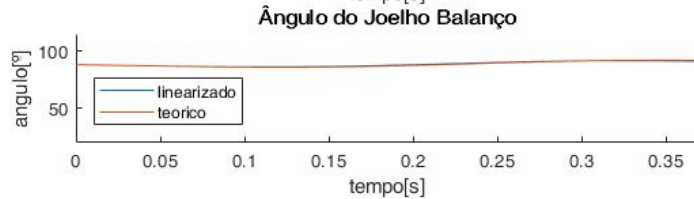
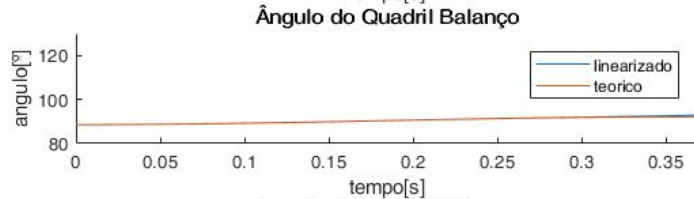
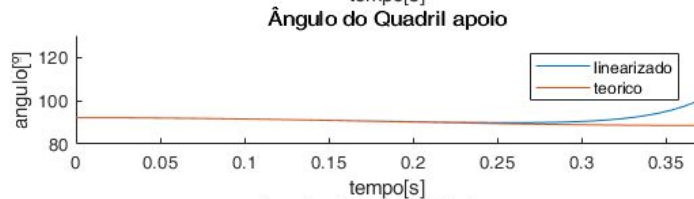
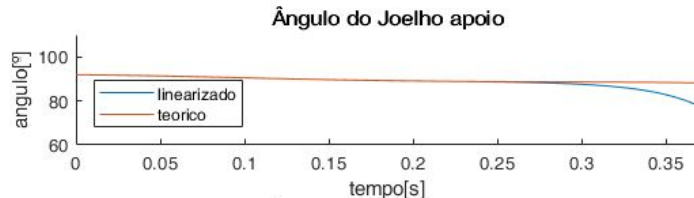


SIMULAÇÃO

Angulações Pequenas
Teóricas

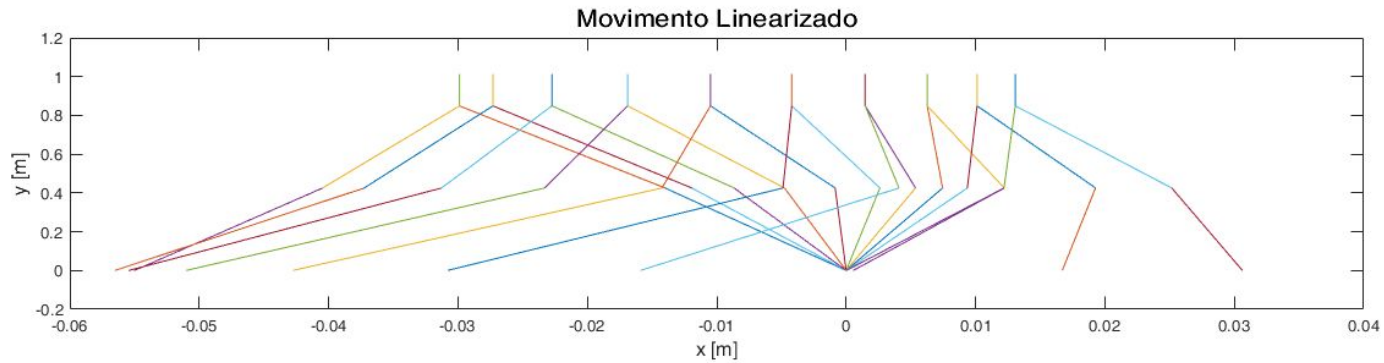
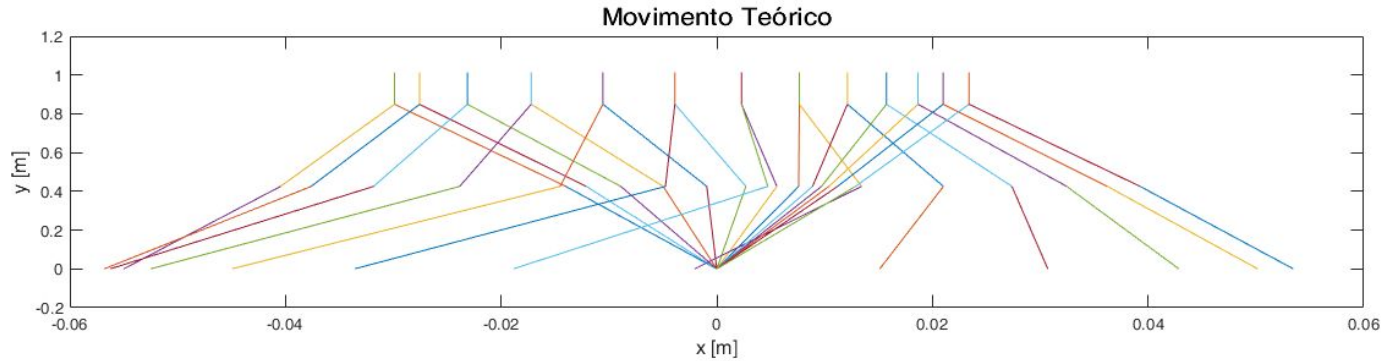


