



# WALKER

PROJETO DE UM ROBÔ HUMANOIDE PARA ROBOCUP



# Objetivo



Através dos métodos de Engenharia Mecânica, dimensionar mecanicamente um robô do tipo “humanoide”, de acordo com o regulamento da categoria “adulto” da RoboCup.

# Motivação



Fonte: Autores

- Crescimento do tema robótica nos últimos tempos;
- Importância no desenvolvimento econômico e tecnológico;
- Incentivo da FEI a projetos de robótica (Robô FEI);
- Possibilidade de aplicar engenharia mecânica dentro da robótica;
- Contribuição ao ambiente acadêmico.

# Robocup



“Em 2050, um time de robôs humanoides jogará com a seleção campeã mundial da Copa do Mundo”

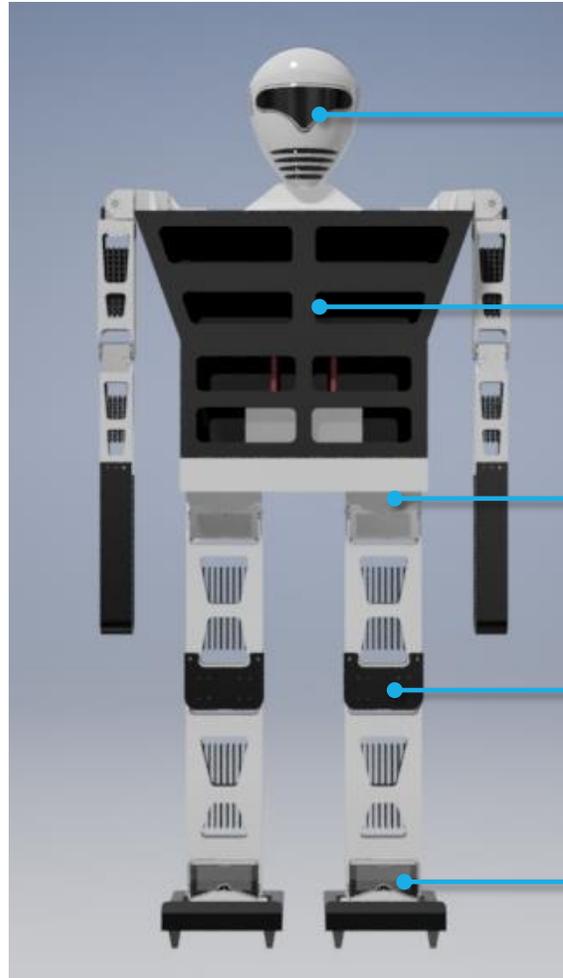


Fonte: Youtube

## Categorias

- KidSize: 50~90cm – 4 jogadores
- TeenSize: 80~140cm – 3 jogadores
- AdultSize: 130~180cm – 1 jogador

