

SEM0501

Dinâmica Aplicada às Máquinas

Aula #17 — Princípio do
trabalho e energia

Laboratório de

Prof. Dr. Thiago Boaventura

tboaventura@usp.br

São Carlos, 14/10/19



Momento Cultural

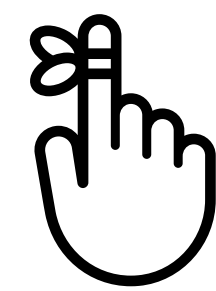


Lab

Laboratório de Controle de Robótica Avancada

Cinética





Aula passada...



$$F_{rx} = m a_{Gx}$$

$$F_{ry} = m a_{Gy}$$



$$\sum F_n = m a_{Gn}$$

$$\sum F_t = m a_{Gt}$$



$$\sum M_G = I_G \alpha$$

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

Alternativa às Equações de movimento



Trabalho

Energia

Objetivos da aula



**Definir trabalho e
potência para
partículas**



**Desenvolver o
princípio do
trabalho e energia**

Conteúdo

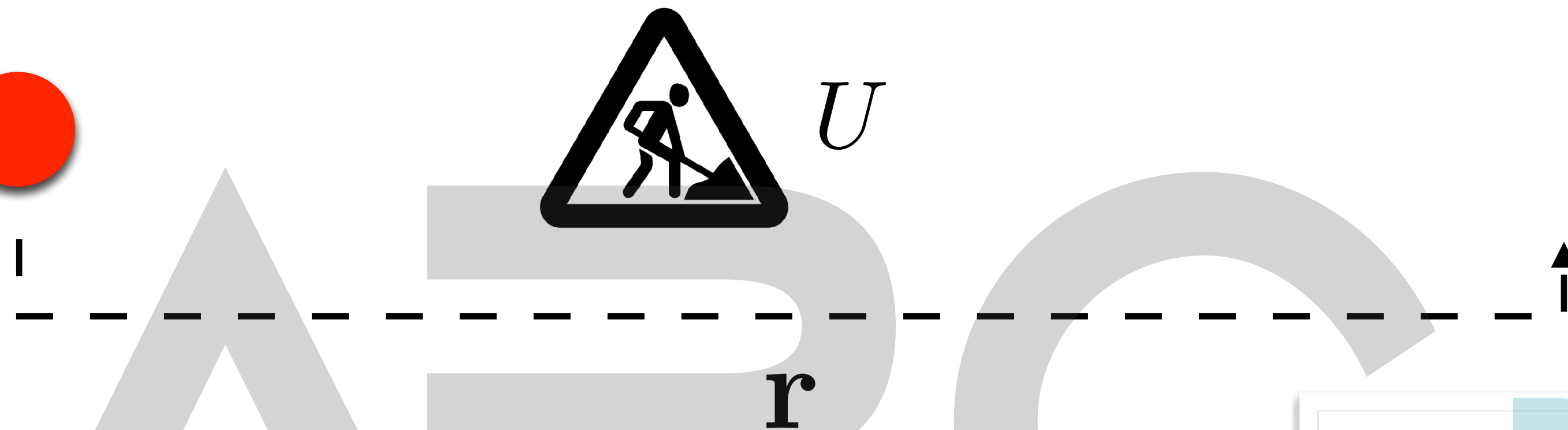
- Trabalho de uma força
- Potência e eficiência
- Princípio do trabalho e energia

