universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

LEA
ENGENHARIA AEROESPACIAL
LICENCIATURA

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

Mecanismos simples e complexos

- Cinemática de mecanismos
- Dinâmica de mecanismos
- Exemplos de mecanismos
- Balanceamento

Mecanismos superconstrangidos

- Definição de mecanismos superconstrangidos
- Exemplos de mecanismos super constrangidos

universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

LEA
ENGENHARIA AEROESPACIAL
LICENCIATURA

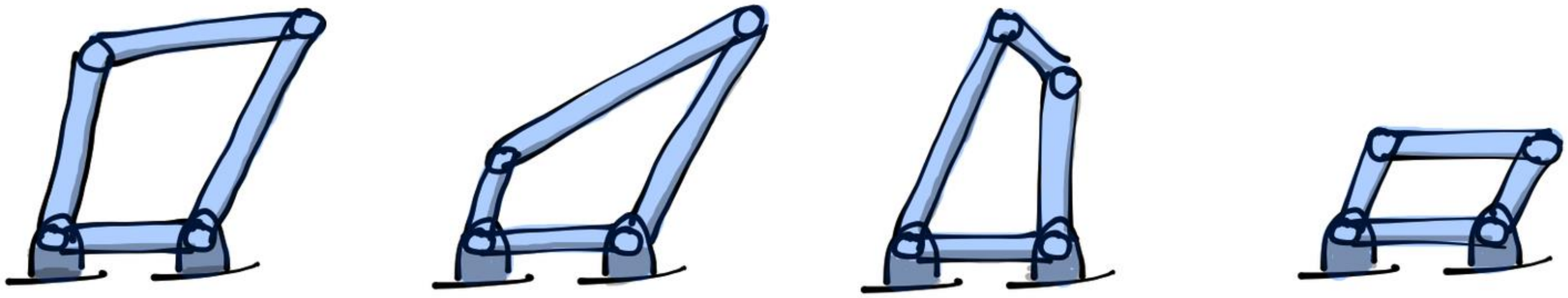
MECANISMOS SIMPLES E COMPLEXOS

Exemplos de mecanismos

CINEMÁTICA

Estudo do movimento de corpos rígidos

- Determinação da variação de posição, velocidade e aceleração de todas as partículas que formam um corpo ao longo do tempo
- Considerações geométricas de um mecanismo



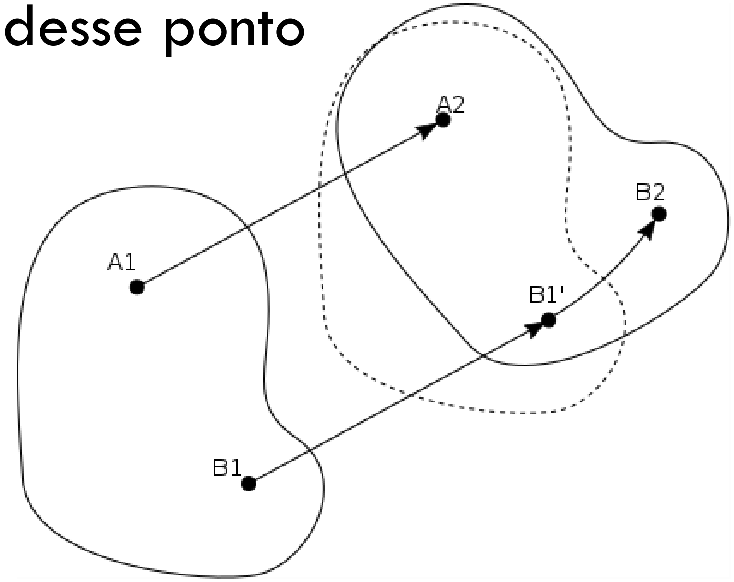
CINEMÁTICA

O movimento de um corpo genérico é a soma de uma translação e uma rotação

- A velocidade de um ponto é igual à velocidade de translação do centro de rotação mais a velocidade rotação em torno desse ponto