# Premissas



Robô Humanoide

1,30~1,80m de altura

5~30kg

Capacidade de andar e chutar

Capacidade de levantar

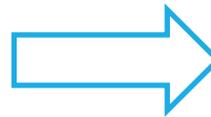
Fonte: Autores

# Projeto

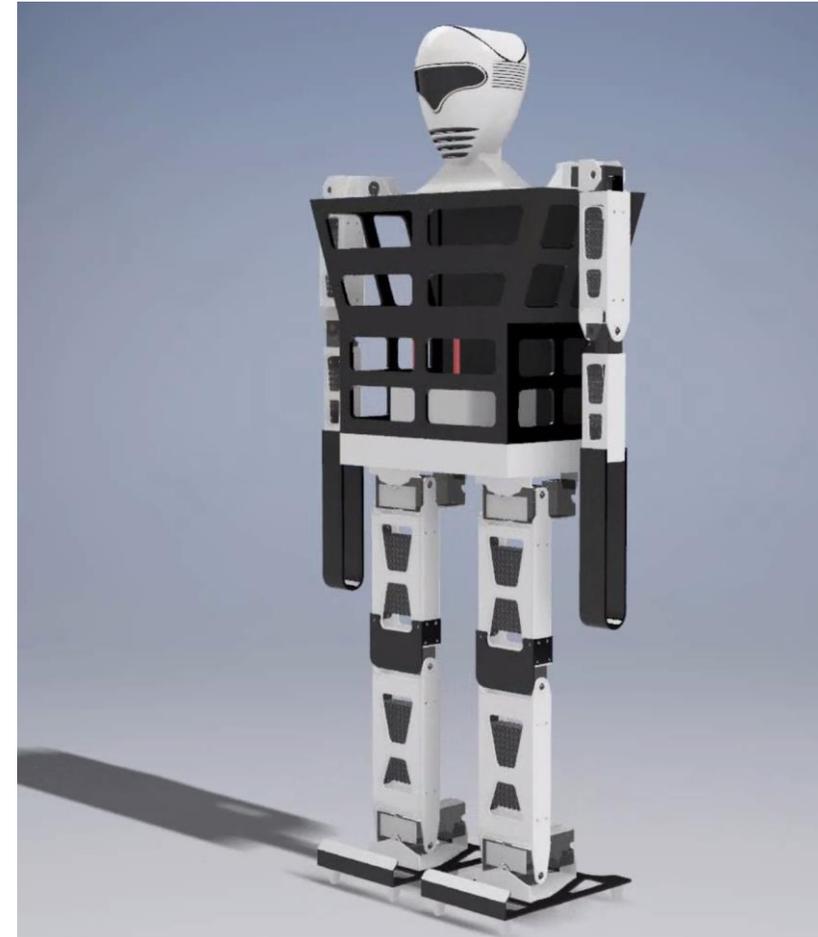
1ª Prévia



Fonte: Autores

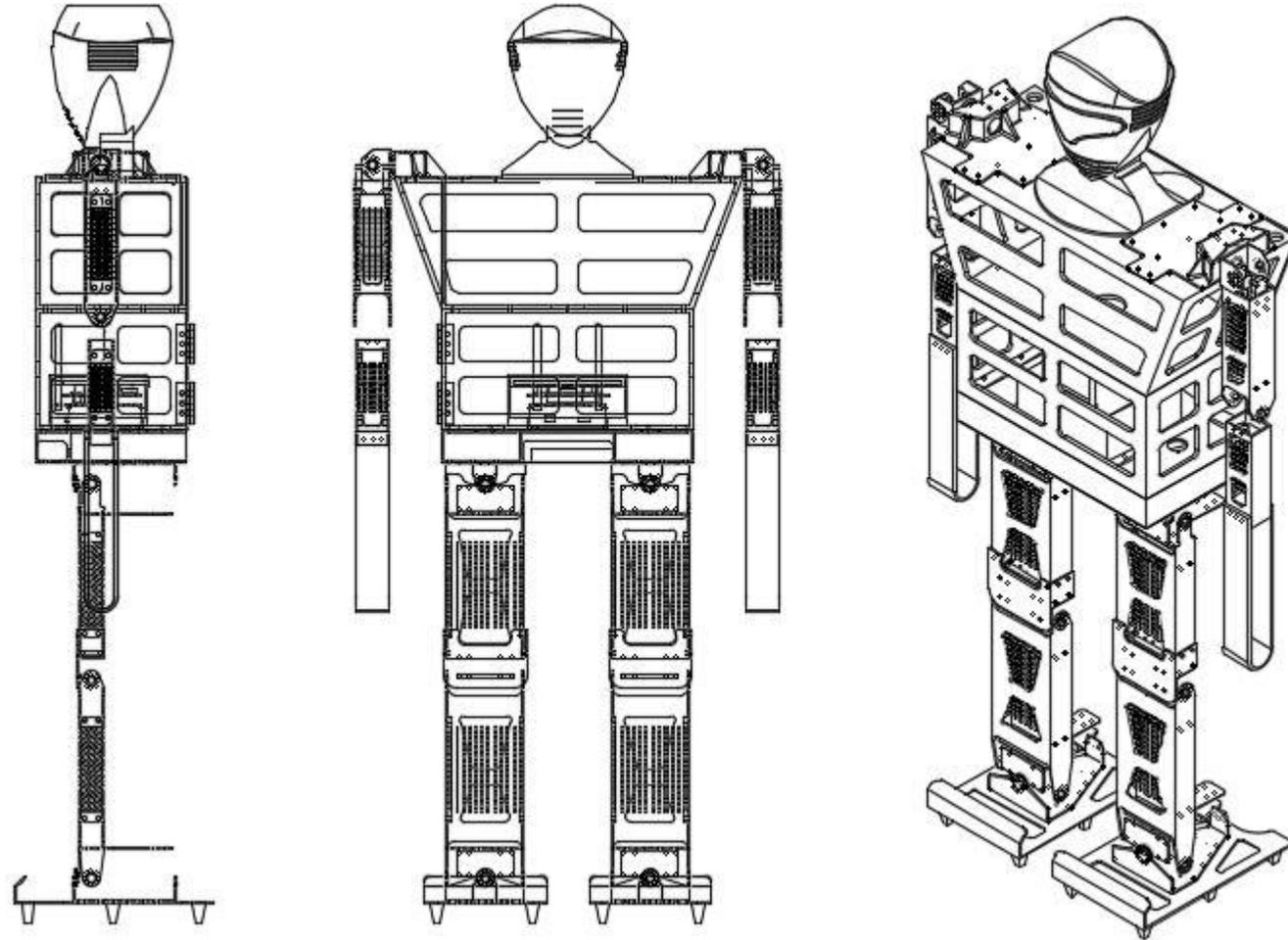


Projeto Final



Fonte: Autores

# Dimensões



- Altura: 130cm
- Pernas: 58,04cm
- Cabeça : 14,12cm
- Centro de massa : 51,72cm

Fonte: Autores

# Problemática



Vibração de peças que se soltam devido a movimentação



Falta de equilíbrio



Rompimento do cabeamento elétrico



Avaria na estrutura

# Problemática



Vibração de peças que se soltam devido a movimentação



Falta de equilíbrio

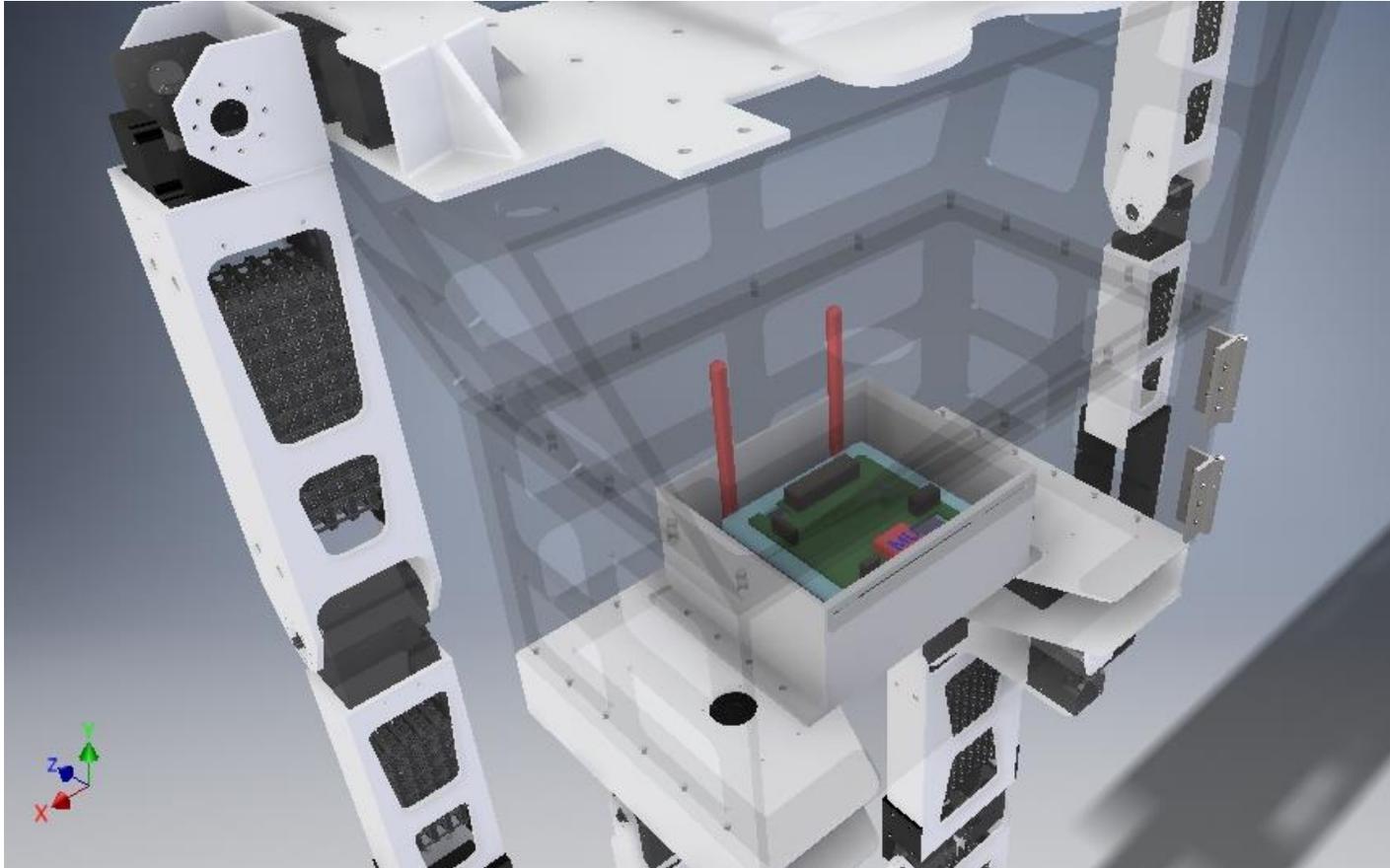


Rompimento do cabeamento elétrico



Avaria na estrutura

# Vibração



Fonte: Autores

- Benchmarking com RobôFEI
- Algoritmos de movimentação

# Problemática



Vibração de peças que se soltam devido a movimentação



Falta de equilíbrio

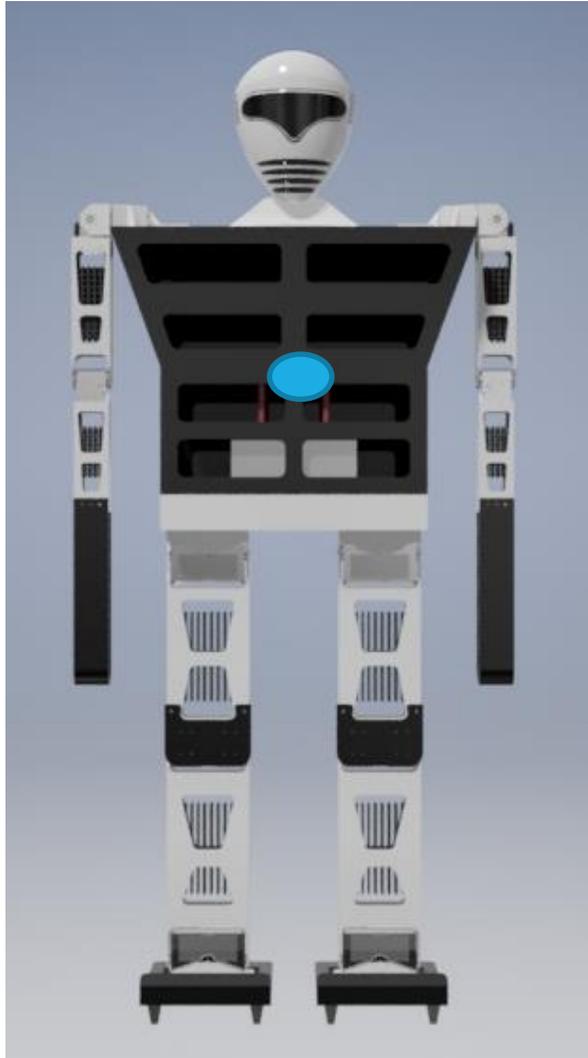


Rompimento do cabeamento elétrico



Avaria na estrutura

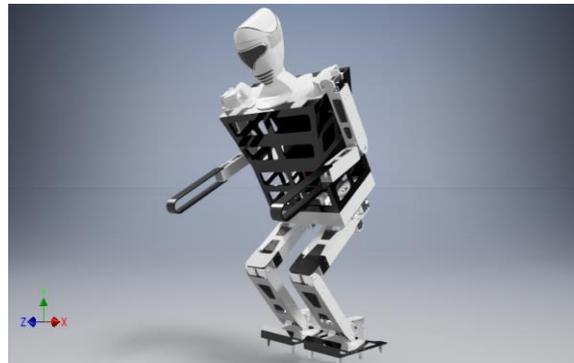
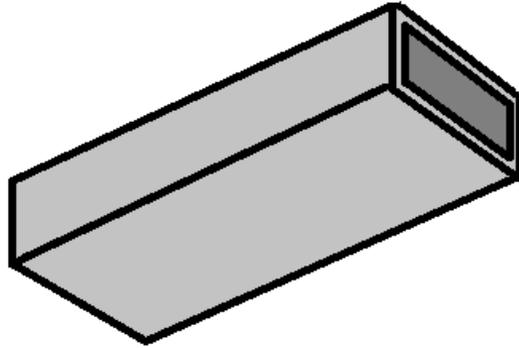
# Falta de Equilíbrio



- Centro de massa
- Estrutura estática
- Desconsideração dos efeitos térmicos e vibração
- Desconsideração da fadiga

Fonte: Autores

# Falta de Equilíbrio



Fonte: Autores

- Estrutura homogênea e retangular
- Método de Elementos Finitos
- Posição crítica

# Falta de Equilíbrio



- Maiores esforços
- Maior concentração de massa

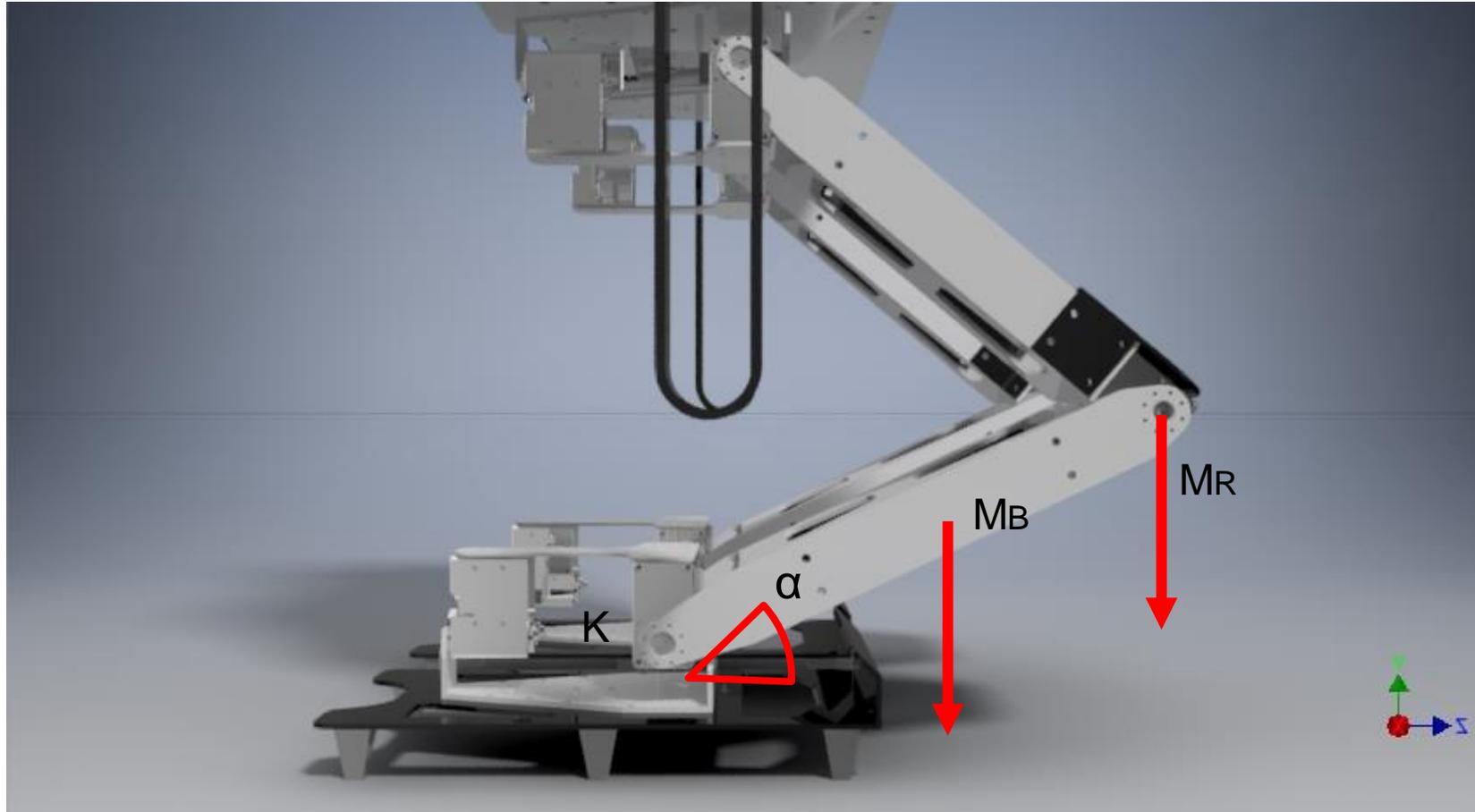
Fonte: Autores



# Falta de Equilíbrio

Canela

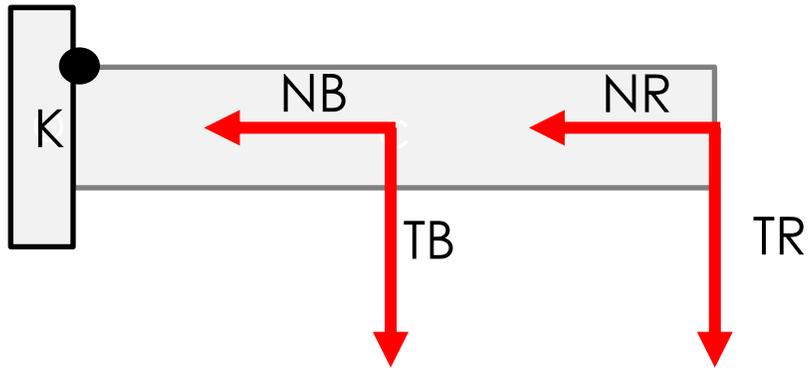
- $M_R = 7,2\text{kg}$
- $M_B = 0,3\text{kg}$
- $\alpha = 25^\circ$



