



DESIGN DE ESTRUTURAS AEROESPACIAIS

Daniel Afonso
Escola Superior Aveiro Norte,
Universidade de Aveiro
Centro de Tecnologia Mecânica e
Automação (TEMA)
dan@ua.pt www.ua.pt/pt/p/16609746

SUMÁRIO

Cinemática de mecanismos

- Movimento e graus de liberdade
- Relação entre movimento de rotação e traslação
- Transmissão de movimento

Mecanismos simples

- Fórmula de mobilidade
- Exemplos de mecanismos simples



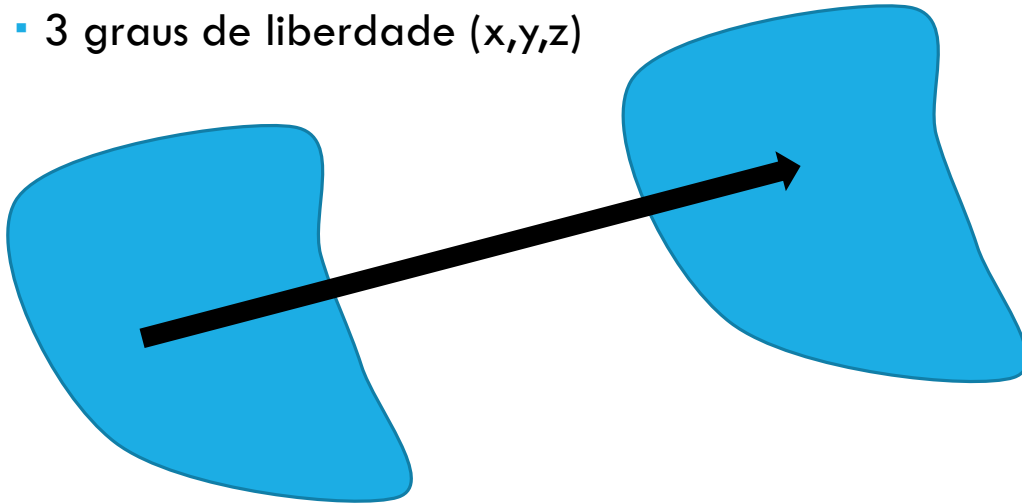
CINEMÁTICA DE MECANISMOS

Movimento e
conversão de
movimento

MOVIMENTO DE UM CORPO

Translação

- 3 graus de liberdade (x, y, z)



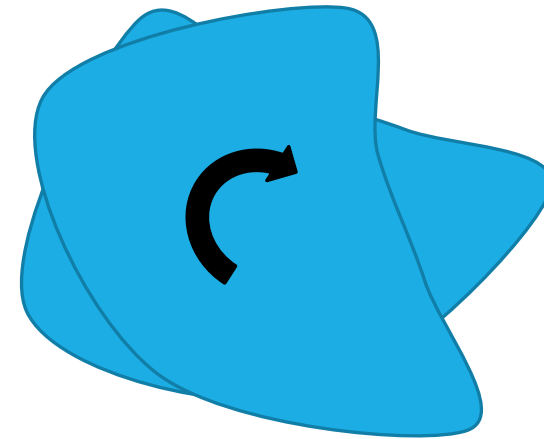
δ – deslocamento (mm) $\neq \Delta s$ – percurso (mm)

v – velocidade (mm/s)

a – aceleração (mm/s²)

Rotação

- 3 graus de liberdade (R_x, R_y, R_z)



θ ou n – rotação (rad ou r)

ω – velocidade angular (rad/s ou rpm)

α – aceleração angular (rad/s²)

MOVIMENTO DE UM CORPO

Translação

- δ – deslocamento (mm)

$$\delta = \int v \, dt$$

- v – velocidade (mm/s)

$$v = \frac{d\delta}{dt} \quad v = \int a \, dt$$

- a – aceleração (mm/s²)

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Rotação

- θ ou n – rotação (rad ou r)

$$\theta = \int \omega \, dt$$

- ω – velocidade angular (rad/s ou rpm)