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{B/A}$$

$$\vec{v}_{B/A} = \vec{\omega} \times \vec{r}_{B/A}$$



CINEMÁTICA

A aceleração de um ponto é a derivada da velocidade

$$\vec{a_i} = \frac{d\vec{v_i}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{\omega_i} \times \vec{r_i}) = \frac{d\vec{\omega_i}}{dt} \times \vec{r_i} + \vec{\omega_i} \times \frac{d\vec{r_i}}{dt} = \frac{d\vec{\omega_i}}{dt} \times \vec{r_i} + \vec{\omega_i} \times \vec{v_i}$$

$$\frac{d\vec{\omega_i}}{dt} = \alpha.\vec{k} = \dot{\omega}.\vec{k} = \ddot{\theta}.\vec{k} \quad \Rightarrow \vec{a_i} = \vec{\alpha_i} \times \vec{r_i} + \vec{\omega_i} \times \vec{v_i} = \vec{\alpha_i} \times \vec{r_i} + \vec{\omega_i} \times \vec{\omega_i} \times \vec{r_i}$$

$\vec{\alpha_i} \times \vec{r_i}$ – componente tangencial da aceleração
$\vec{\omega_i} \times \vec{\omega_i} \times \vec{r_i}$ – componente radial da aceleração

CINEMÁTICA

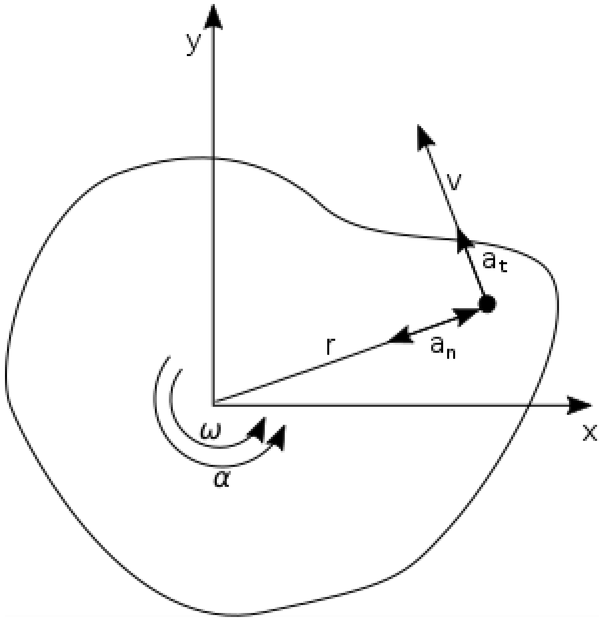
A aceleração de um ponto é a derivada da velocidade

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \Rightarrow v = r.\omega$$

$$\vec{a} = \vec{\alpha} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\Leftrightarrow \vec{a} = \alpha.\vec{k}.\times \vec{r} - \omega^2.\vec{r}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \vec{a}_t = \alpha.\vec{k}.\times \vec{r} & a_t = r.\alpha \\ \vec{a}_n = -\omega^2.\vec{r} & a_n = r.\omega^2 \end{cases}$$