Fonte: Autores



# Falta de Equilíbrio



Fonte: Autores

Canela

$$NB = MB * g * \text{sen}(a)$$

$$NR = MR * g * \text{sen}(a)$$

$$NB = 0,3 * 9,81 * \text{sen}(25^\circ)$$

$$TB = 0,3 * 9,81 * \text{cos}(25^\circ)$$

$$NR = 7,2 * 9,81 * \text{sen}(25^\circ)$$

$$TR = 7,2 * 9,81 * \text{cos}(25^\circ)$$



$$NB = 1,24N$$

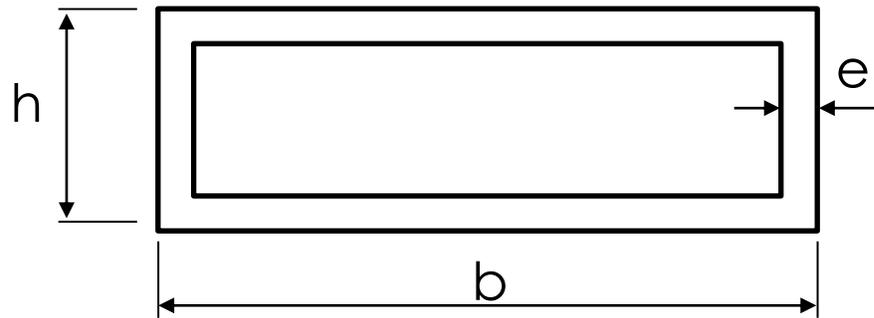


$$TB = 2,67N$$

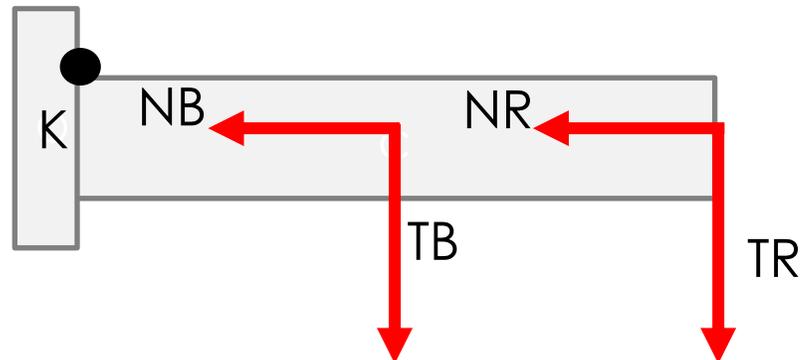
$$NR = 29,85N$$

$$TR = 64,01N$$

# Falta de Equilíbrio



Fonte: Autores



Fonte: Autores

Canela

$$L = 241,8\text{mm}$$

$$e = 3\text{mm}$$

$$b = 119,2\text{mm}$$

$$A = 922,2\text{mm}^2$$

$$h = 40,5\text{mm}$$

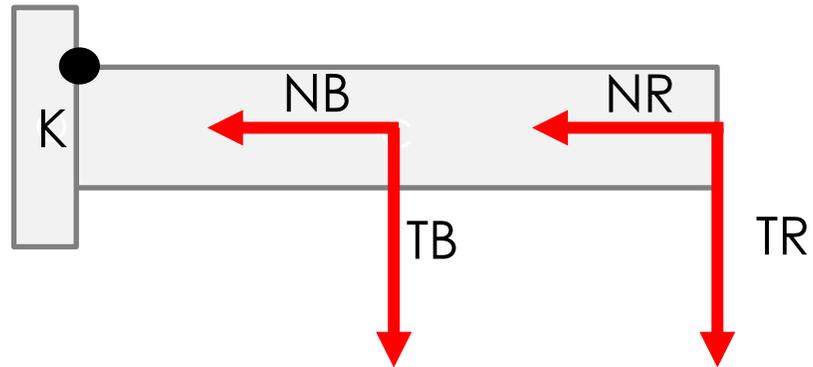
$$I_z = 272.505,71\text{mm}^4$$

$$N_K = -31,09\text{N}$$

$$T_K = -66,68\text{N}$$

$$M_z = -15.800,42\text{N}\cdot\text{mm}$$

# Falta de Equilíbrio



Fonte: Autores

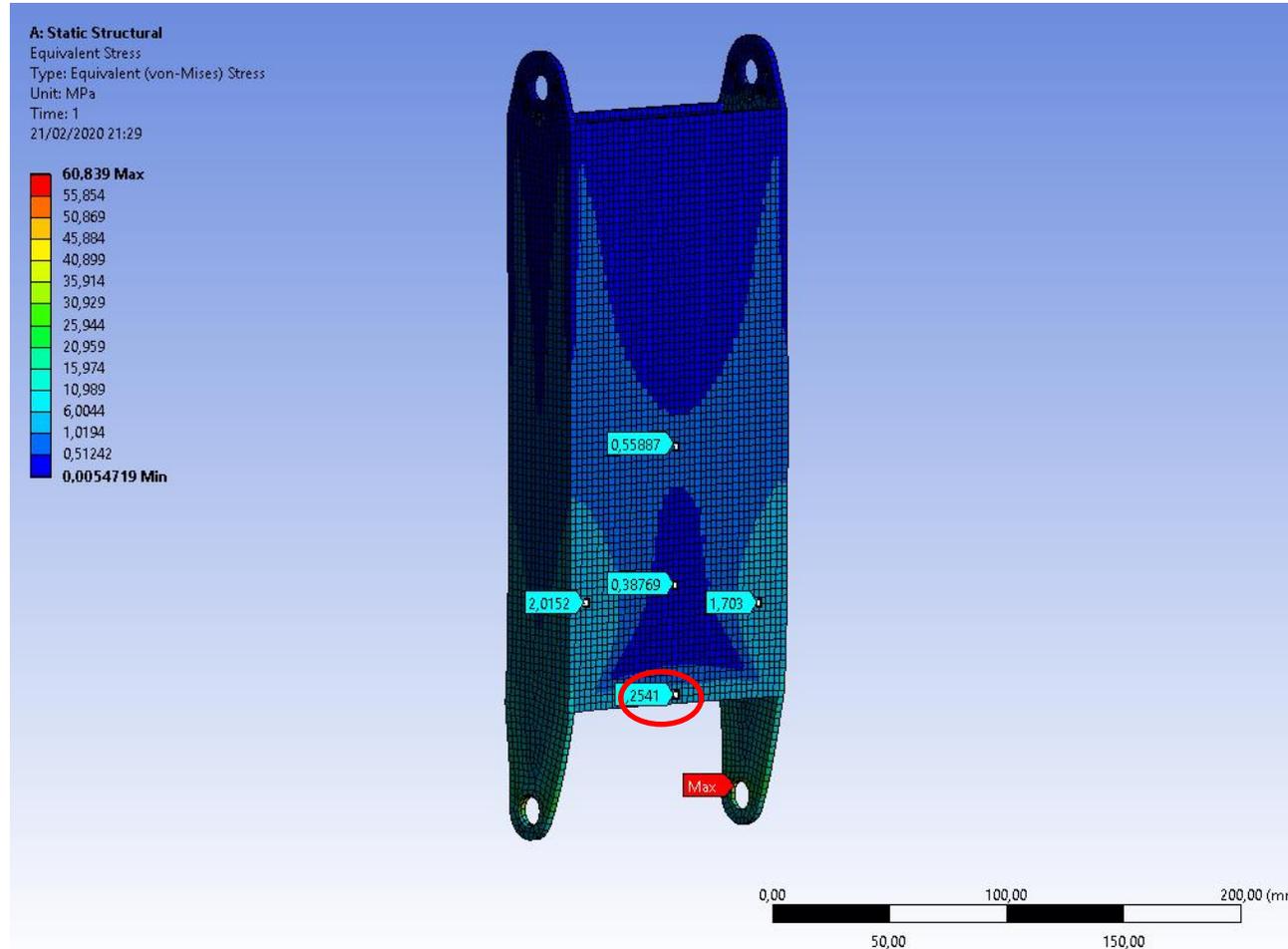
Canela

$$\sigma_k = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} * z$$

$$\sigma_k = \frac{-31,09}{922,2} + \frac{-15.800,42}{275.505,71} * \frac{40,5}{2}$$