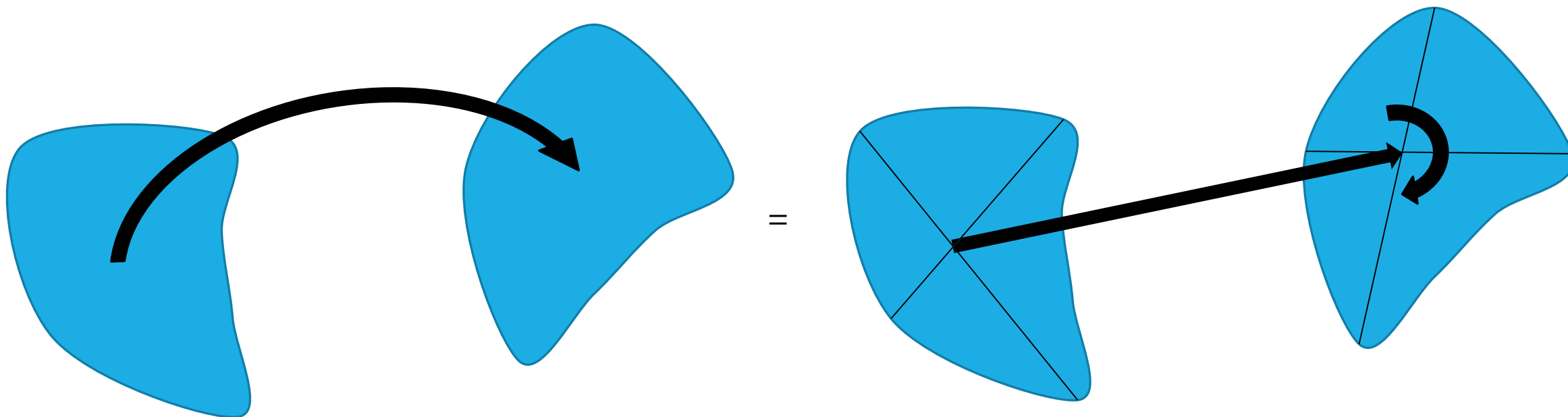
$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \omega = \int \alpha \, dt$$

- α – aceleração angular (rad/s²)

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

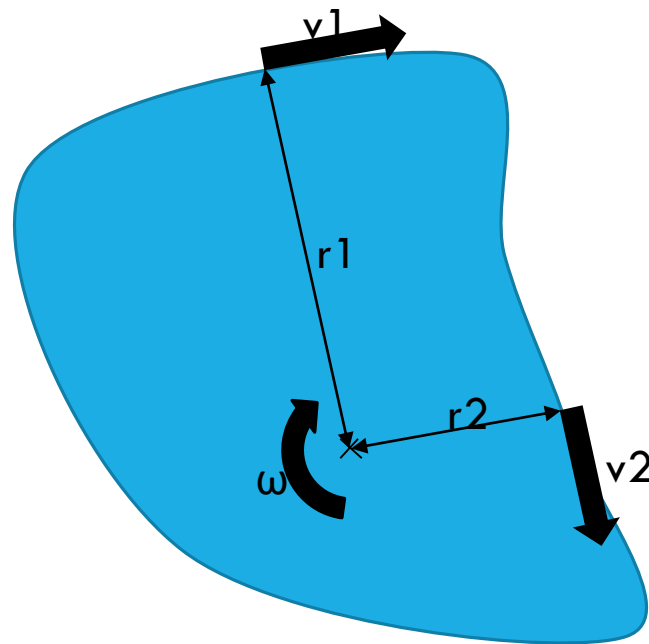
MOVIMENTO DE UM CORPO

Combinação de movimentos: translação + rotação



MOVIMENTO DE UM CORPO

Relação entre movimento de translação e movimento de rotação



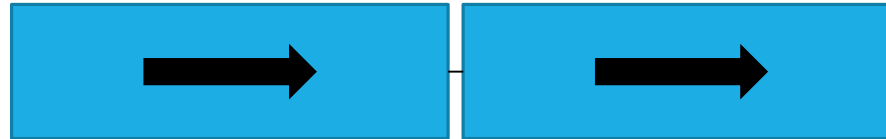
$$v_1 = \omega \cdot r_1$$

$$v_2 = \omega \cdot r_2$$

TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

Corpos rigidamente ligados (comportamento de uma estrutura)