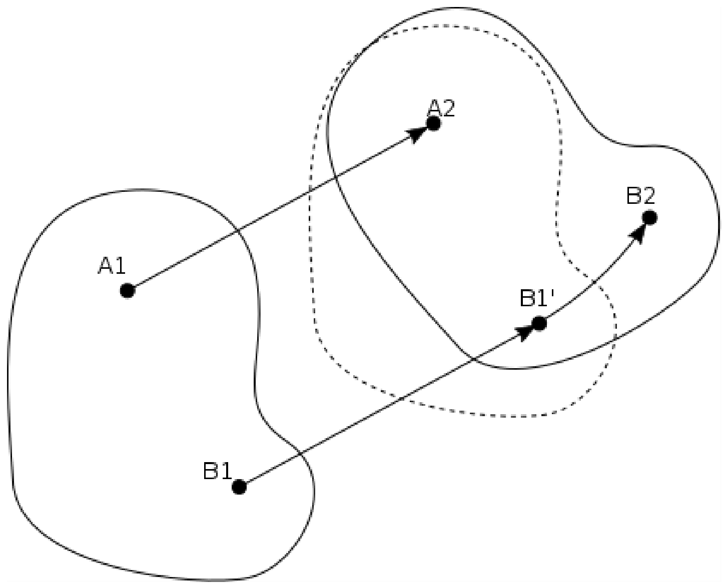
CINEMÁTICA

O movimento de um corpo genérico é a soma de uma translação e uma rotação

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{B/A}$$

$$\left(\vec{a}_{B/A}\right)_t = \alpha.\vec{k} \times \vec{r}_{B/A} \qquad \left(a_{B/A}\right)_t = \alpha.r$$

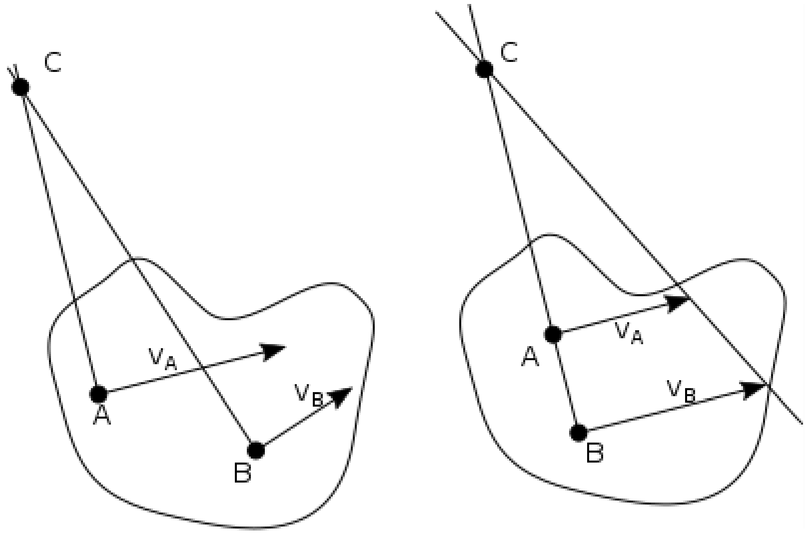
$$\left(\vec{a}_{B/A}\right)_n = -\omega^2.\vec{r}_{B/A} \qquad \left(a_{B/A}\right)_n = \omega^2.r$$



CINEMÁTICA

Um movimento genérico pode ser descrito com uma rotação pura

- O movimento pode ser descrito como a rotação em torno do centro instantâneo de rotação
- O centro instantâneo de rotação encontra-se na interseção das perpendiculares dos vetores velocidade ou na interseção da linha que une as extremidades dos vetores, caso sejam perpendiculares à mesma linha