TESTES COM PEQUENAS ANGULAÇÕES





TESTES COM PEQUENAS ANGULAÇÕES



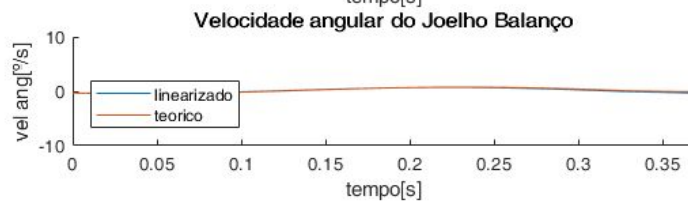
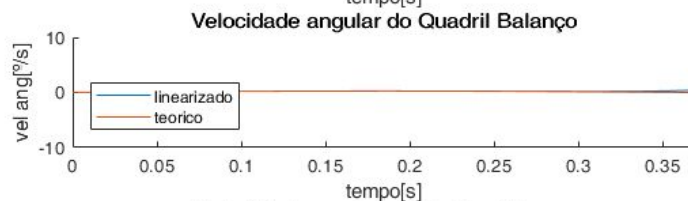
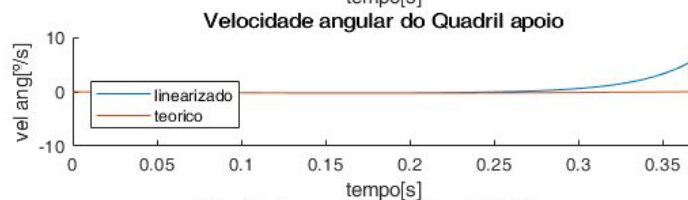
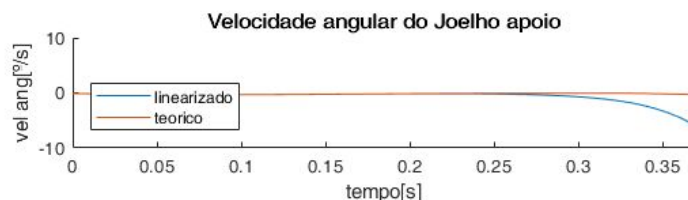
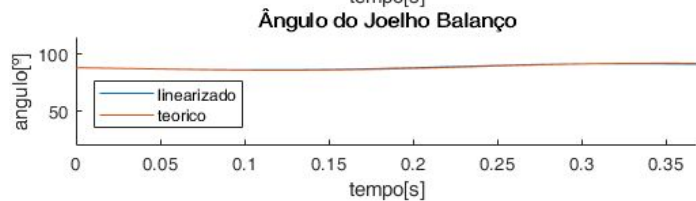
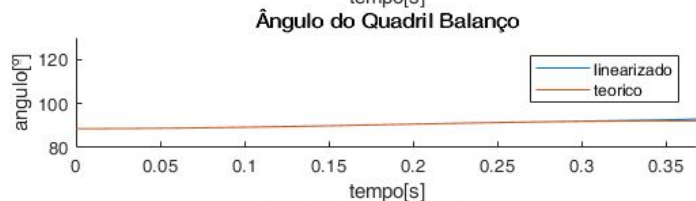
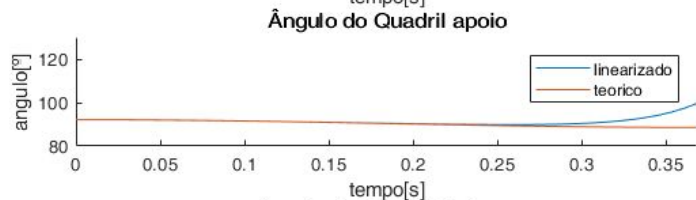
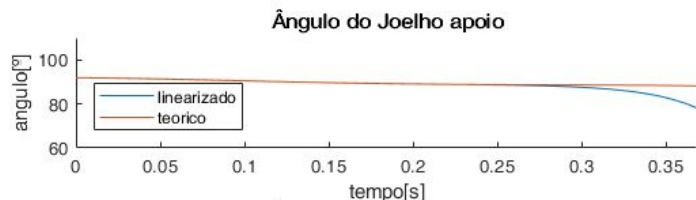