Transmissão de translação em translação

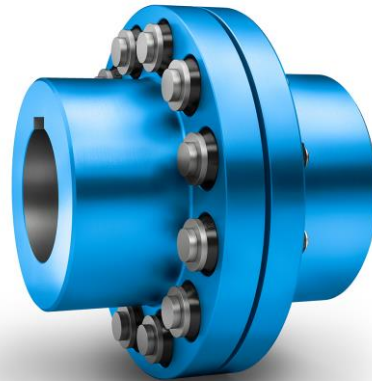


Transmissão de rotação em rotação (eixos colineares)



TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

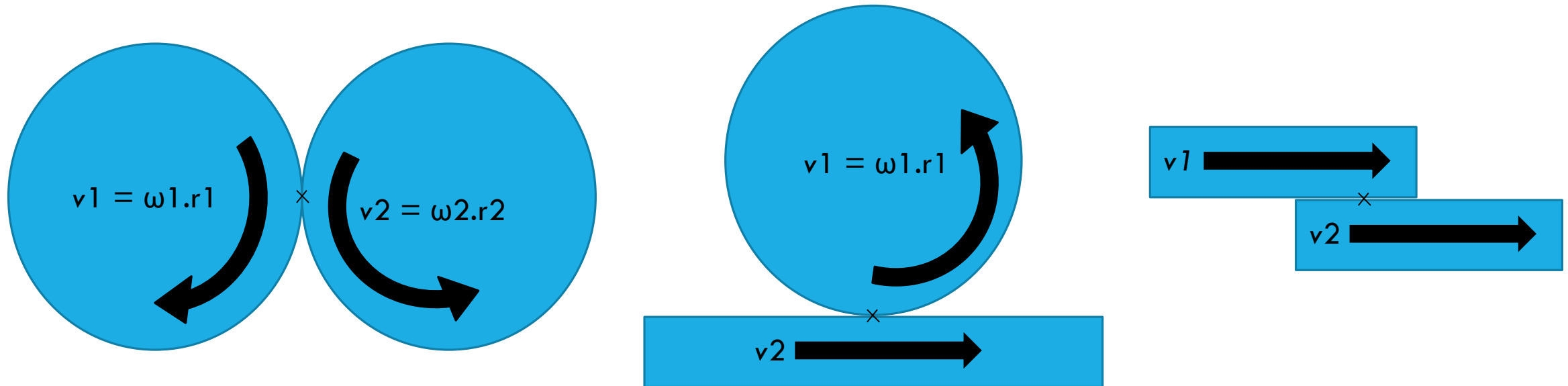
Corpos rigidamente ligados (comportamento de uma estrutura)



TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

Corpos ligados por atrito

Velocidade linear do ponto de contacto é comum em ambos os corpos



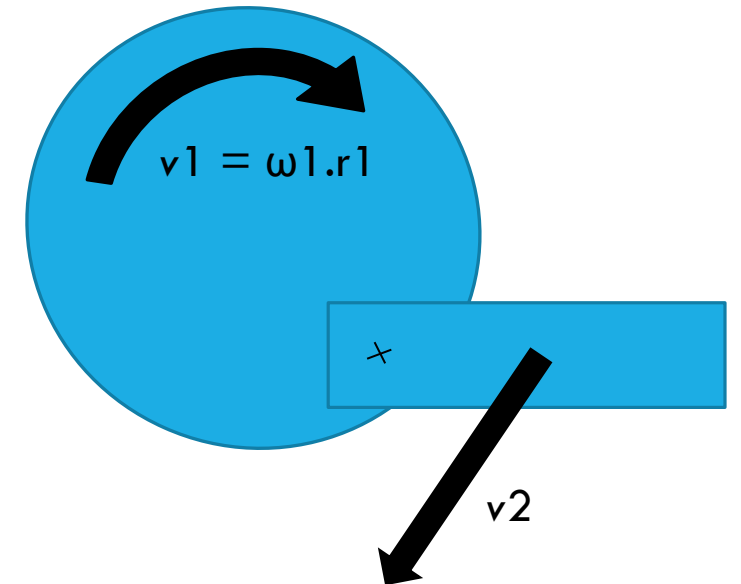
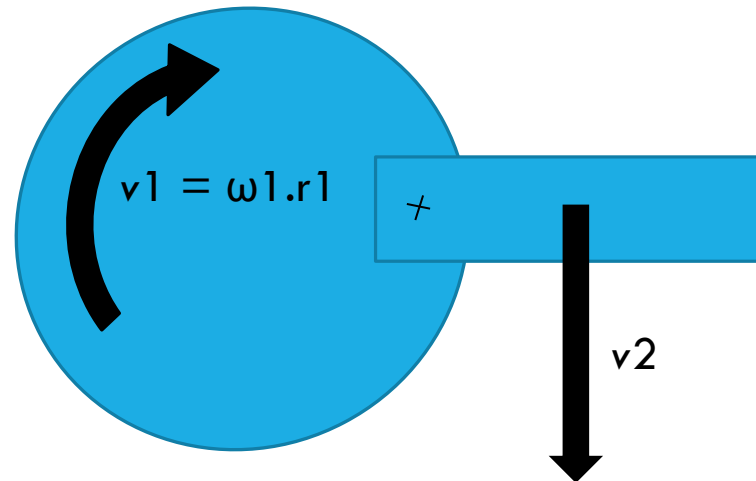
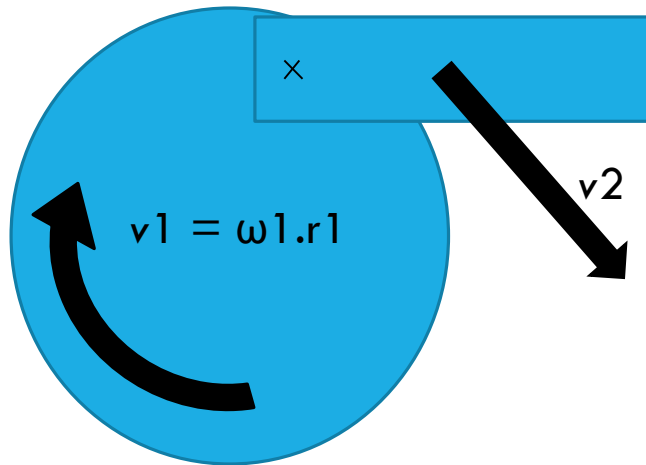
TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

Corpos ligados por atrito



TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

Corpos ligados por interferência mecânica



TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

Corpos ligados por interferência mecânica





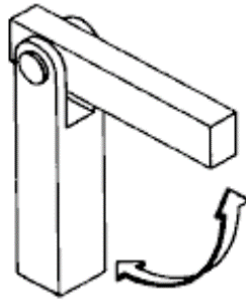
universidade de aveiro
theoria poiesis praxis



MECANISMOS SIMPLES

Movimento de
ligações
mecânicas simples

MECANISMO DE UM GRAU DE LIBERDADE



Mecanismo com junta rotacional

- 1 grau de liberdade de rotação livre
- 5 restrições de movimento
 - 3 graus de liberdade de translação restritos
 - 2 graus de liberdade de rotação restritos

Mecanismo com junta prismática

- 1 grau de liberdade de translação livre
- 5 restrições de movimento
 - 2 graus de liberdade de translação restritos
 - 3 graus de liberdade de rotação restritos