$$\sigma_k = -1,20 MPa$$

# Simulação Estática



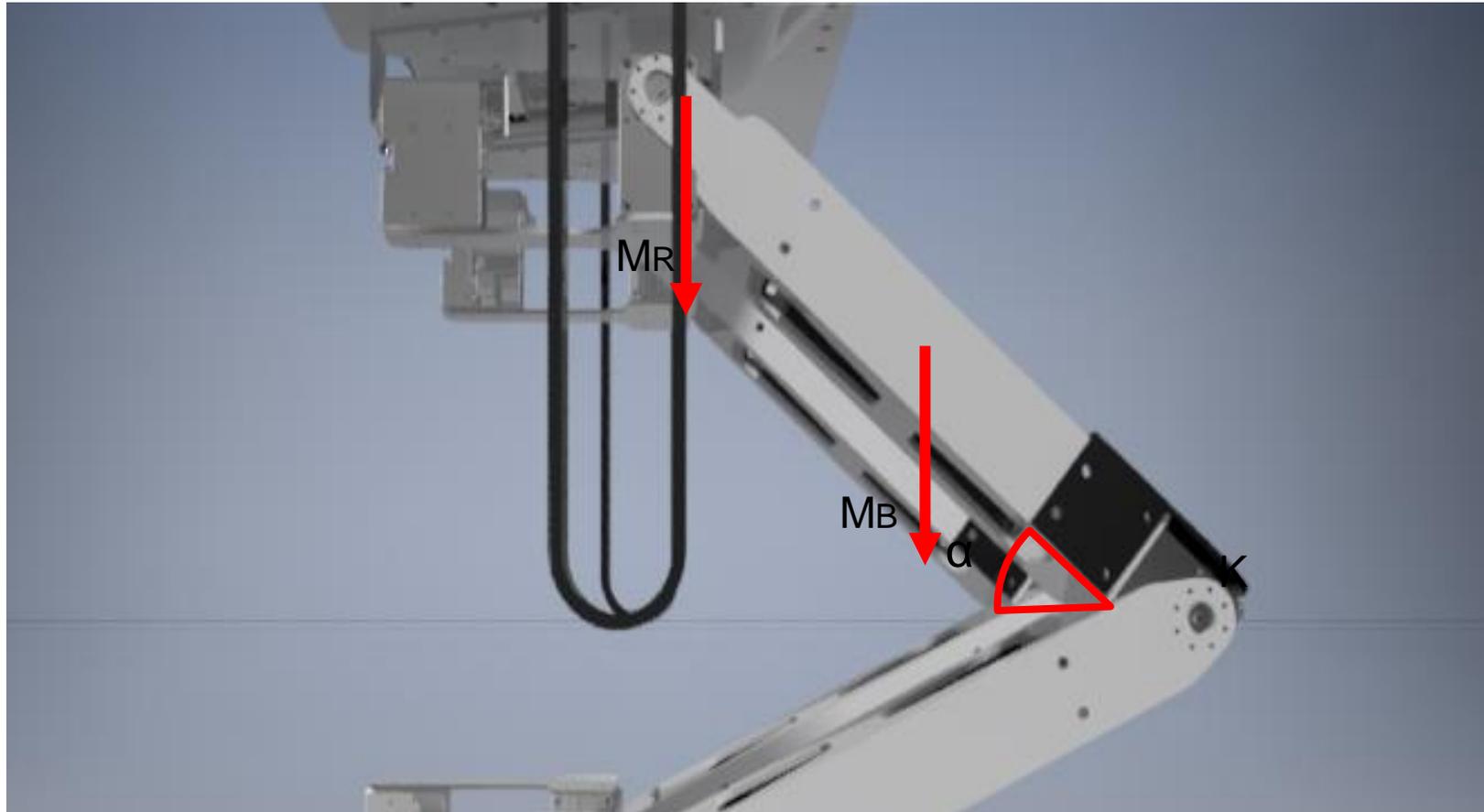
Canela

- $\sigma_k = 1,20 MPa$
- $\sigma_{\text{simulação}} = 1,25 MPa$

Fonte: Autores



# Falta de Equilíbrio



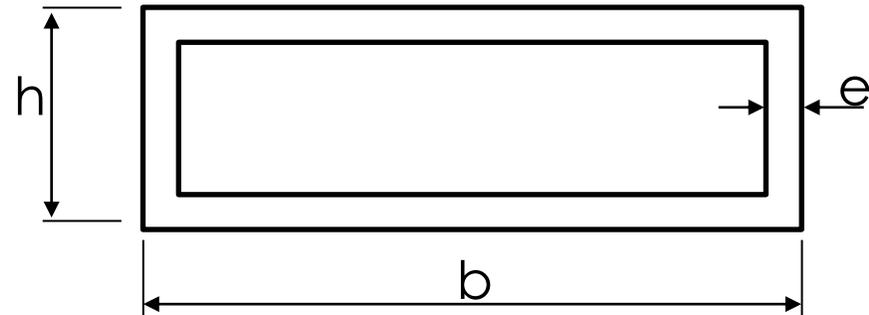
Coxa

- $MR = 6,9\text{kg}$
- $MB = 0,3\text{kg}$
- $\alpha = 40^\circ$

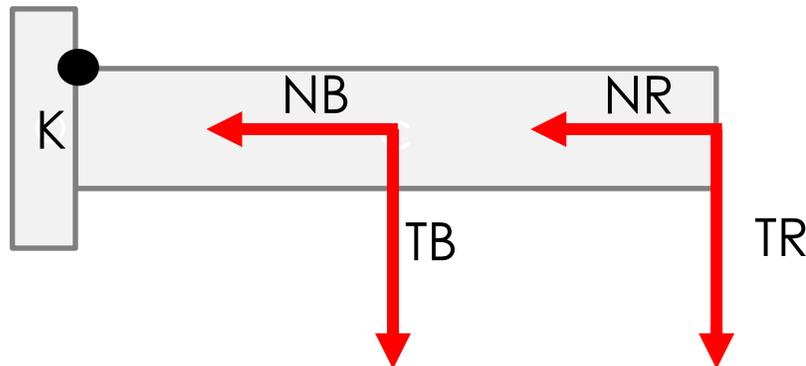
Fonte: Autores

# Falta de Equilíbrio

Coxa



Fonte: Autores



Fonte: Autores

$$L = 217\text{mm}$$

$$e = 3\text{mm}$$

$$b = 119,2\text{mm}$$

$$A = 922,2\text{mm}^2$$

$$h = 40,5\text{mm}$$

$$I_z = 272.505,71\text{mm}^4$$

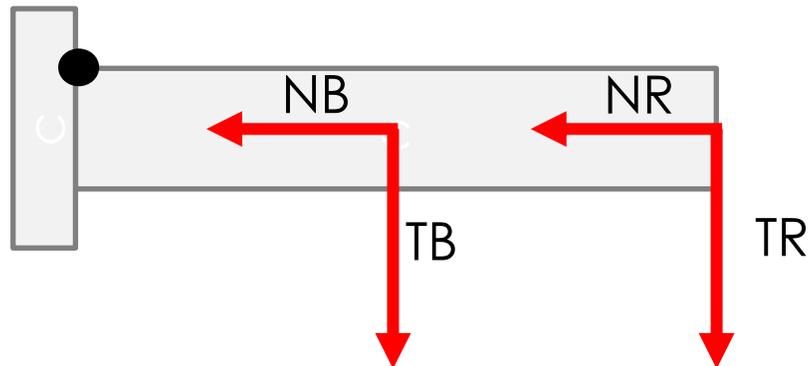
$$NB = 1,89\text{N}$$

$$TB = 2,25\text{N}$$

$$NR = 43,51\text{N}$$

$$TR = 51,85\text{N}$$

# Falta de Equilíbrio



Fonte: Autores

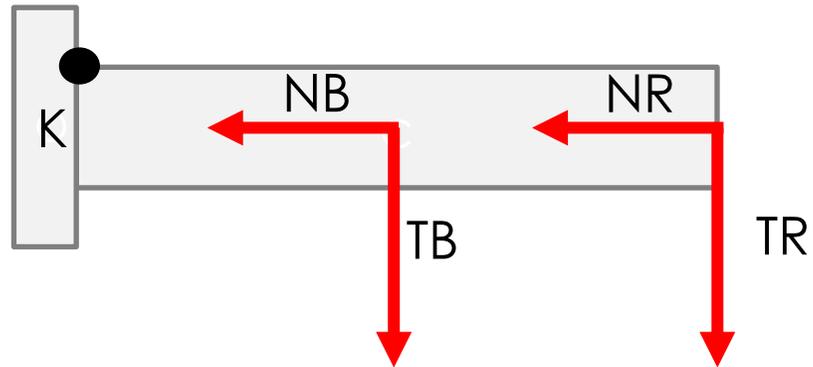
Coxa

$$N_K = -45,4\text{N}$$

$$T_K = -54,1\text{N}$$

$$M_z = -11.496,70\text{N}\cdot\text{mm}$$

# Falta de Equilíbrio



Fonte: Autores

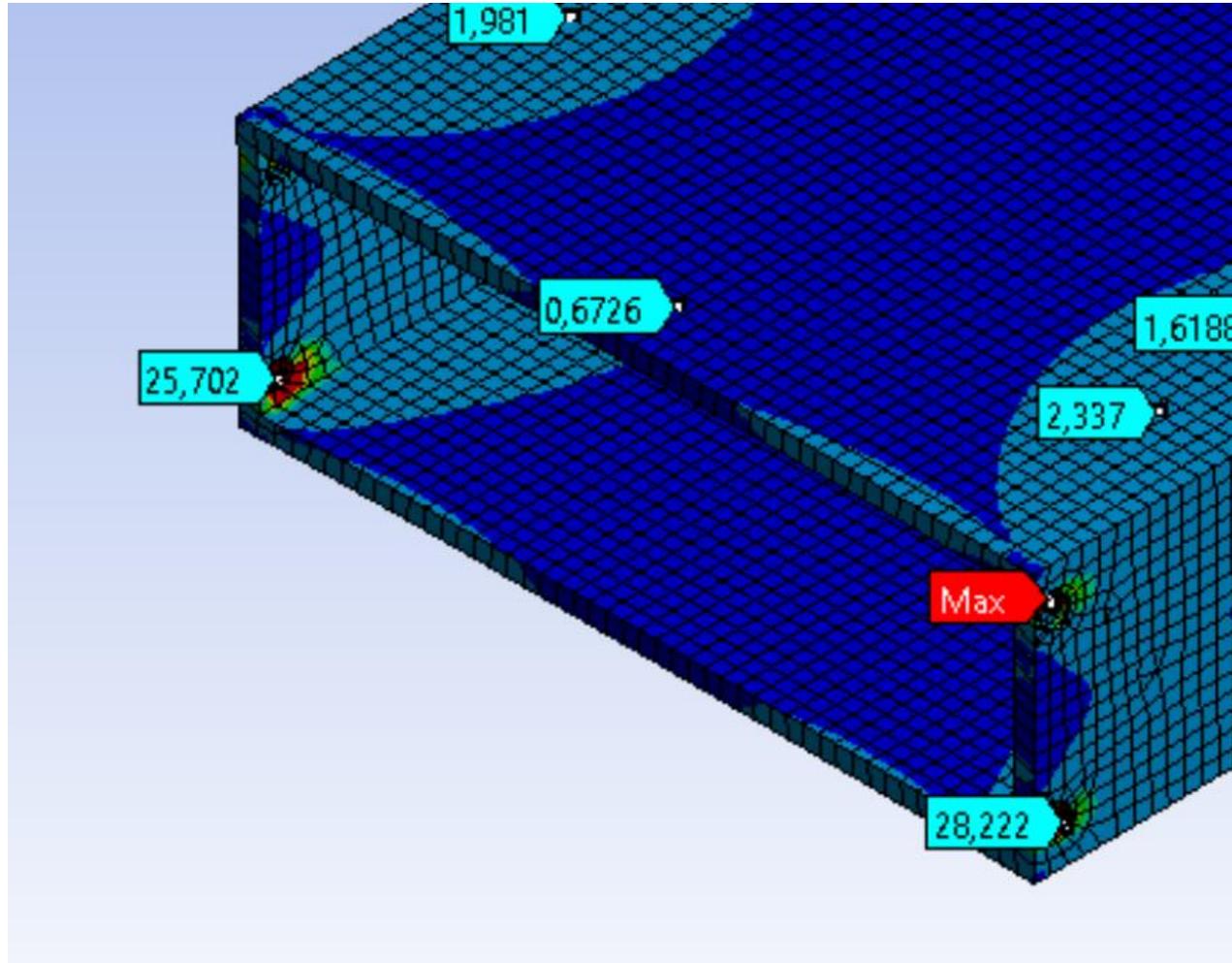
Coxa

$$\sigma_k = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} * z$$

$$\sigma_k = \frac{45,4}{922,2} + \frac{-11.496,70}{275.505,71} * \frac{40,5}{2}$$