Trabalho e energia

- “Take-home messages”
- Próxima aula

Conclusão

Trabalho de uma força

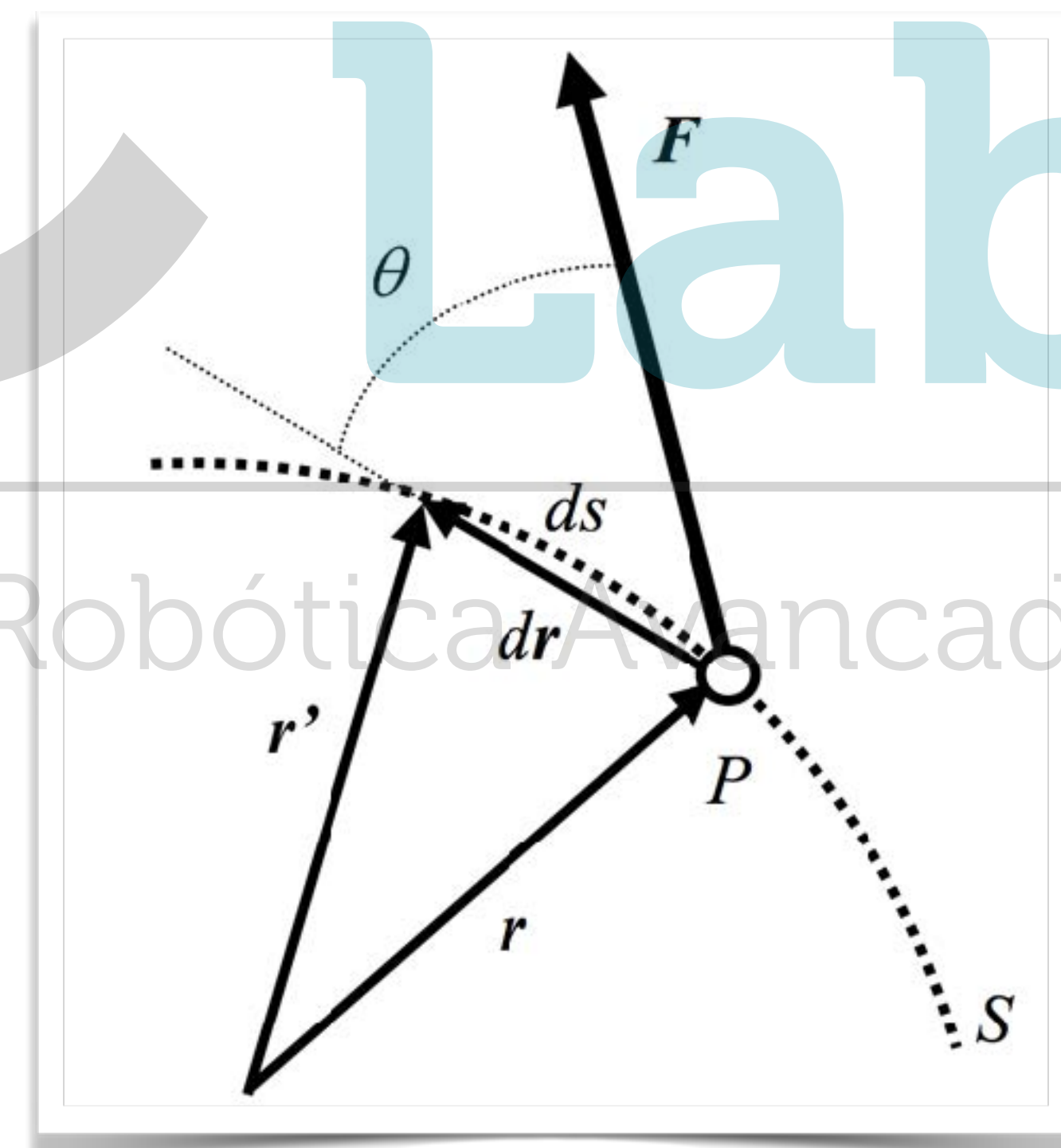


$$U = \int_r^{r'}$$

$$\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_{s_1}^{s_2} F \cos\theta ds$$

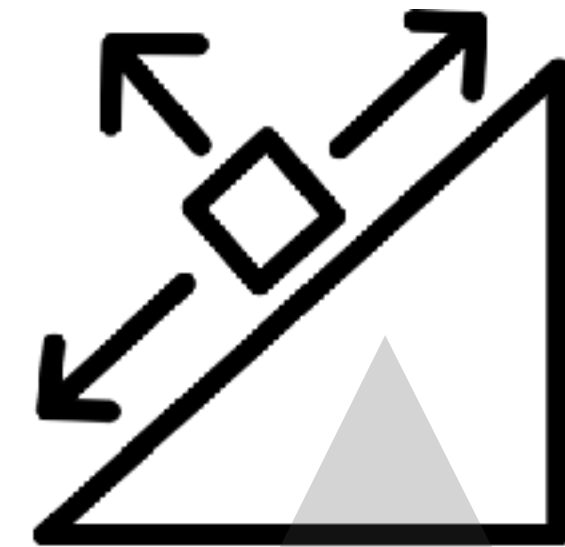
escalar

Joule
(1 J = 1 N x 1 m)



Mucheroni, 2011

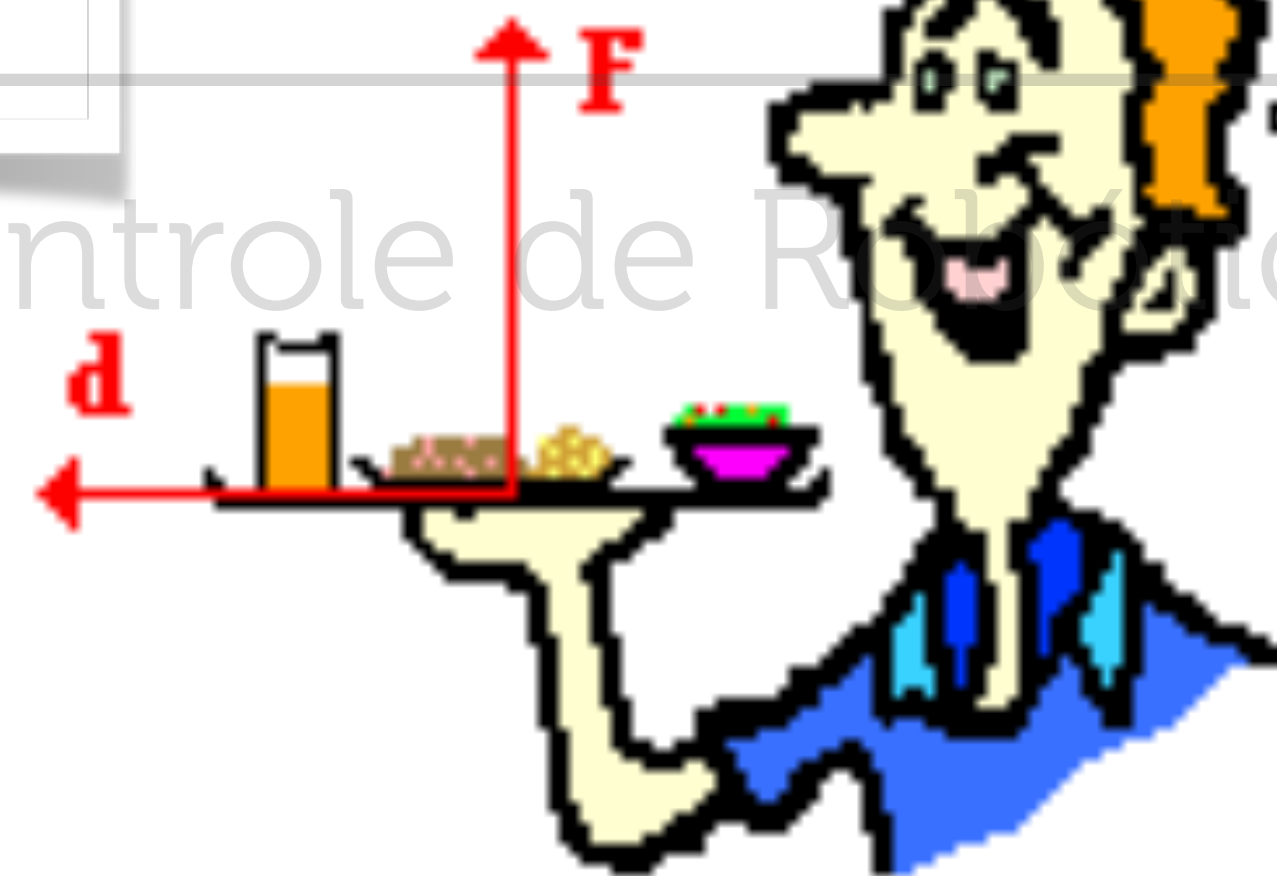
Casos particulares



força perpendicular
ao movimento

$$U = \int_{\mathbf{r}}^{\mathbf{r}'} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_{s_1}^{s_2} F \cos\theta ds$$