MECANISMO DE MÚLTIPLOS GRAUS DE LIBERDADE

Mobilidade de um mecanismo não restrito

$$M = n.6 = (N - 1).6$$

Número de corpos rígidos móveis

Número de corpos, incluindo o corpo fixo

Restrições de uma junta

$$c = 6 - f$$

Graus de liberdade livres de uma junta

Um mecanismo complexo combina mecanismos simples

Cada corpo rígido tem 6 graus de liberdade possíveis

- Cada junta rotacional ou prismática restringe 5 graus de liberdade
- Outros tipos de junta restringem um número inferior de graus de liberdade

Número de juntas de um mecanismo

Mobilidade de um mecanismo restrito

$$M = n.6 - \sum_{i=1}^j (6 - f_i)$$

$$\Leftrightarrow M = 6. (N - 1 - j) + \sum_{i=1}^j f_i$$

MECANISMO DE MÚLTIPLOS GRAUS DE LIBERDADE

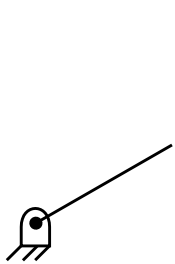
Mobilidade de um mecanismo no espaço

$$M = n.6 - \sum_{i=1}^j (6 - f_i)$$
$$\Leftrightarrow M = 6.(N - 1 - j) + \sum_{i=1}^j f_i$$

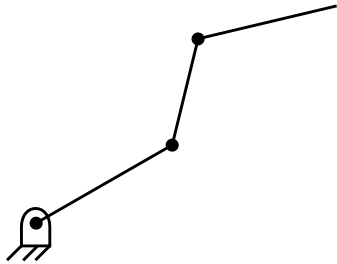
Mobilidade de um mecanismo no plano

$$M = n.3 - \sum_{i=1}^j (3 - f_i)$$
$$\Leftrightarrow M = 3.(N - 1 - j) + \sum_{i=1}^j f_i$$

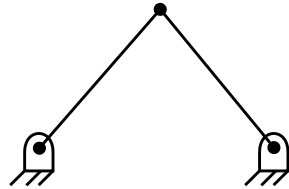
MECANISMO DE MÚLTIPLOS GRAUS DE LIBERDADE



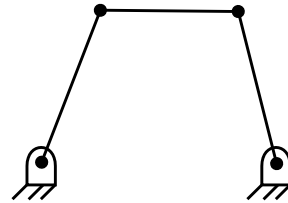
$$\begin{aligned} n &= 1 \\ N &= 2 \\ j &= 1 \\ f_i &= 1 \\ M &= 1 \end{aligned}$$



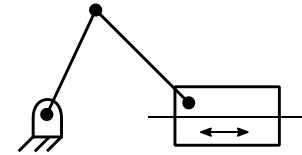
$$\begin{aligned} n &= 3 \\ N &= 4 \\ j &= 3 \\ f_i &= 1 \\ M &= 3 \end{aligned}$$



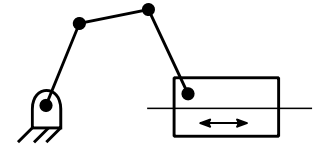
$$\begin{aligned} n &= 2 \\ N &= 3 \\ j &= 3 \\ f_i &= 1 \\ M &= 0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} n &= 3 \\ N &= 4 \\ j &= 4 \\ f_i &= 1 \\ M &= 1 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} n &= 3 \\ N &= 4 \\ j &= 4 \\ f_i &= 1 \\ M &= 1 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} n &= 4 \\ N &= 5 \\ j &= 5 \\ f_i &= 1 \\ M &= 2 \end{aligned}$$

MECANISMO DE MÚLTIPLOS GRAUS DE LIBERDADE

Cadeia simples aberta

$$\begin{aligned} N &= j + 1 \\ \Rightarrow M &= 6 \cdot (j + 1 - 1 - j) + \sum_{i=1}^j f_i \\ \Leftrightarrow M &= \sum_{i=1}^j f_i \end{aligned}$$