$$\sigma_k = -0,80 \text{ MPa}$$

# Simulação Estática



Coxa

- $\sigma_k = 0,80 \text{ MPa}$
- $\sigma_{\text{simulação}} = 0,67 \text{ MPa}$

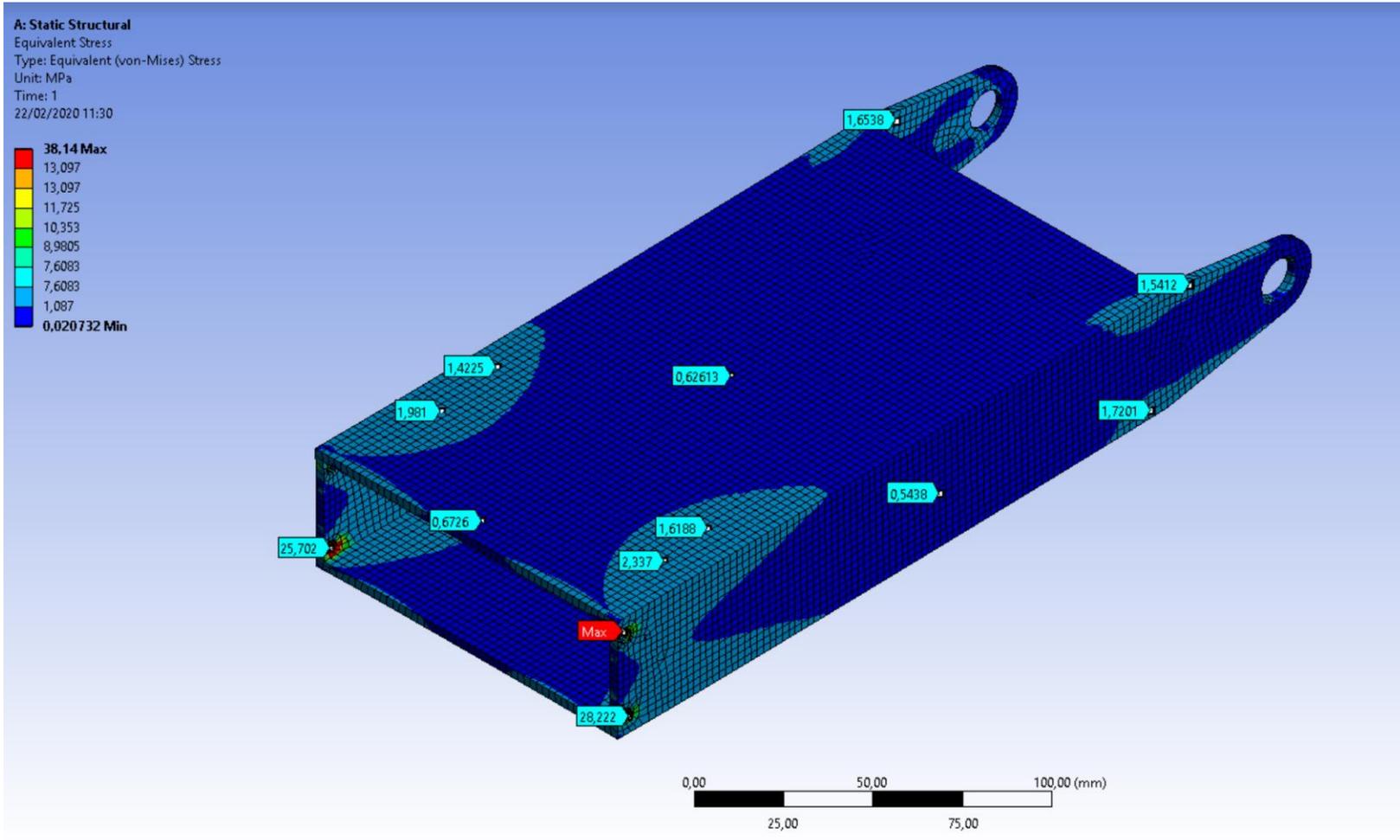
Fonte: Autores

# Simulação Estática



Coxa

- 40% massa
- Rigidez do Sistema



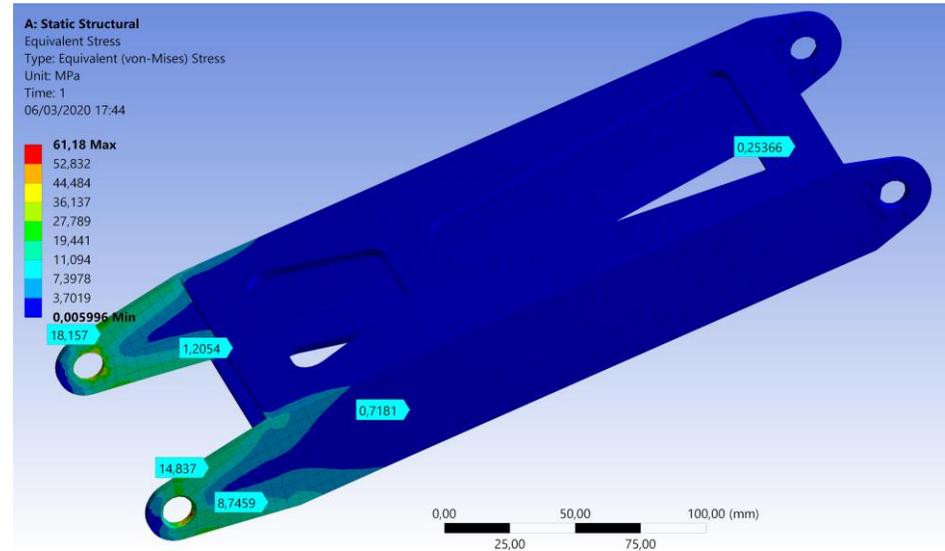
Fonte: Autores

Centro Universitário da FEI - Projeto WALKER- 2020

# Otimização



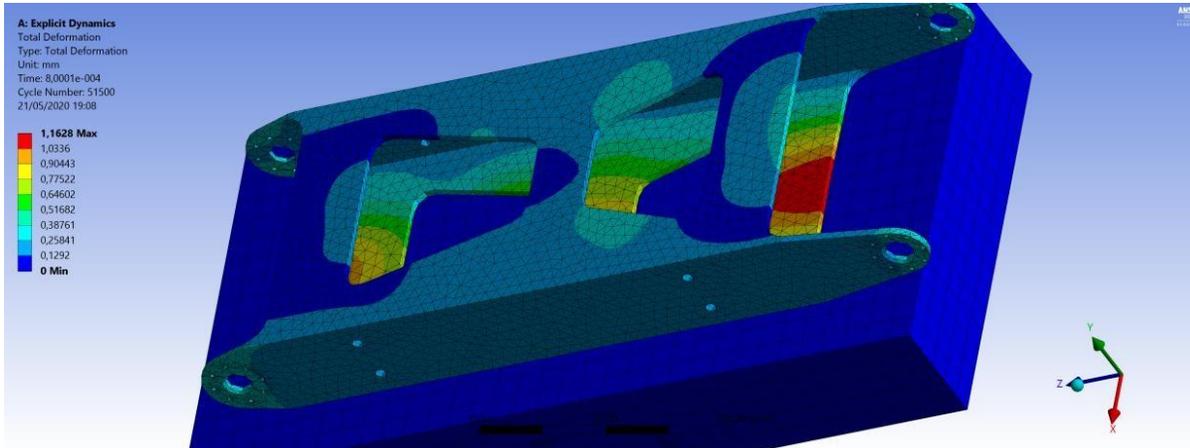
Fonte: Autores



Fonte: Autores

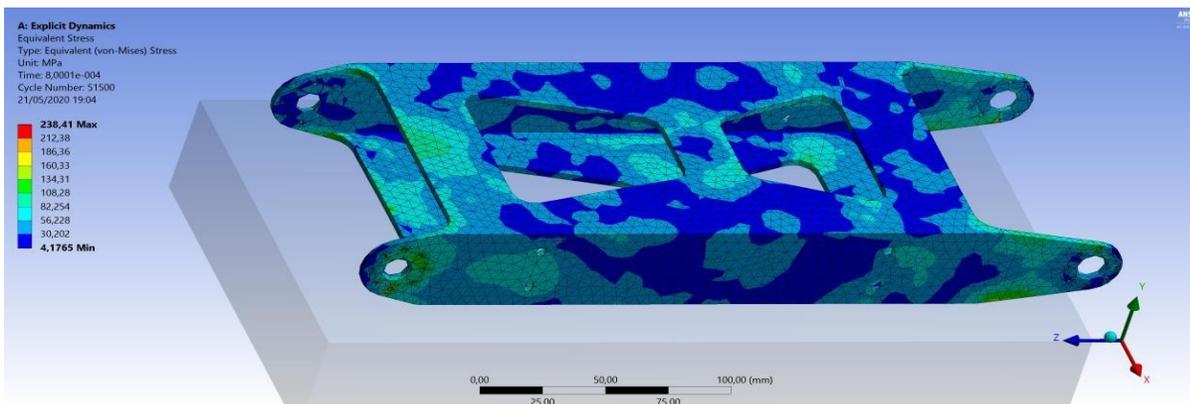
- -60% massa
- Não houve grandes alterações nas tensões

# Simulação Dinâmica



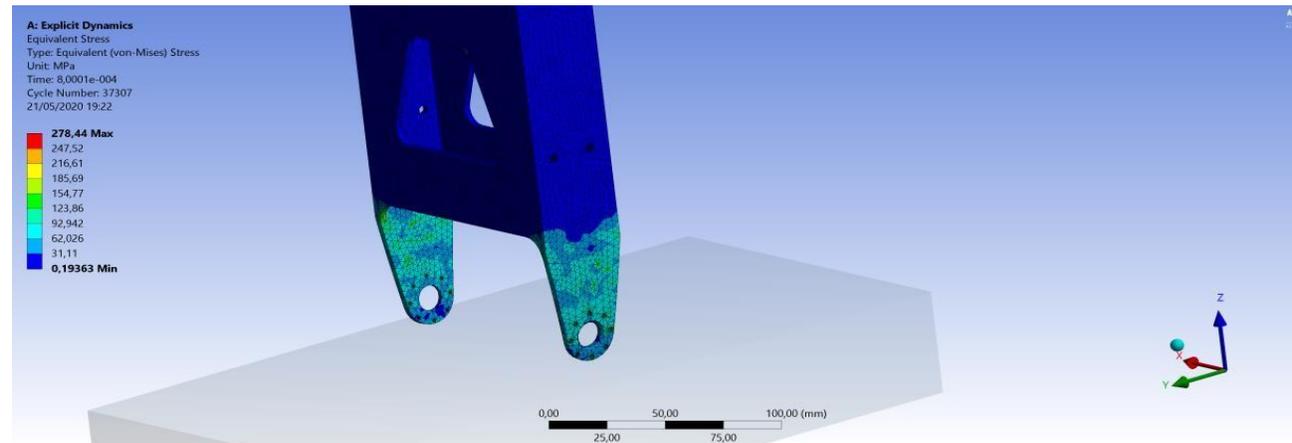
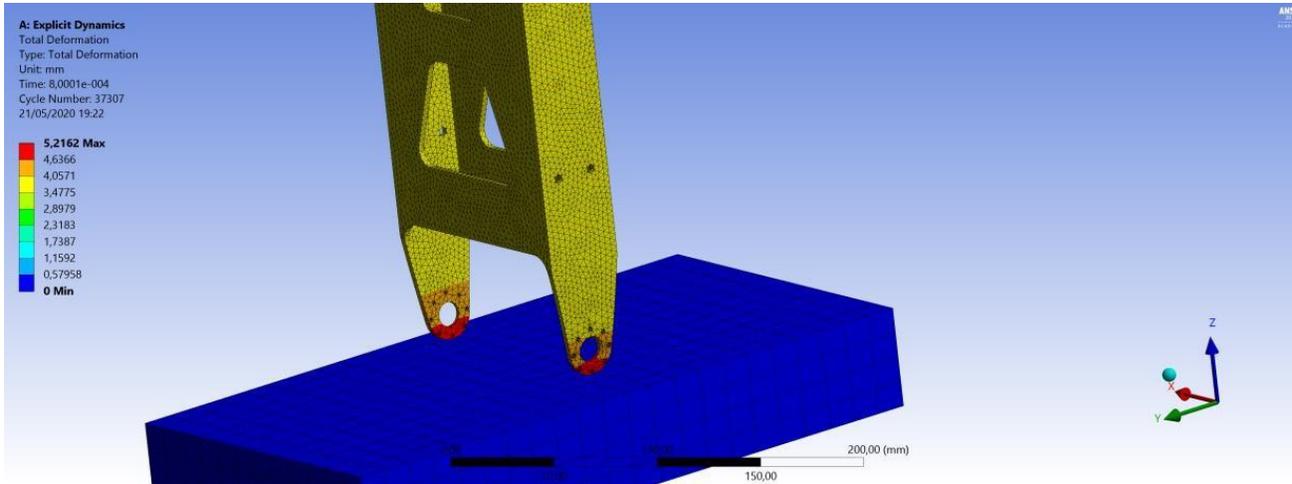
Colisão Frontal - Canela

- Deformação: 1,16mm
- Tensão Máx: 238,41MPa



Fonte: Autores

# Simulação Dinâmica



Fonte: Autores

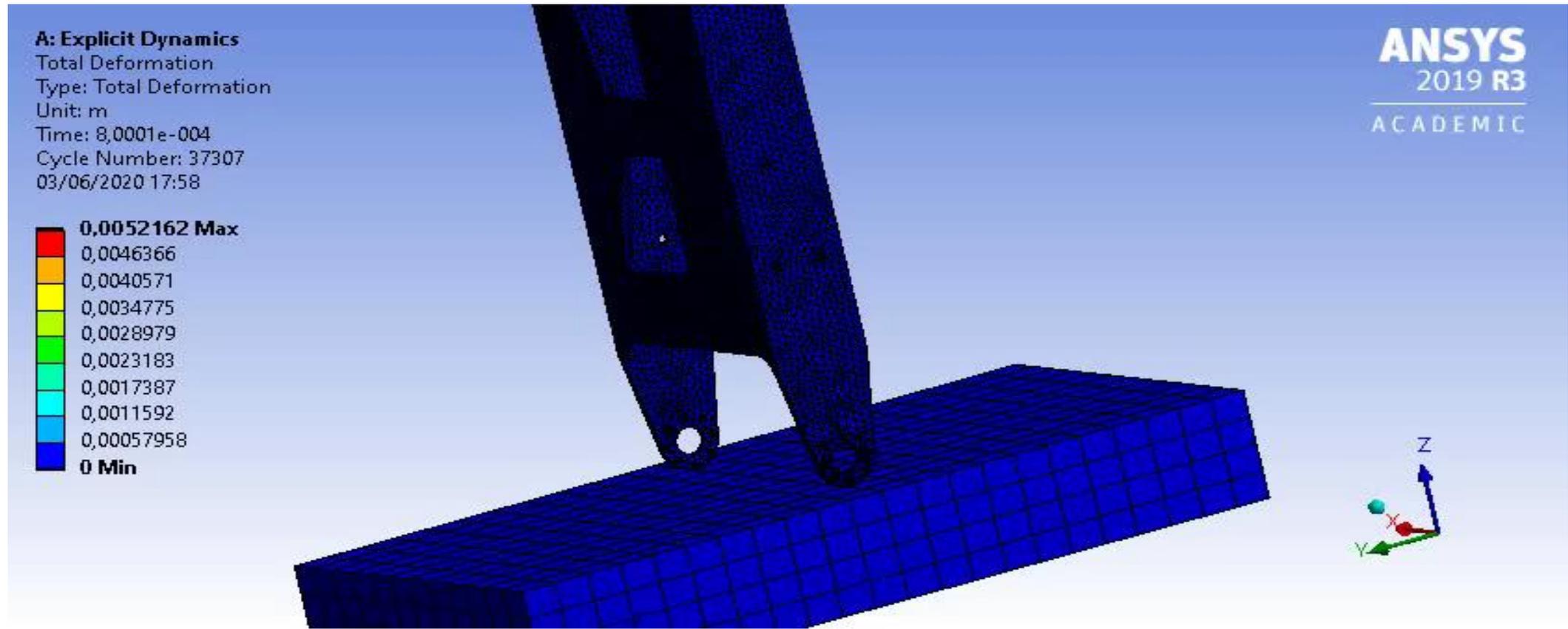
## Colisão Vertical - Canela

- Deformação: 5mm
- Tensão Máx: 278,44MPa

# Simulação Dinâmica



Colisão vertical



Fonte: Autores

# Motores



## Especificações

<b>Dynamixel XM540-W270-R</b>		
Tmax	12,9	N.m
Nsem carga	37	rpm
amax	210	rev/min <sup>2</sup>
amax	0,37	rad/s <sup>2</sup>
massa motor	165	g