$$U = 0$$



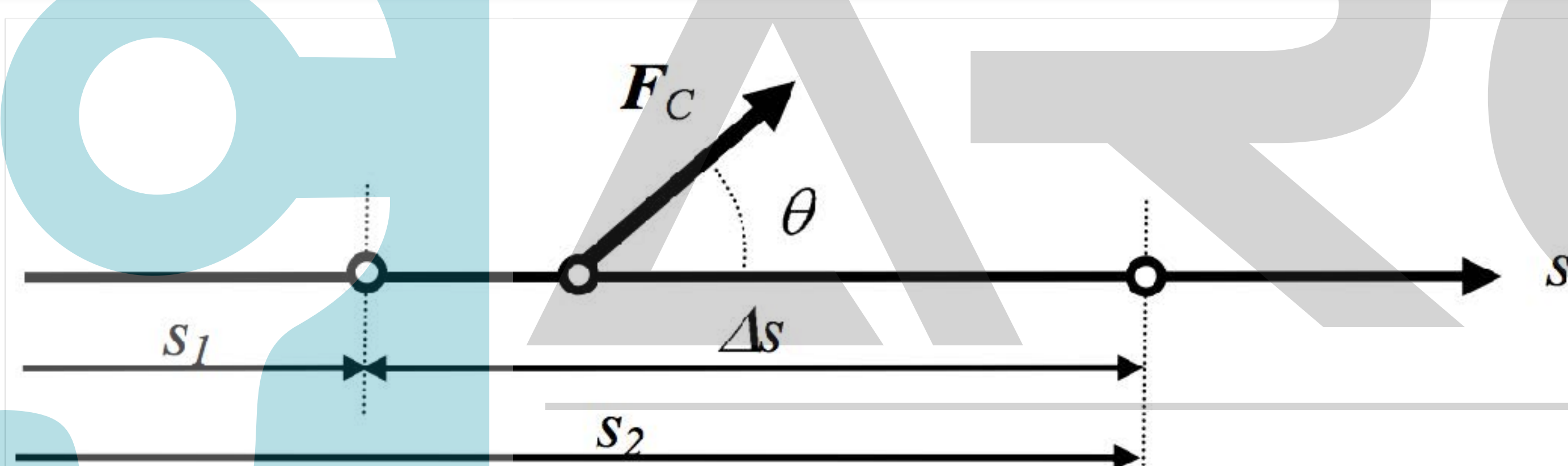
This is great
pay for not
doing work.

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

Casos particulares



força constante e movimento retilíneo:



$$U = \int_{\mathbf{r}}^{\mathbf{r}'} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_{s_1}^{s_2} F \cos\theta ds$$

$$U = F_c \cos\theta \int_{s_1}^{s_2} ds = F_c \cos\theta \Delta s$$

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

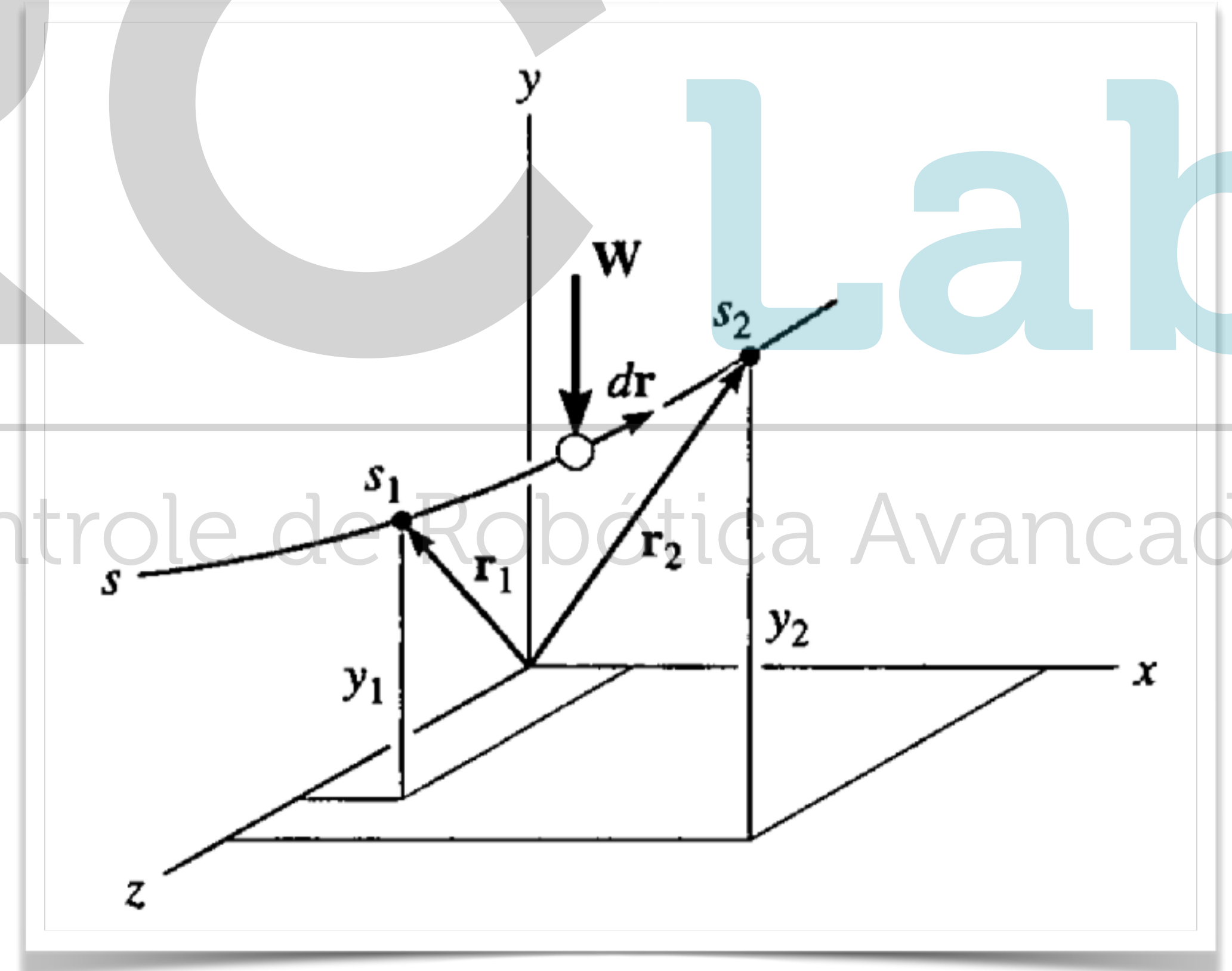
Casos particulares



força peso: trabalho só na
direção vertical:

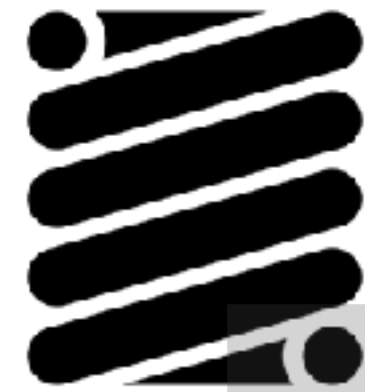
$$U = F_c \cos\theta \Delta s$$

$$U = -W \Delta y$$



Laboratório de Controle de Robótica Avançada

Casos particulares



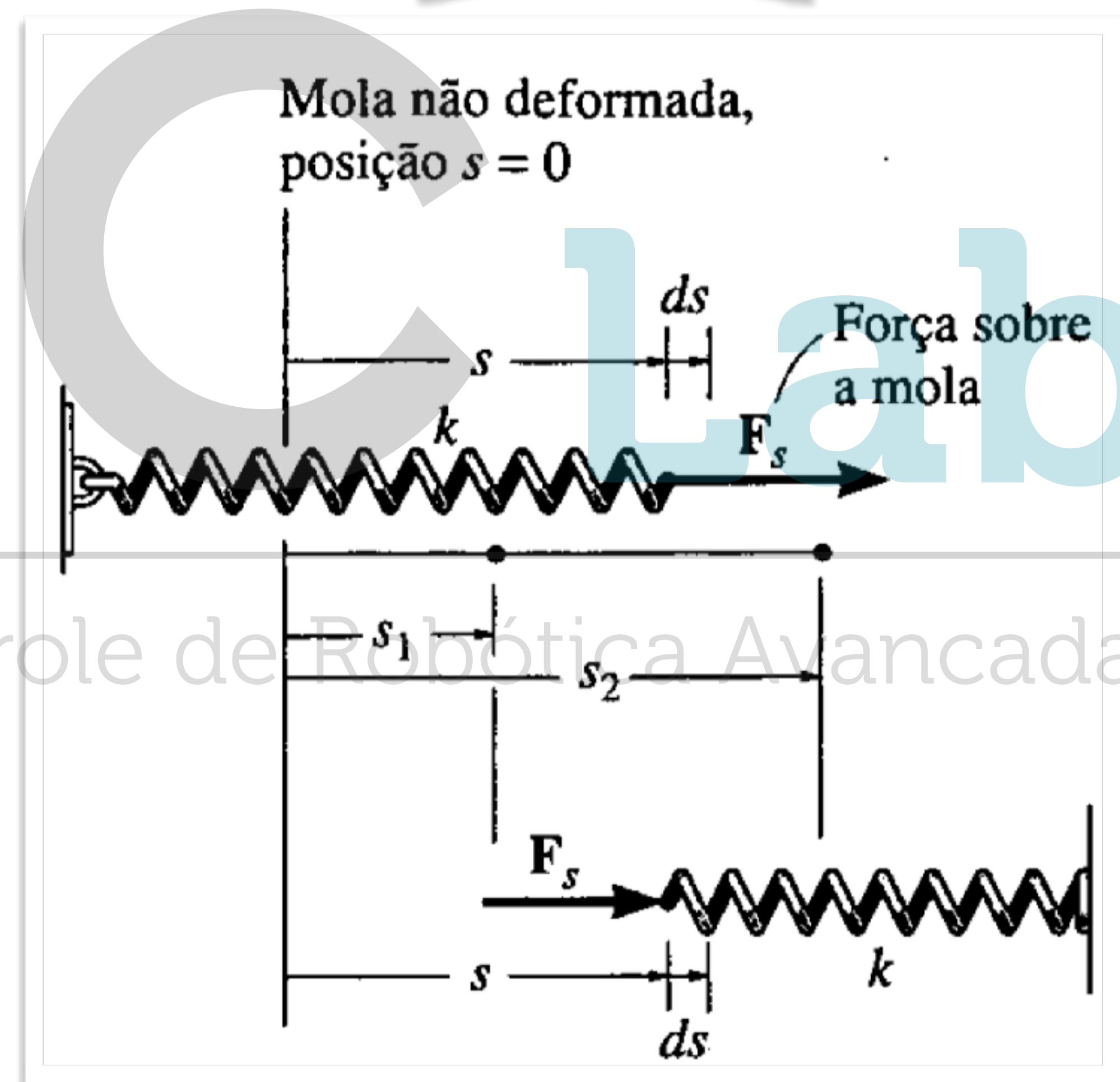
força de uma mola

$$F_s = ks$$

$$U = \int_{s_1}^{s_2} F_s ds$$

$$F_s ds = k \int_{s_1}^{s_2} s ds$$

$$U = \frac{1}{2} k (s_2^2 - s_1^2)$$



Laboratório de Controle de Robótica Avançada

Conteúdo

- Trabalho de uma força
- **Potência e eficiência**
- Princípio do trabalho e energia