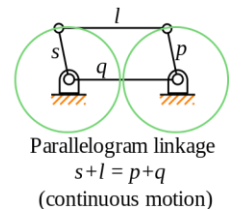
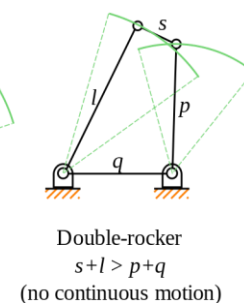
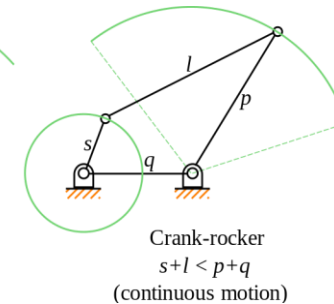
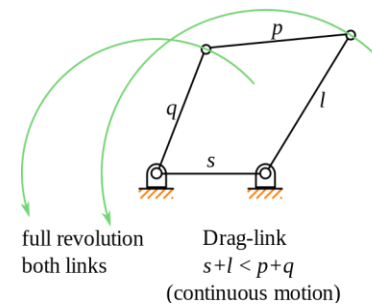
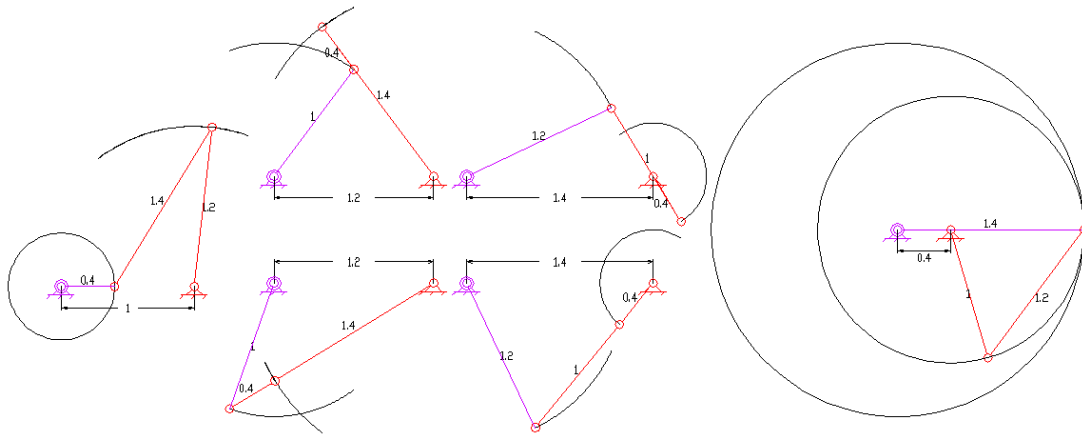
Cadeia simples fechada

$$\begin{aligned} N &= j \\ \Rightarrow M &= 6 \cdot (j - 1 - j) + \sum_{i=1}^j f_i \\ \Leftrightarrow M &= \sum_{i=1}^j f_i - 6; \text{ no plano } M = \sum_{i=1}^j f_i - 3 \end{aligned}$$

EXEMPLOS DE MECANISMOS SIMPLES

Mecanismo de 4 barras (3 móveis e uma fixa)