ACÚMULO DOS ERROS

Operação = Integração  Erros são acumulados



ACÚMULO DOS ERROS

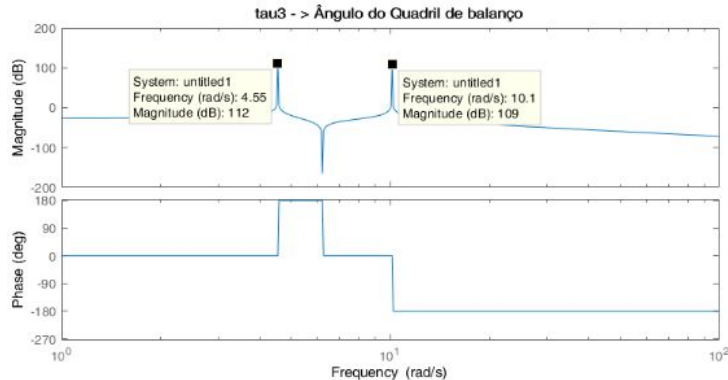
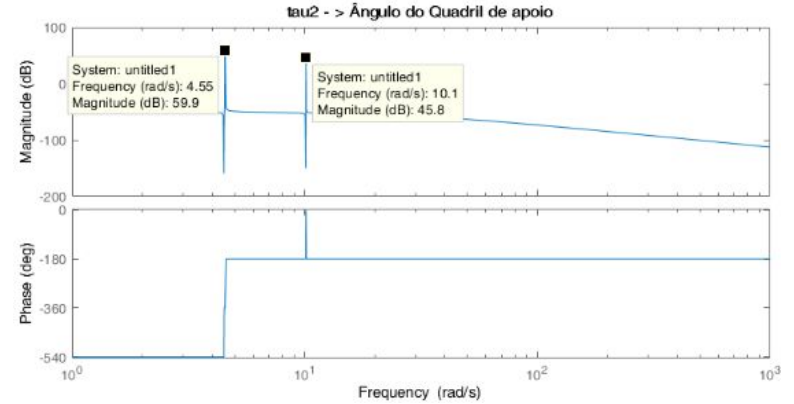
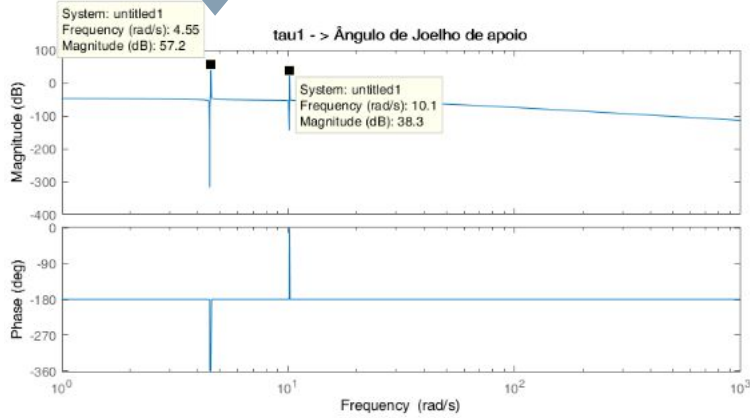




Ressonância



DIAGRAMA DE BODE



ENTRADA

SAÍDA

TORQUES

ÂNGULOS

Na ressonância, ocorre um desbalanço entre a entrada e saída. Quando a Magnitude é negativa, a saída é maior que a entrada, mas seu sinal é diferente.

OBRIGADO!

REFERÊNCIAS

- BATISTA, Rayanne Floriano. **Proposta de arquitetura de controle para exoesqueleto robótico de reabilitação da marcha antropomórfica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2013.
- BEHNKE, Robert. **Anatomia do Movimento**. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- DOLLAR, Aaron M., HERR, Hugh. **Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art**, IEEE Transactions on Robotics, Vol.24, Fevereiro de 2008.
- HALL, Susan J. **Biomecânica básica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- JÚNIOR, Glicerinho Danter Lopes Soares. **Desenvolvimento de um exoesqueleto para movimentação/reabilitação de paraplégicos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia, 2015.
- KUO, Arthur D. **The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective**, Science Direct, Vol.26, 6 de Julho de 2007.

REFERÊNCIAS

- LIMA, Jéssica Paola Souza. **Avaliação biomecânica da marcha com exoesqueleto robótico em sujeitos com AVC crônico**. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Vitória, 2018.
- NEUMANN, D. A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético: Fundamentos para Reabilitação**, 2a edição. Rio de Janeiro, 2011.
- SANTOS, Diego Pedroso dos. **Projeto mecânico de exoesqueleto robótico para membros inferiores**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Controle e Automação Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- WHITTLE, Michael W. **Gait Analysis an Introduction**, Philadelphia: Elsevier, 4a edição, 2007.
- WINTER, David A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**, 4th ed., Universidade de Waterloo, Ontario, Canadá, 2009.