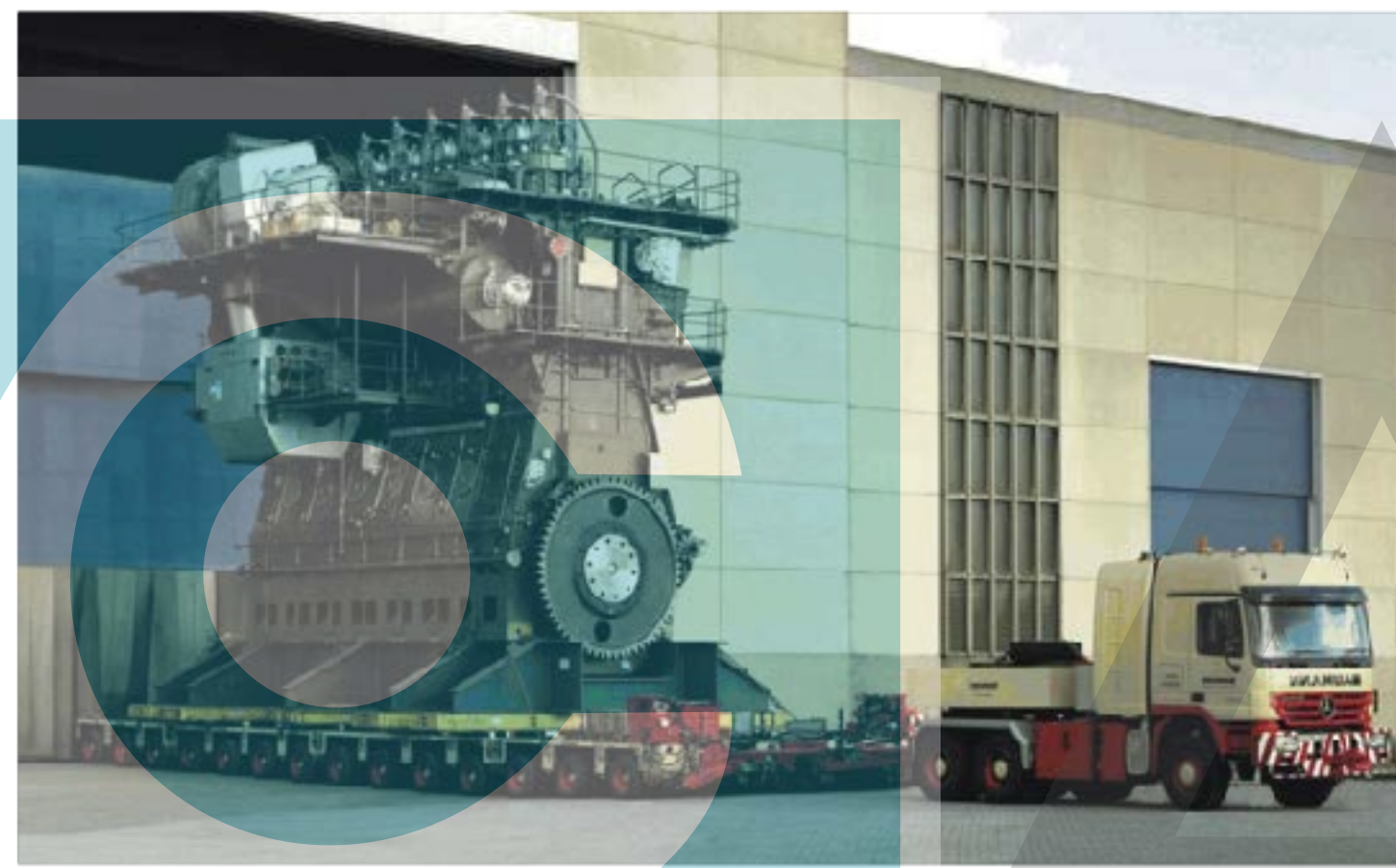
Trabalho e energia

- **“Take-home messages”**
- **Próxima aula**

Conclusão

Potência!

110.000 cv



Wartsila-Sulzer RTA96-C

1500 cv



W16 quad-turbocharged



Emma Marsk Ship



2016 Bugatti Chiron

Trabalho e energia

Conclusão

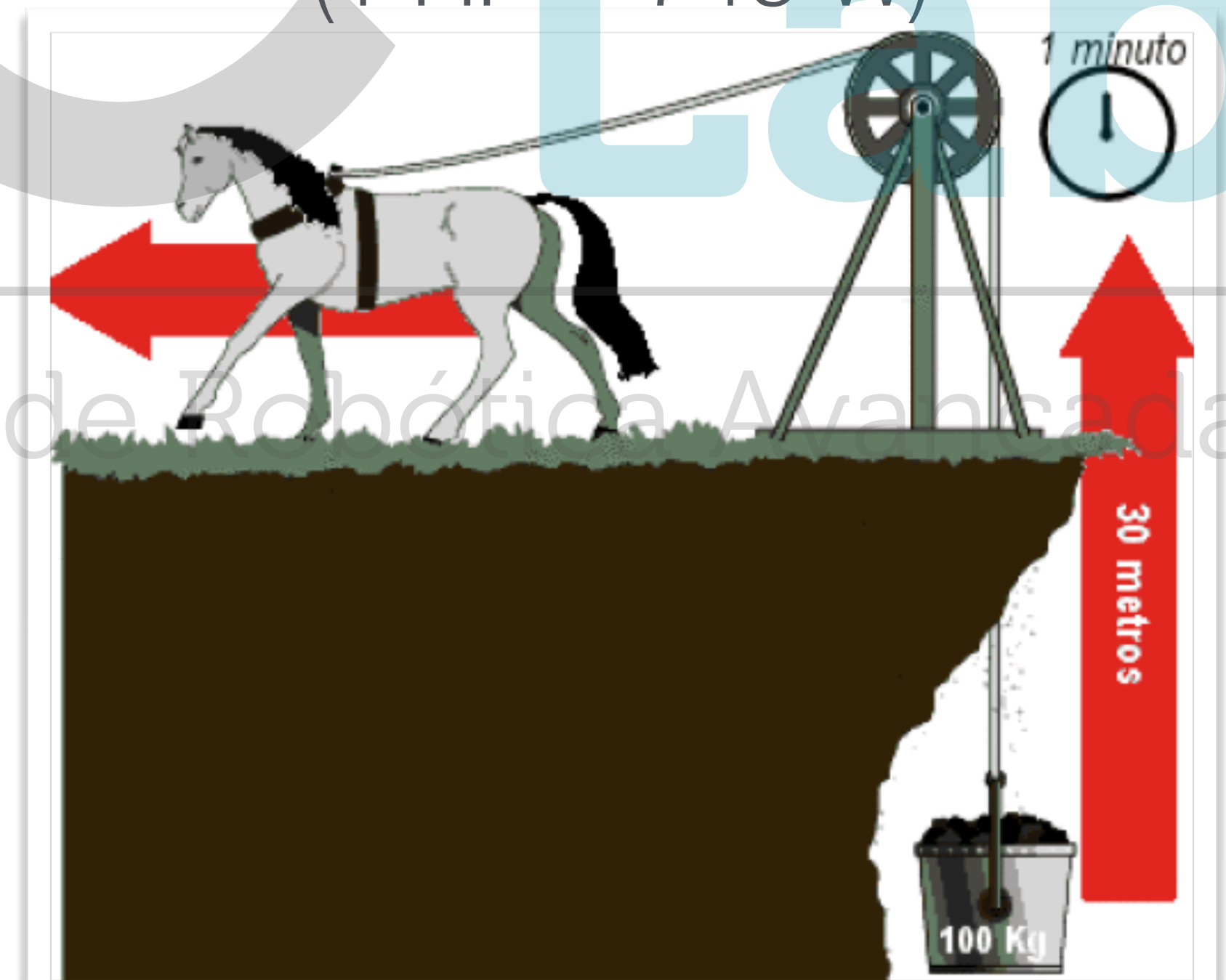
Potência



Potência:
taxa de variação temporal do trabalho

$$P \equiv \frac{dU}{dt}$$

Horse power
(1 HP = 746 W)



escalar

Watt
(1 W = 1 J/s)