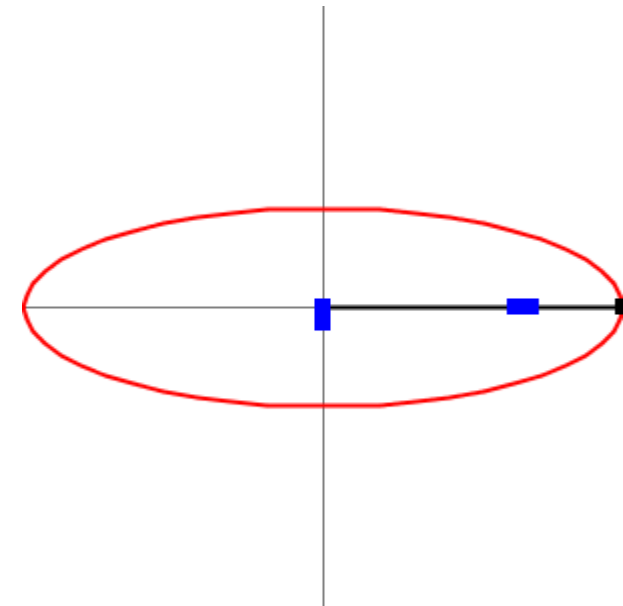
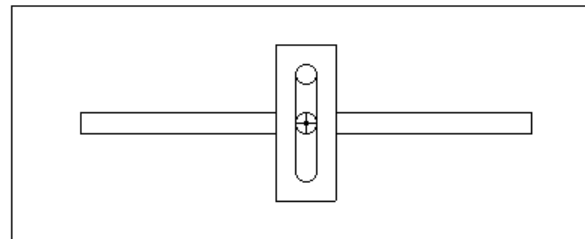
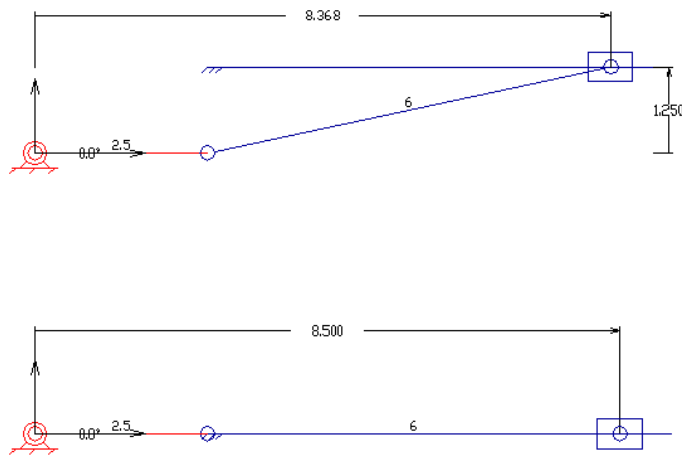
- Mecanismos de juntas RRRR (4R)



EXEMPLOS DE MECANISMOS SIMPLES

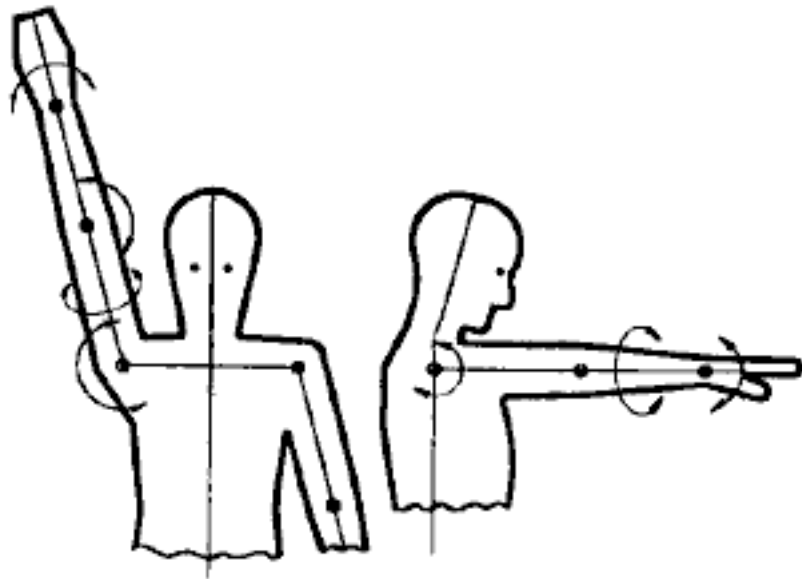
Mecanismo de 4 barras (3 móveis e uma fixa)

- Mecanismos de juntas RRRP (3R1P) e PRPR / RPRP (2R2P)



EXEMPLOS DE MECANISMOS SIMPLES

Braço humano



<i>Junta</i>	<i>Tipo</i>	<i>Graus de liberdade (DOF)</i>
Ombro (<i>Shoulder</i>)	Esférica	3
Cotovelo (<i>Elbow</i>)	Rotacional	1
Pulso (<i>Wrist</i>)	Esférica	3