Fonte: Autores



# Motores

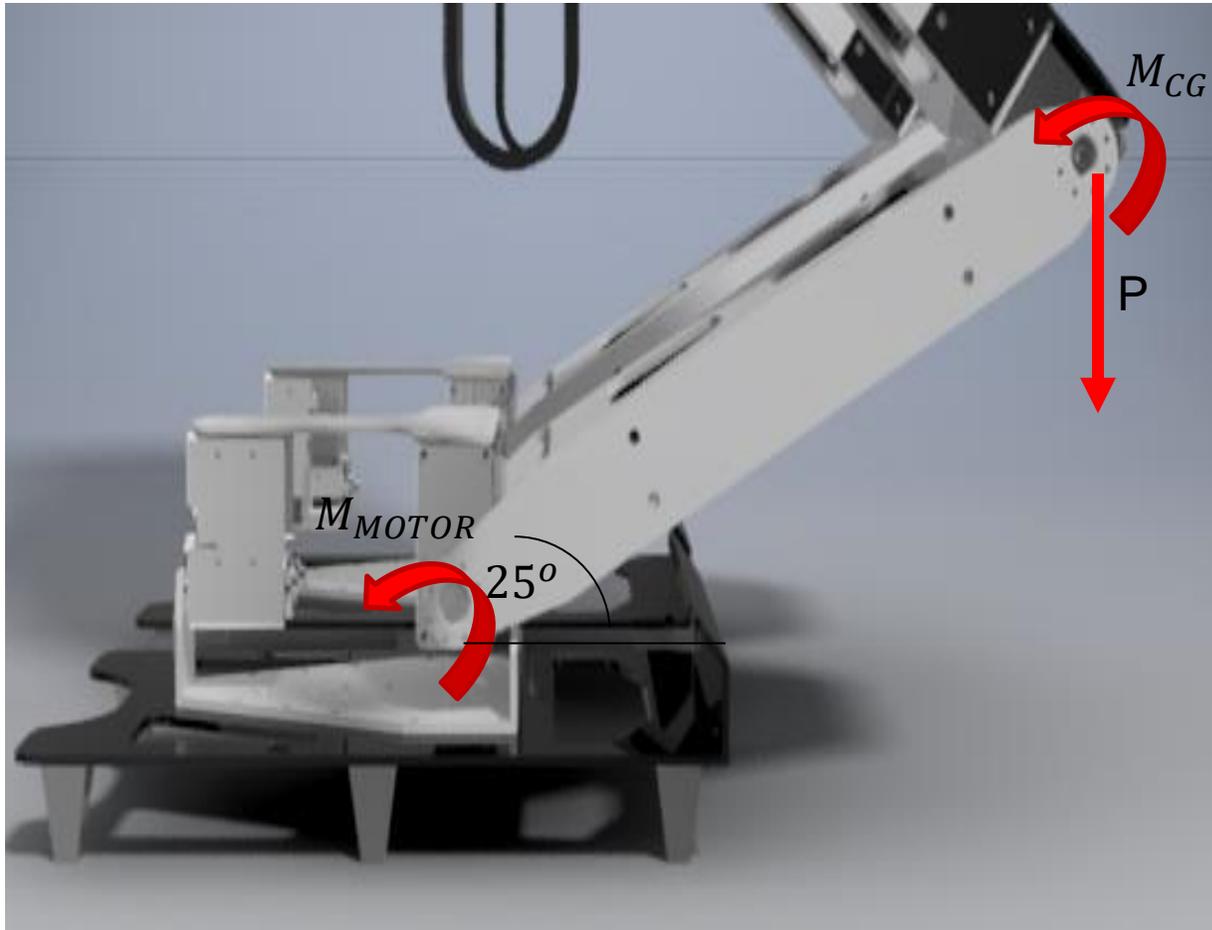
Canela

$$\sum M = I * \alpha$$

$$M_{motor} = m_{conc.joelho} * g * \cos \theta * l_{canela} + I * \alpha$$

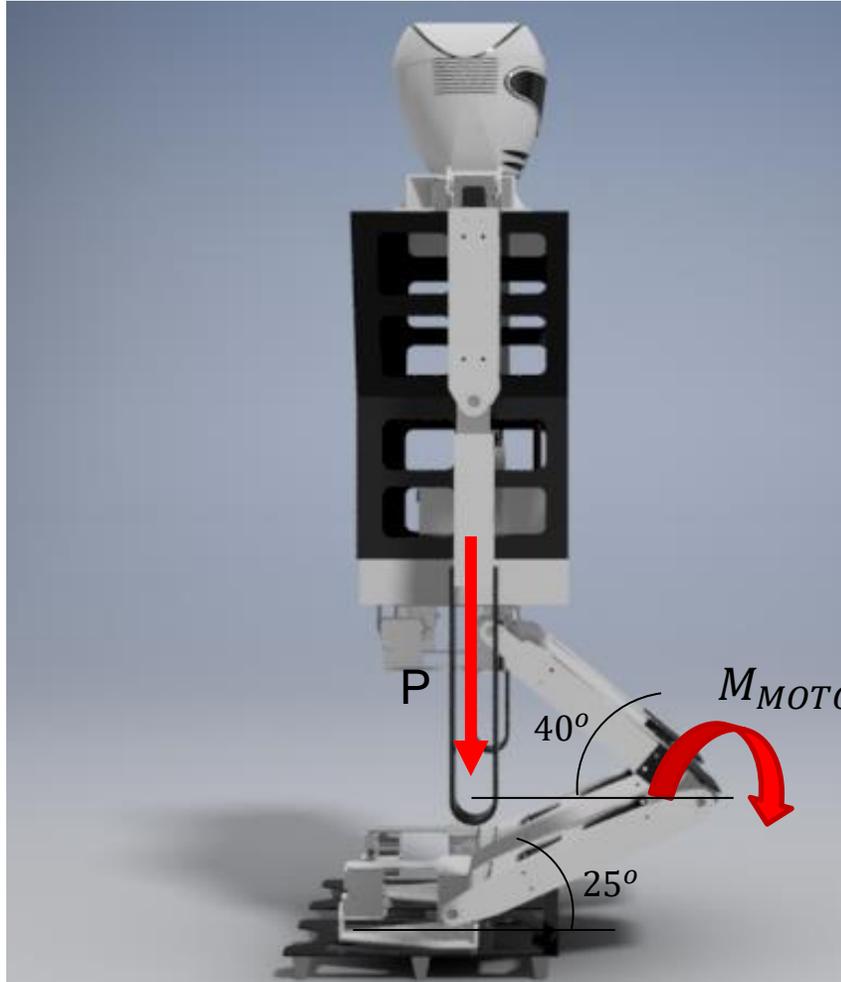
$$M_{motor} = 20,76 N.m$$

$\therefore$  2 Motores



Fonte: Autores

# Motores



Fonte: Autores

Coxa

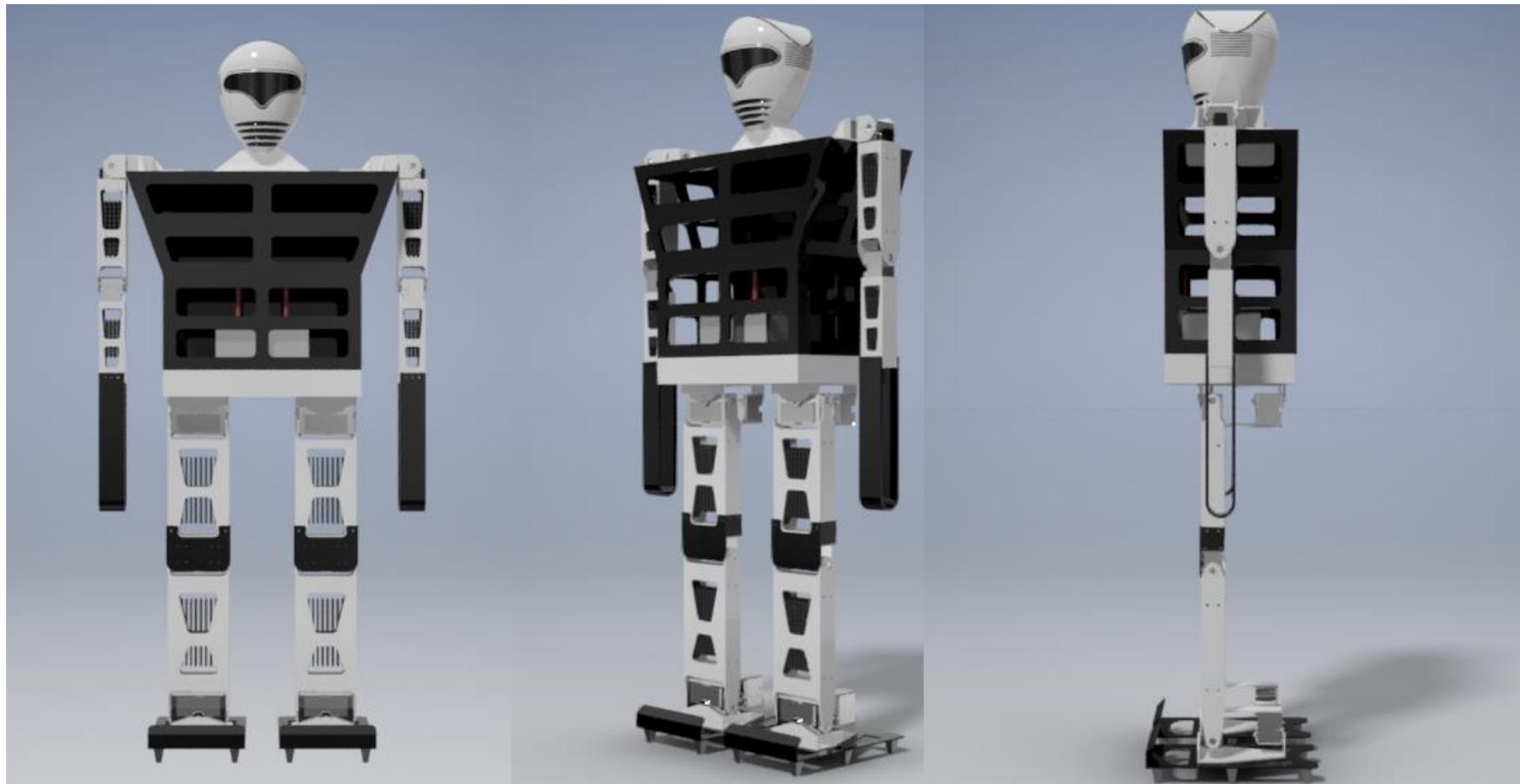
$$\sum M = I * \alpha$$

$$M_{motor} = m_{conc.quadril} * g * \cos \beta * l_{coxa} + I * \alpha$$

$$M_{motor} = 14,15 N.m$$

∴ 2 Motores

# Motores



Pés	2
Tornozelos	4
Joelhos	4
Quadril	8
Ombros	4
Cotovelos	2
Pescoço	1

25 Motores

Fonte: Autores

# Problemática



Vibração de peças que se soltam devido a movimentação



Falta de equilíbrio



Rompimento do cabeamento elétrico



Avaria na estrutura

# Rompimento Cabo Elétrico



Fonte: MarkFerragens



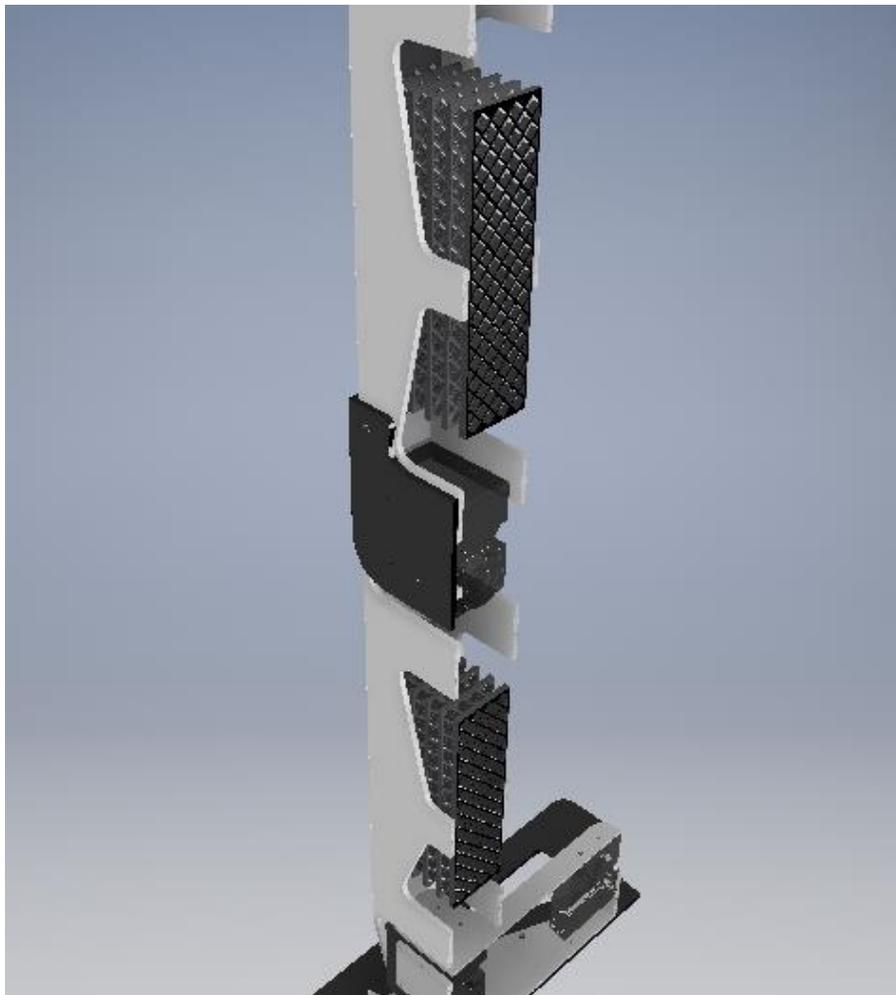
Fonte: Loja Magma



Fonte: Techexplore