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

Potência

$$P \equiv \frac{dU}{dt}$$

$$dU = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

$$P = \frac{\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}}{dt}$$

Laboratório de Controle de Robótica Avancada

$$P = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}$$

Rendimento

Trabalho e energia



Conclusão



$$\epsilon = \frac{P_{saida}}{P_{entrada}} \leq 1$$

Conteúdo

- Trabalho de uma força
- Potência e eficiência
- **Princípio do trabalho e energia**

Trabalho e energia

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

Conclusão

Princípio do trabalho e energia

2ª lei de
Newton:

$$\mathbf{F}_R = \sum_i \mathbf{F}_i = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$

$$U = \int_{\mathbf{r}}^{\mathbf{r}'} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

$$U_{F_R} = \int_{r_1}^{r_2} \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r} = \int_{r_1}^{r_2} m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \cdot d\mathbf{r}$$

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

$$\sum_i \int_{r_1}^{r_2} \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r} = \int_{v_1}^{v_2} m\mathbf{v} \cdot d\mathbf{v}$$

Princípio do trabalho e energia

$$\sum_i \int_{r_1}^{r_2} \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r} = \int_{v_1}^{v_2} m\mathbf{v} \cdot d\mathbf{v}$$

$$\sum_i U_i = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

energia cinética:

$$T = \frac{1}{2}mv^2$$

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

$$\sum_i U_i = T_2 - T_1$$

Princípio do trabalho e energia

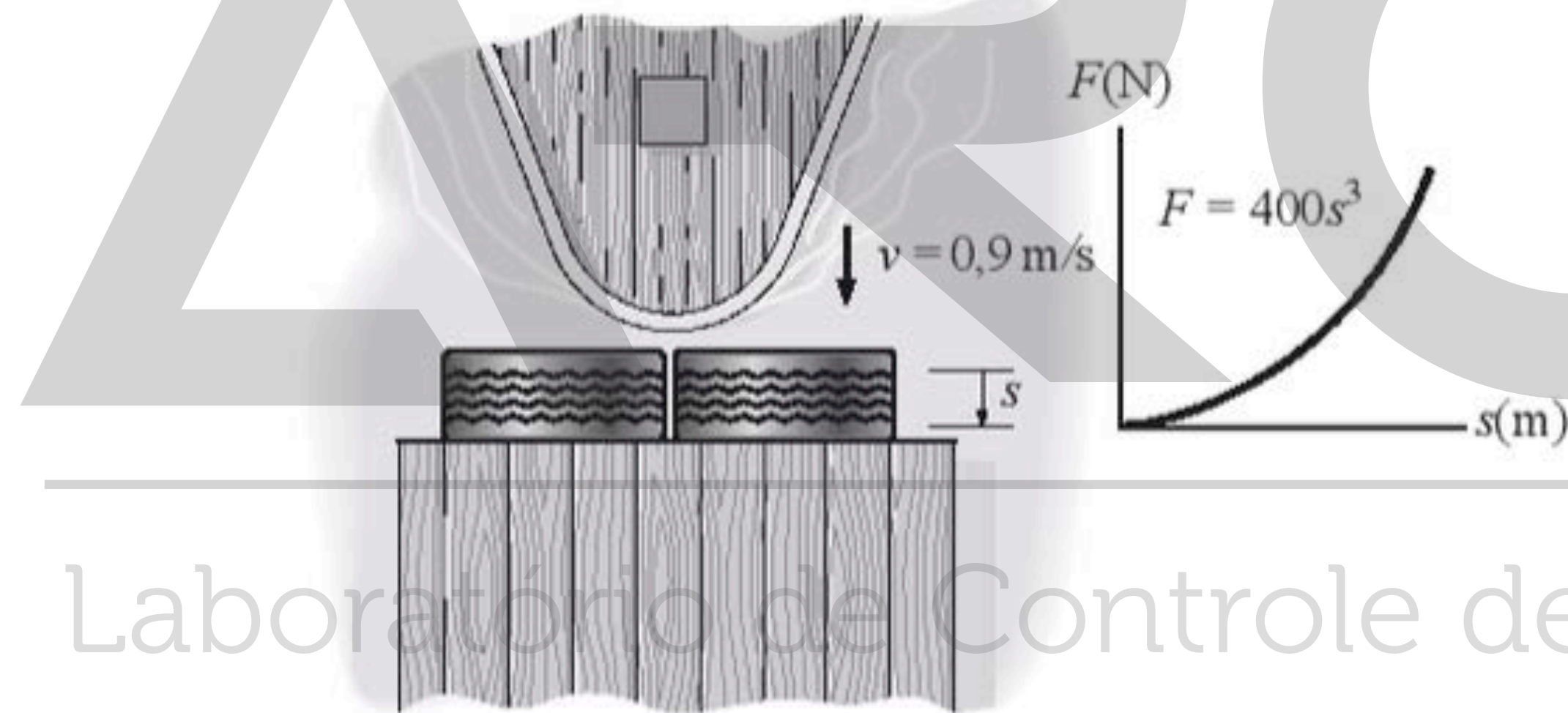
$$\sum_i U_i = T_2 - T_1$$

$$T_1 + \sum_i U_i = T_2$$

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

ARC Lab

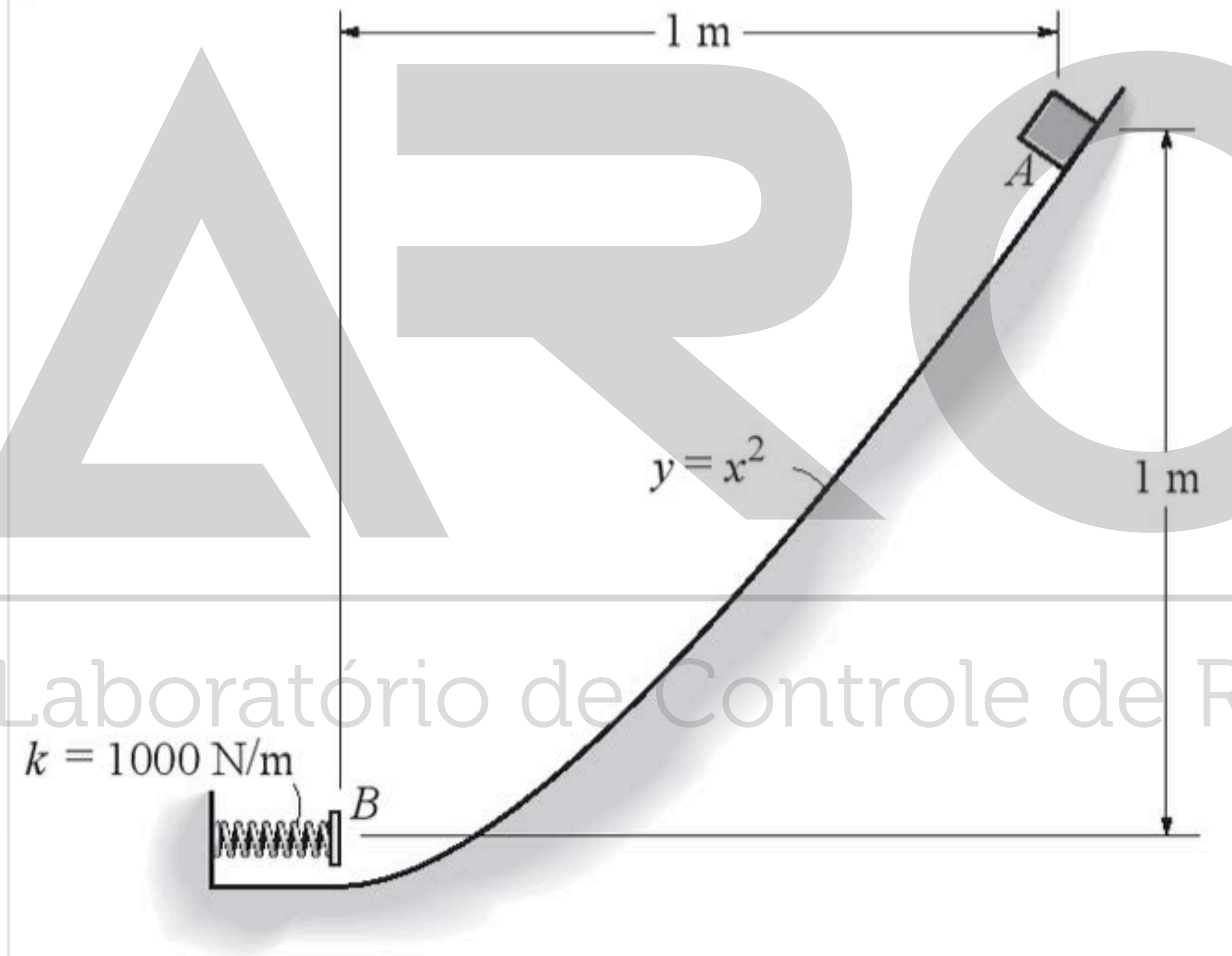
14.2. O movimento de um barco de 3.250 kg é impedido usando-se um para-choque que proporciona uma resistência como mostrado no gráfico. Determine a distância máxima que o barco amassa o para-choque se a sua velocidade de aproximação é 0,9 m/s.



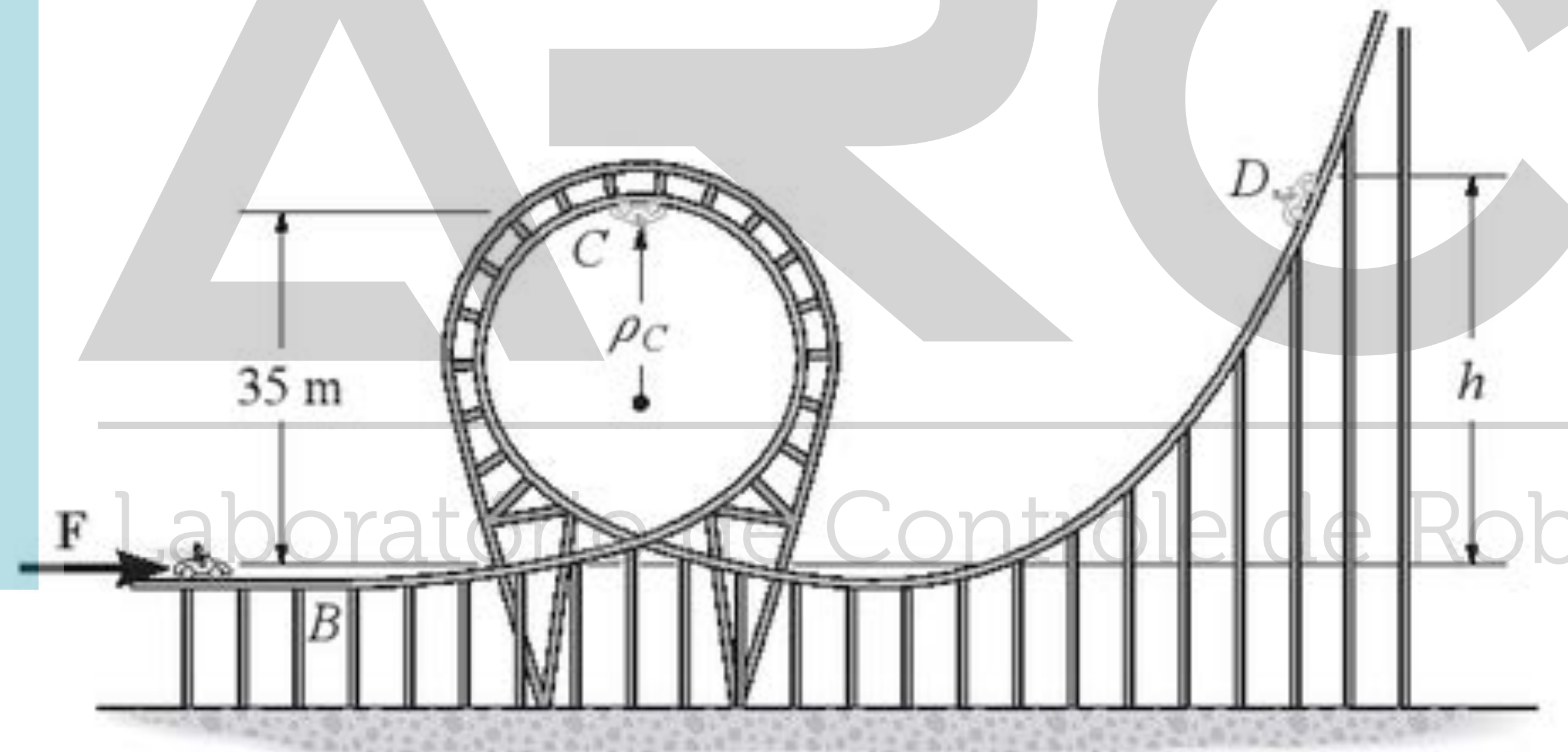
Problema 14.2

Laboratório de Controle de Robótica Avancada

14.7. O bloco de 3 kg é solto do repouso em A e escorrega para baixo pela superfície parabólica lisa. Determine a compressão máxima da mola.