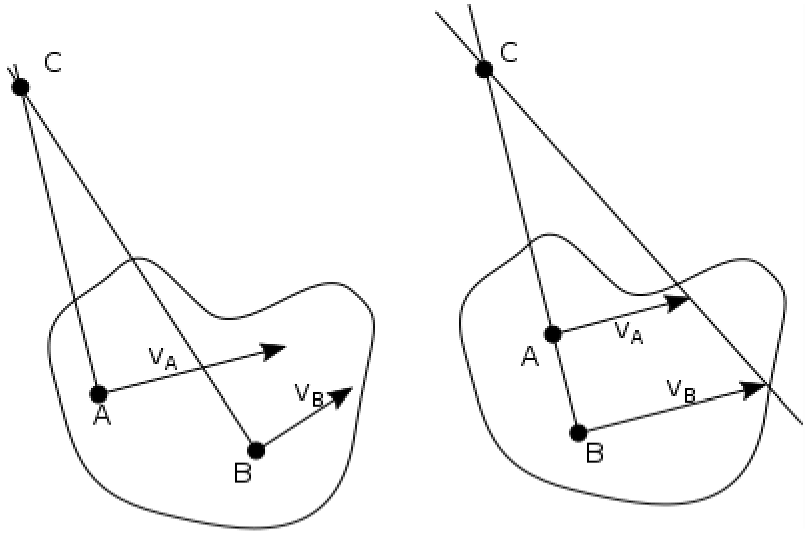
CINEMÁTICA

Um movimento genérico pode ser descrito com uma rotação pura

- O centro instantâneo de rotação permite relacionar velocidades de dois pontos

$$\omega = \frac{v_A}{AC} = \frac{v_B}{BC}$$

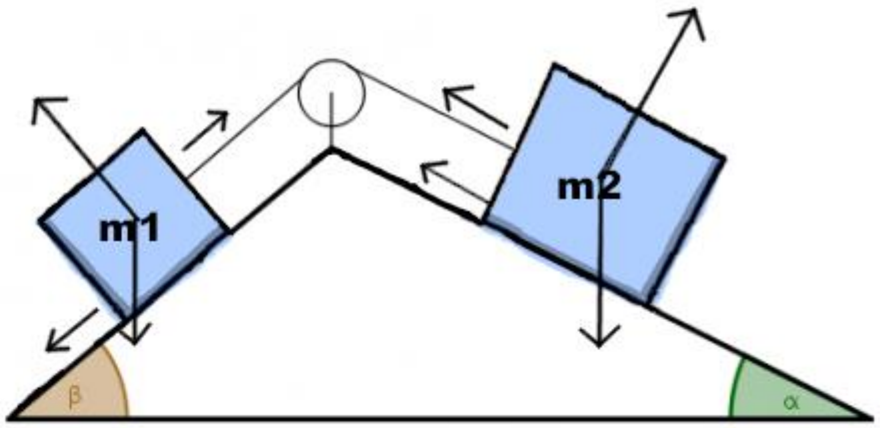
- Todos os pontos do corpo rodam em torno de C com a mesma velocidade angular em cada instante



DINÂMICA

Estudo do movimento de um corpo: Cinemática + Cinética

- Cinética – estudo das forças associadas ao movimento
  - Considera forças externas, massa, velocidade, aceleração, posição