Nível de importância ↑	RESULTADOS	Alumínio tubular	Pele Polimérica	Colméia Polimérica
	Peso	0,057	0,649	0,295
	Amortecimento	0,060	0,190	0,750
	Flexibilidade	0,059	0,181	0,760
	Resistência	0,750	0,060	0,190
	Preço	0,750	0,060	0,190
	Média	0,335	0,228	0,437

# Colmeia polimérica



Fonte: Autores



Fonte: Autores

# Problemática



Vibração de peças que se soltam devido a movimentação



Falta de equilíbrio



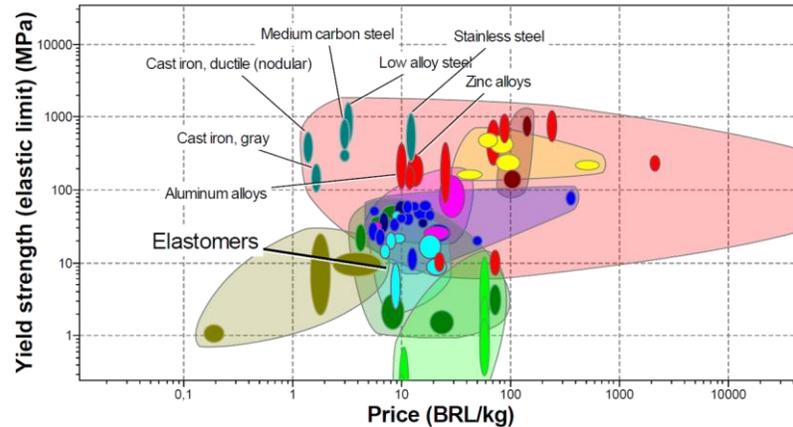
Rompimento do cabeamento elétrico



Avaria na estrutura

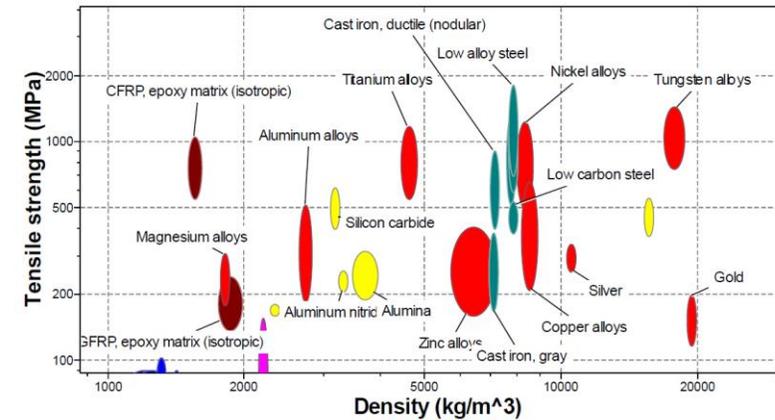
# Avaria na estrutura

Tensão escoamento x Preço



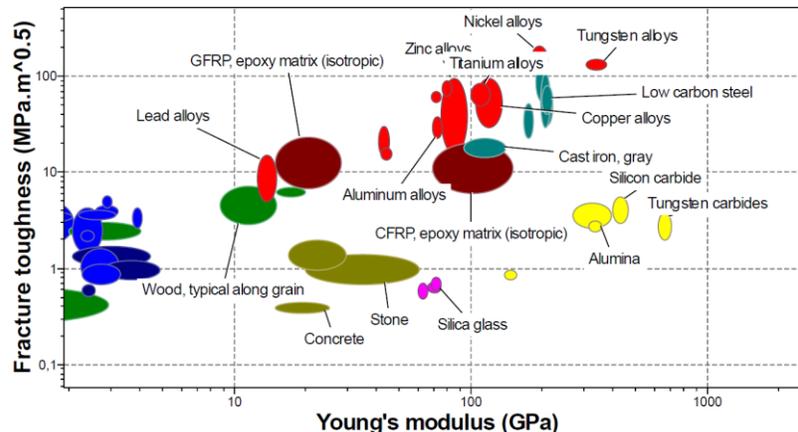
Fonte: CES Edupack

Tensão Máxima x Densidade



Fonte: CES Edupack

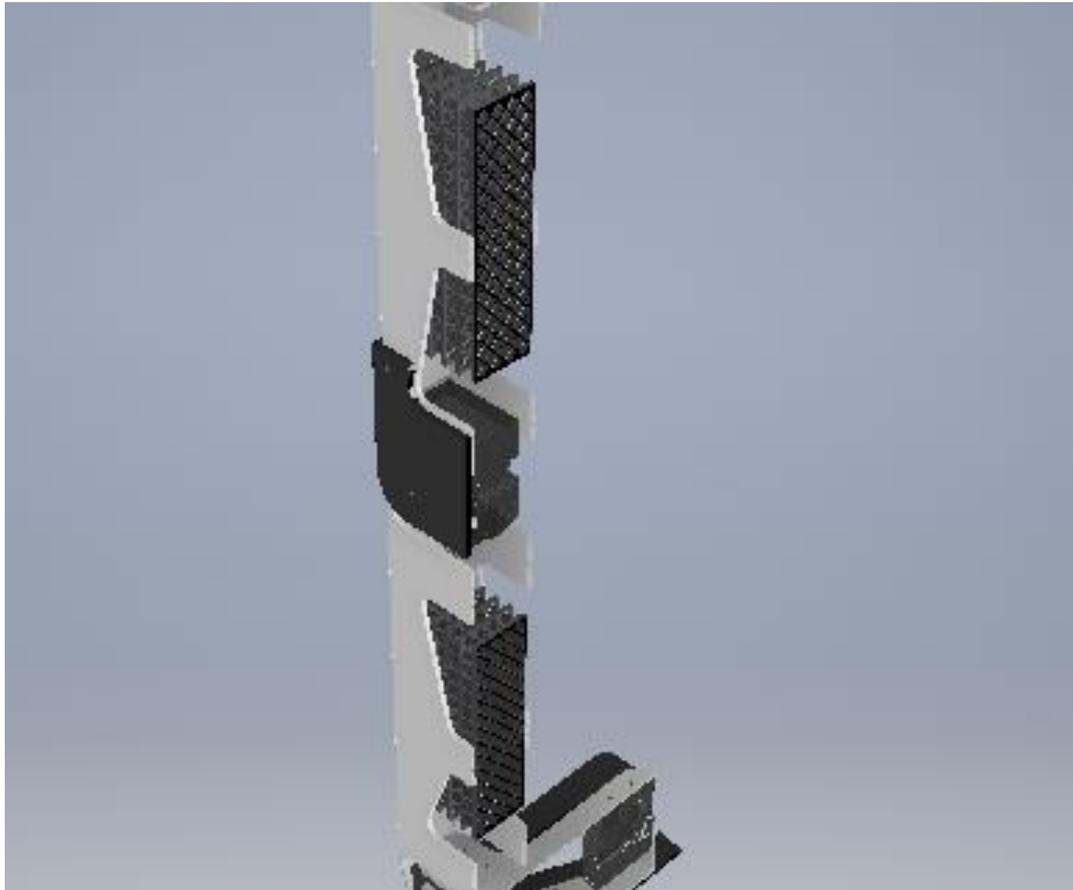
Resistência a Fratura x Modulo de Young



Fonte: CES Edupack

- Tensão Máx: 60MPa Estática / 278MPa Dinâmico
- Ligas de Alumínio (Alumínio 2.000,6.000 ou 7.000)