14.19. Determine a altura h da rampa D que o carrinho da montanha-russa de 200 kg atingirá se for lançado em B com uma velocidade apenas suficiente para dar a volta no topo do *loop* em C sem deixar os trilhos. O raio de curvatura em C é $\rho_c = 25$ m.



Conteúdo

Trabalho e energia

ARC

Lab



- “Take-home messages”
- Próxima aula

Conclusão

Laboratório de Controle de Robótica Avançada

“Take-home messages”



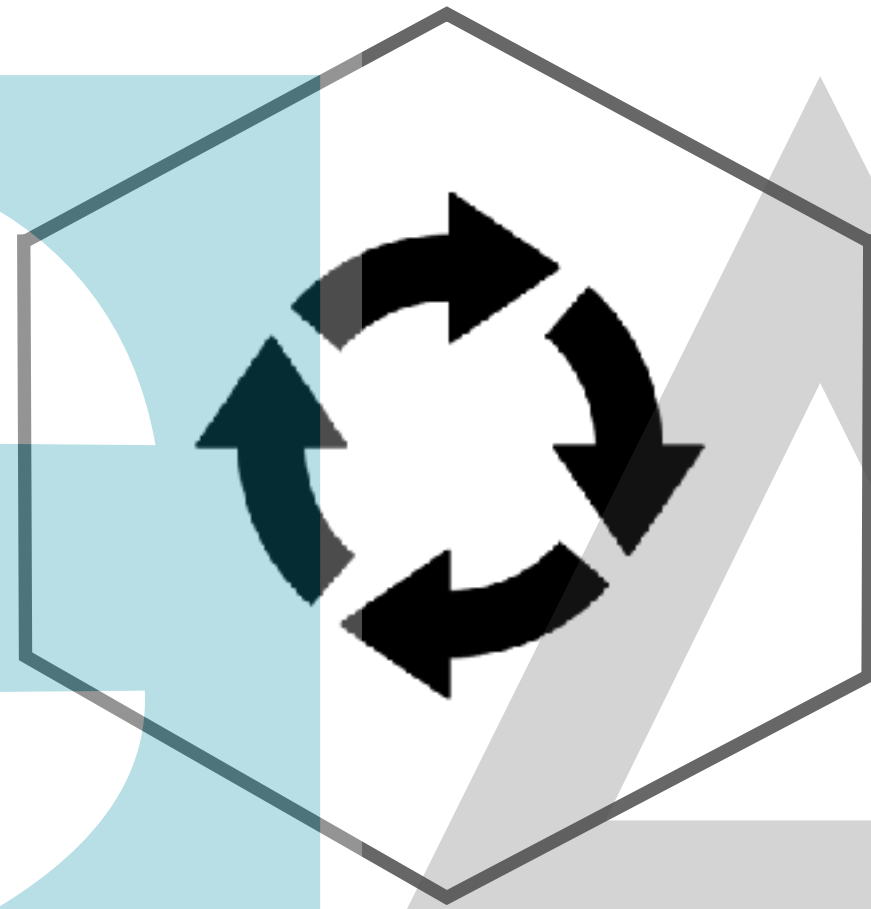
$$T_1 + \sum_i U_i = T_2$$

Doar não dói nada!

Princípio do trabalho e energia

Próxima aula...

Trabalho e energia



**Introduzir forças
conservativas e
energia potencial**
(Cap. 14.5 e 14.6)



**Desenvolver expressão
para energia cinética
em corpos rígidos**
(Cap. 18)

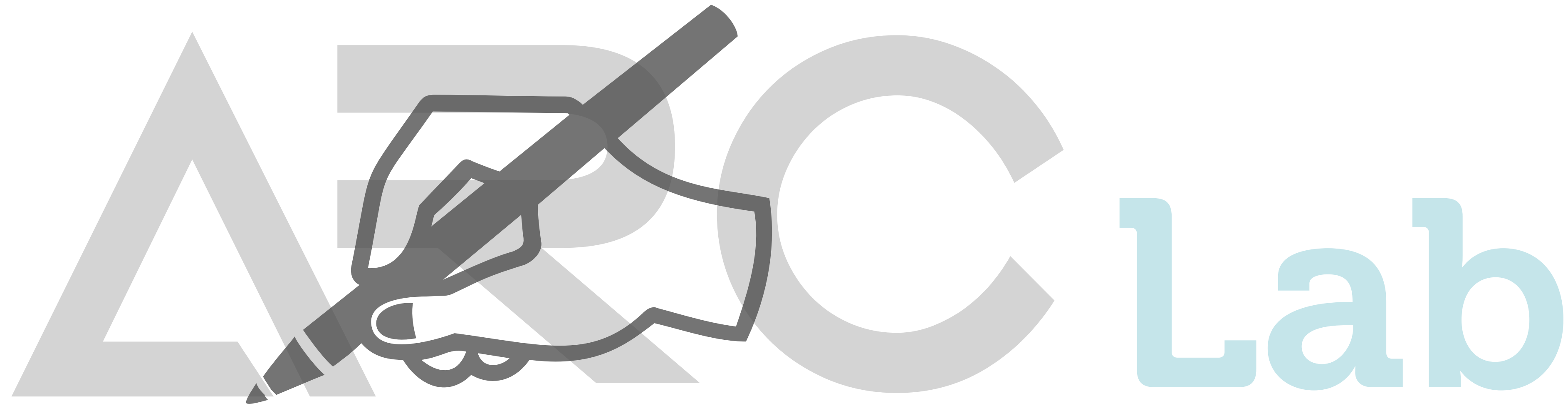
Conclusão

Lista de exercícios para próxima aula...

Trabalho e energia



Conclusão



Laboratório de Controle de Robótica Avancada

14.44, 14.34, 14.23, 14.18, 14.13



That's all Folks!

Laboratorio de Control de Robótica Avanzada