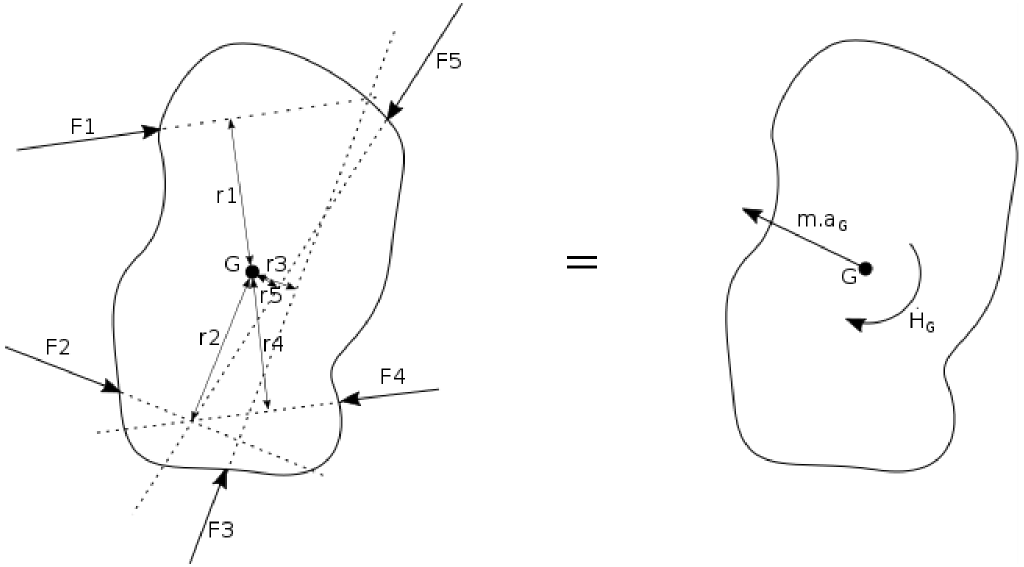
DINÂMICA

O movimento do centro de massa é descrito soma das forças igual a massa vezes aceleração linear

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$

A rotação em torno do centro de massa é descrita pela soma dos momentos igual ao momento angular

$$\sum \overrightarrow{M_G} = \dot{\overrightarrow{H_G}} = I.\dot{\vec{\omega}}$$



DINÂMICA DE UM CORPO NO PLANO

O movimento de um corpo é definido pelo princípio de d'Alembert

- As forças externas que atuam sobre um corpo rígido são equivalentes às forças efetivas das várias partículas que formam o corpo.

$$\sum F_x = m.a_{G_x} \qquad \sum F_y = m.a_{G_y} \qquad \sum M_G = I.\alpha$$

(as equações são validas para uma placa simétrica em relação ao plano de referencia.)
(as equações não são validas para placas não simétricas ou para um movimento 3D genérico.)

DINÂMICA DE UM CORPO NO ESPAÇO

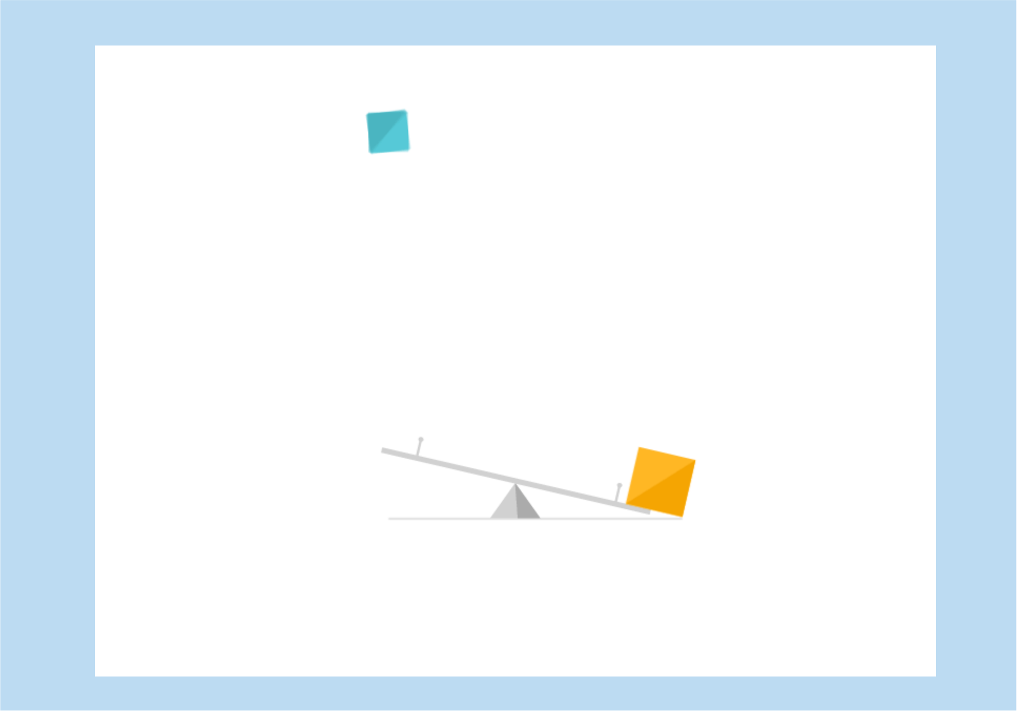
$$\sum F_x = m.a_{G\,x} \qquad \sum F_y = m.a_{G\,y} \qquad \sum F_z = m.a_{G\,z}$$