# Avaria na estrutura

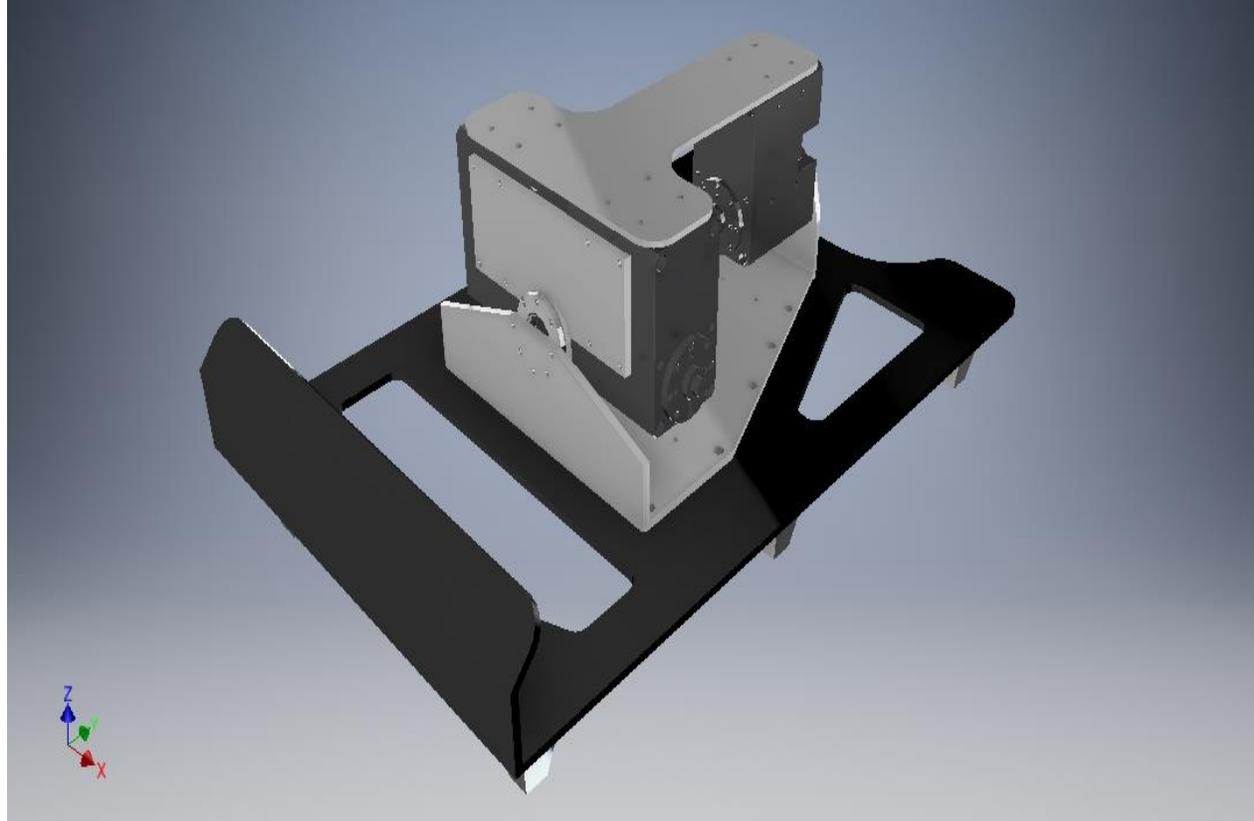


Colmeia - ABS

- Absorção de impacto
- Flexível

Fonte: Autores

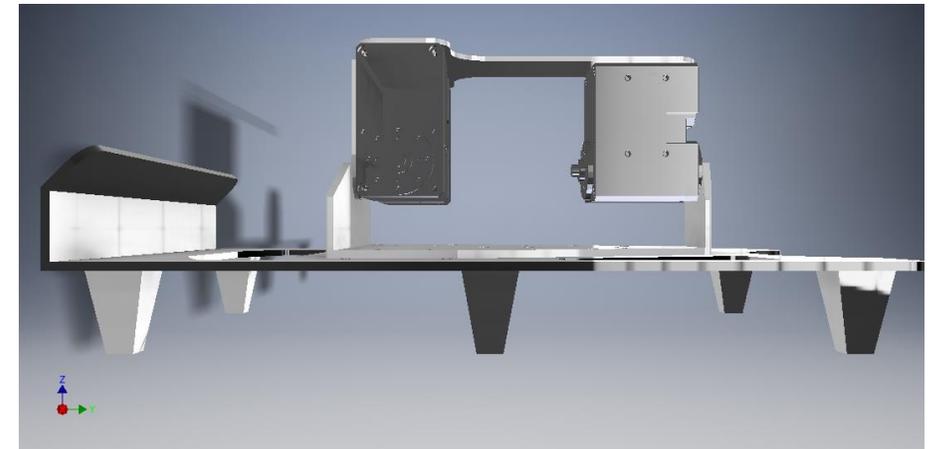
# Avaria na estrutura



Fonte: Autores

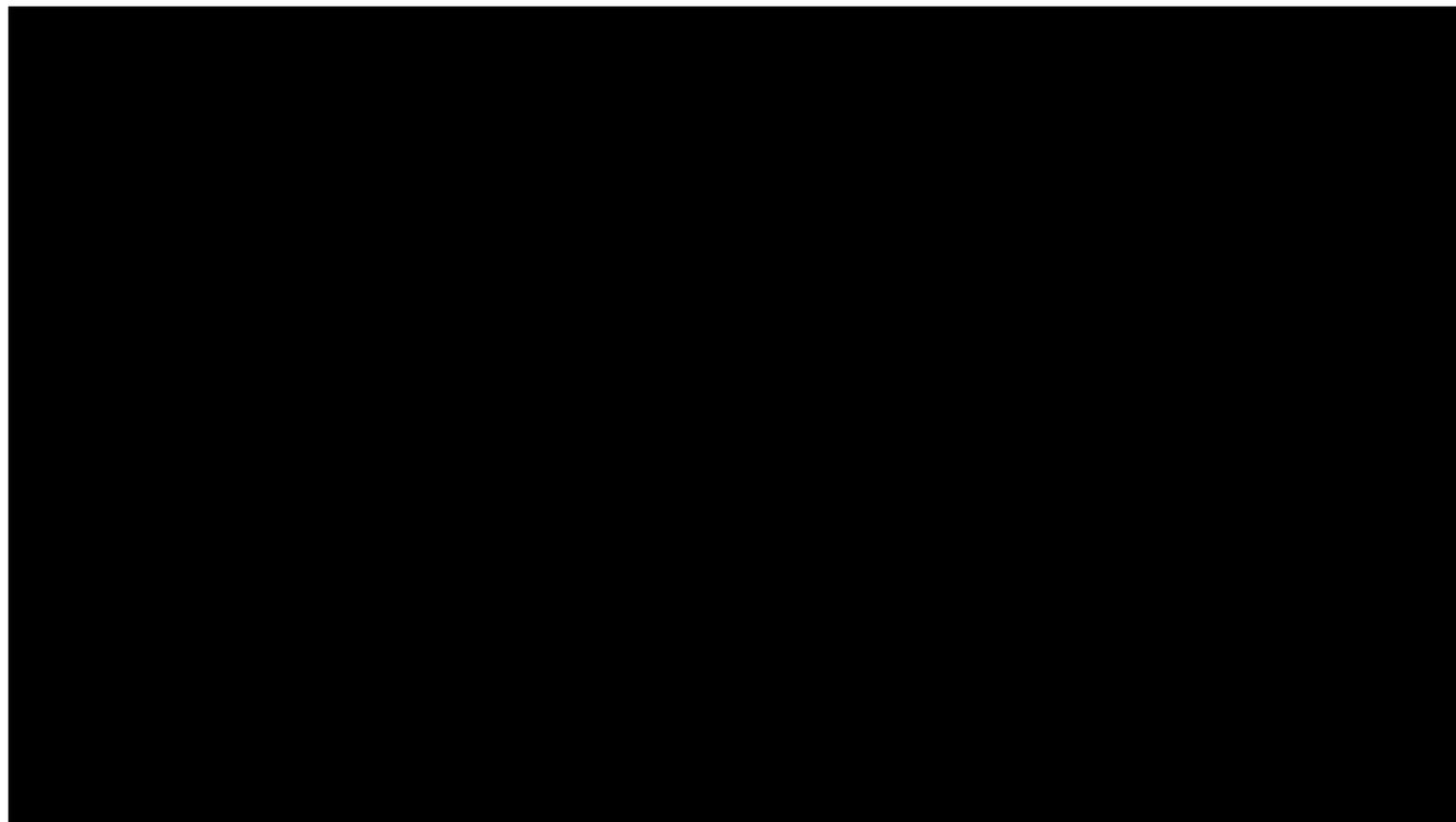
Sola - SBR

- Custo benefício
- Resistente a abrasão
- Aderência ao solo



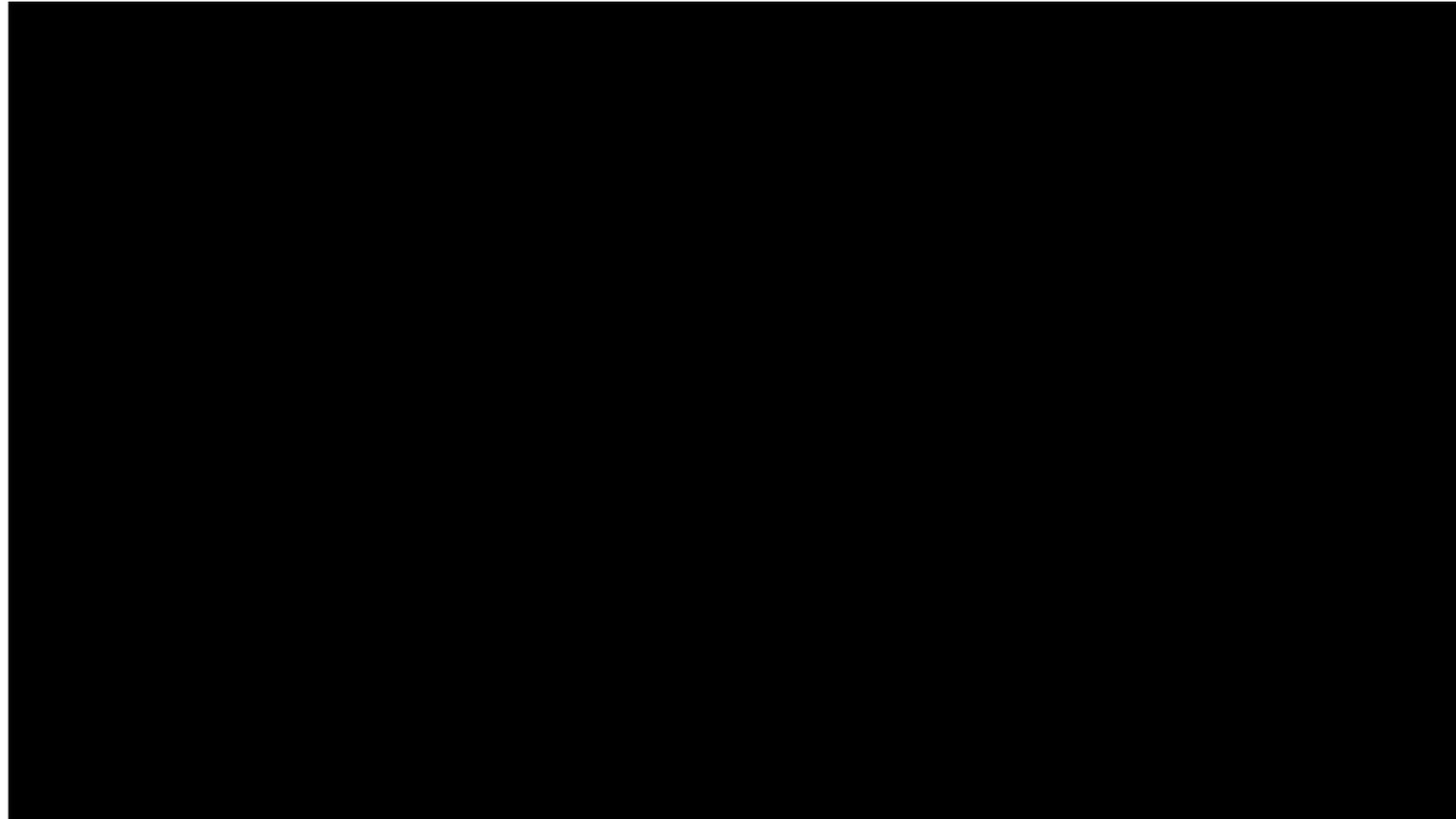
Fonte: Autores

# Situação crítica



Fonte: Autores

# Considerações finais



Fonte: Autores

# Considerações finais



Fonte: Autores

# Agradecimento



Muito obrigado ao orientador Prof. Dr. Ronaldo Câmara Cozza, Prof. Dr. Arnaldo Forgas Júnior, Prof. Dr. Reinaldo Augusto da Costa Bianchi, equipe Robô FEI e ao Centro Universitário da FEI.

Antônio Carlos Oliveira Busnello  
Arthur Garcia Sibinel  
Gabriel Vasconcellos Bayma  
Giovanna Jardim Lucio  
Jhonatan Franco do Nascimento  
João Pedro Marin de Godoi  
Luiz Carlos Santos Subi  
Matheus de Azevedo  
Matheus Rolim Pinheiro  
Vinicius Toshio Horikawa



Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Câmara  
Cozza





# WALKER

PROJETO DE UM ROBÔ HUMANOIDE PARA ROBOCUP