$$\sum M_{G\,x} = I_{G_x}.\alpha_x - \left(I_{G_y} - I_{G_z}\right).\omega_y.\omega_z - I_{G_{xy}}.\left(\alpha_y - \omega_z.\omega_x\right) - I_{G_{yz}}.\left(\omega_y^2 - \omega_z^2\right) - I_{G_{xz}}.\left(\alpha_z - \omega_x.\omega_y\right)$$

$$\sum M_{G\,y} = I_{G_y}.\alpha_y - \left(I_{G_z} - I_{G_x}\right).\omega_z.\omega_x - I_{G_{yz}}.\left(\alpha_z - \omega_x.\omega_y\right) - I_{G_{zx}}.\left(\omega_z^2 - \omega_x^2\right) - I_{G_{xy}}.\left(\alpha_x - \omega_y.\omega_z\right)$$

$$\sum M_{G\,z} = I_{G_z}.\alpha_z - \left(I_{G_x} - I_{G_y}\right).\omega_x.\omega_y - I_{G_{zx}}.\left(\alpha_x - \omega_y.\omega_z\right) - I_{G_{xy}}.\left(\omega_x^2 - \omega_y^2\right) - I_{G_{yz}}.\left(\alpha_y - \omega_z.\omega_x\right)$$

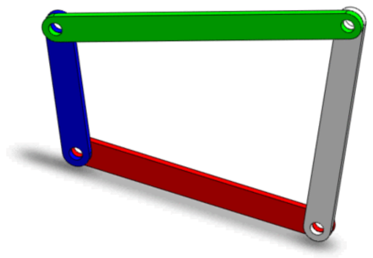
EXEMPLOS DE MECANISMOS



Alavanca

- Sincronização de dois movimentos
- Relação entre força entre dois pontos

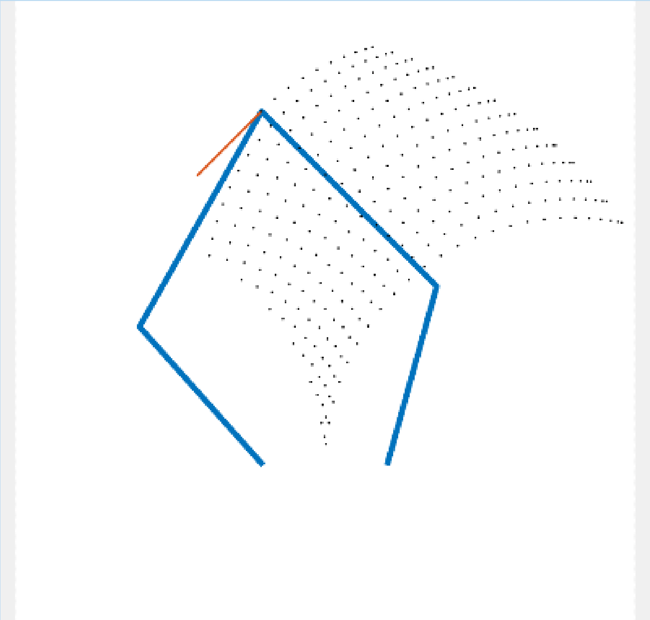
EXEMPLOS DE MECANISMOS



Mecanismo de 4 barras

Relação entre múltiplos movimentos de rotação com um DOF

EXEMPLOS DE MECANISMOS

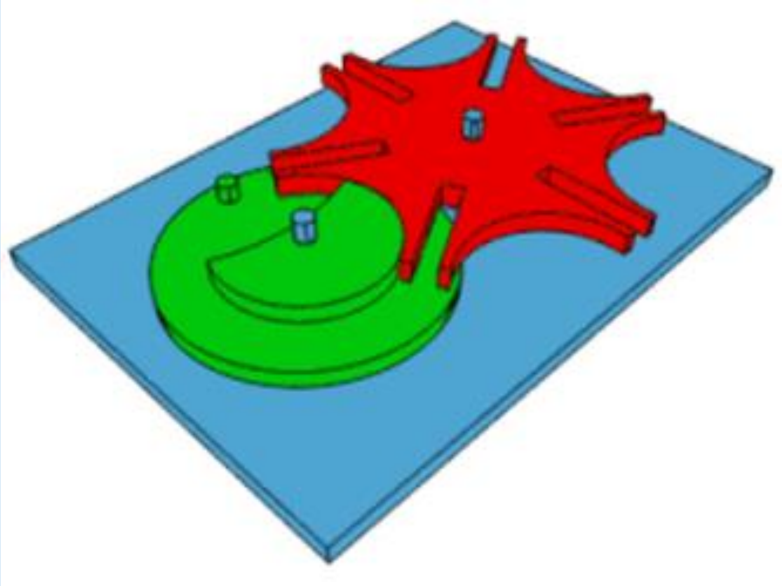


Mecanismo de 5 barras

Relação entre múltiplos movimentos de rotação com dois DOF

Posicionamento a 2 eixos

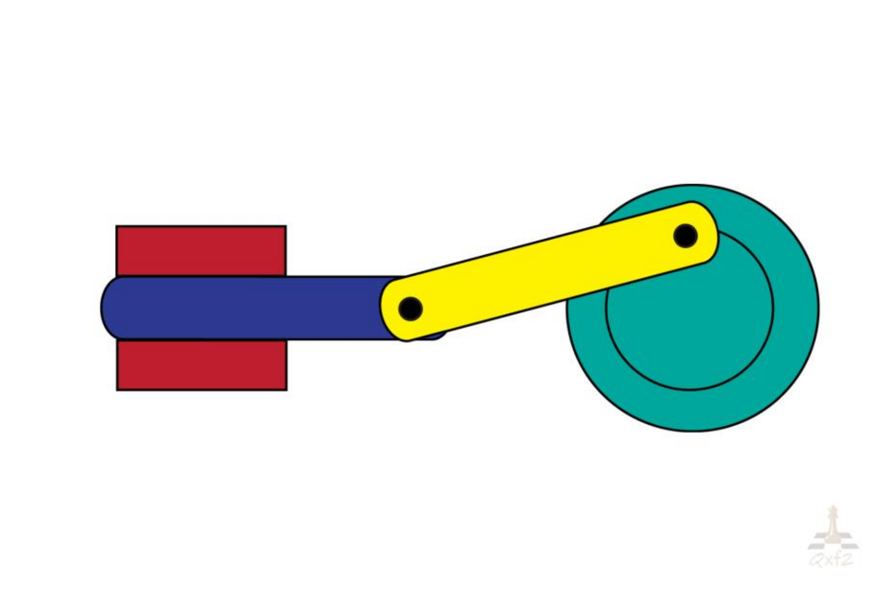
EXEMPLOS DE MECANISMOS



Mecanismo de Geneva

Conversão de movimento de rotação contínuo em movimento de rotação discreto

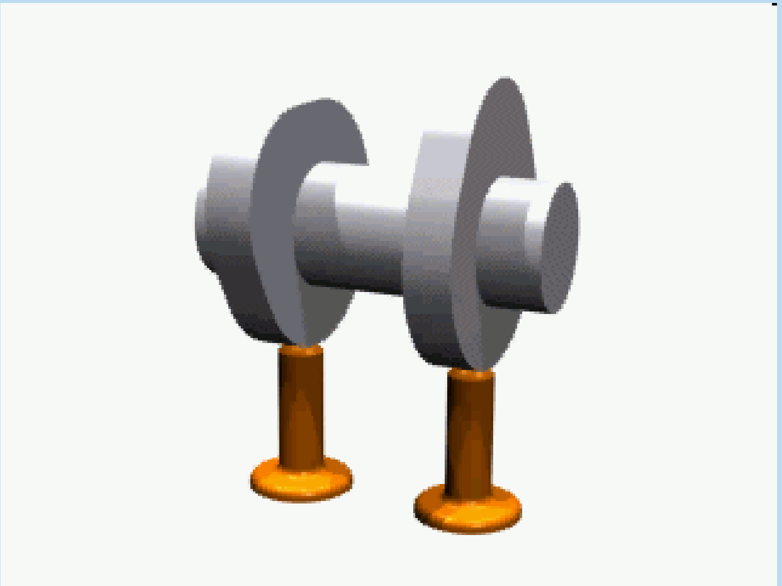
EXEMPLOS DE MECANISMOS



Biela - Manivela

Conversão de movimento de rotação em movimento de translação intermitente

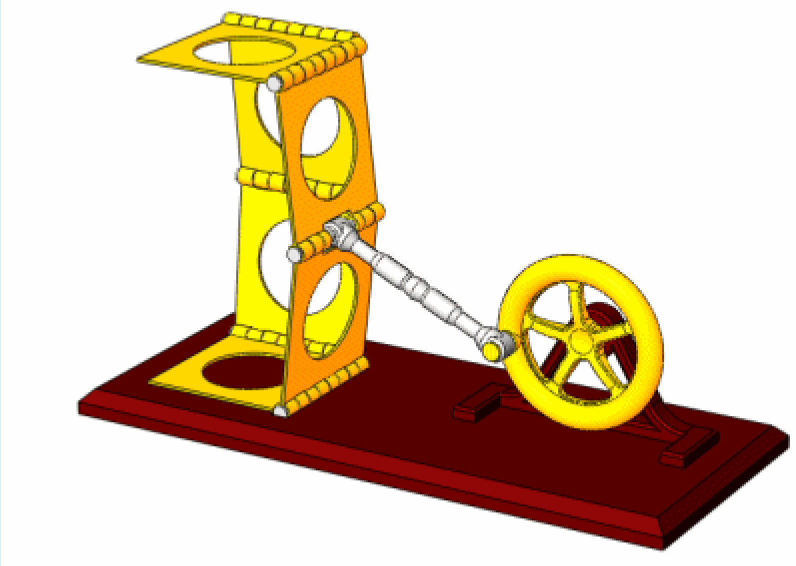
EXEMPLOS DE MECANISMOS



Came

- Conversão de movimento de rotação em movimento de translação intermitente
- Possível entre dois movimentos de rotação ou translação

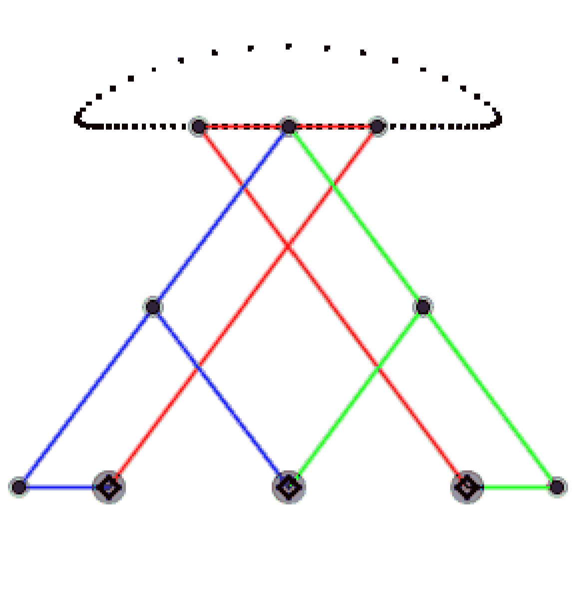
EXEMPLOS DE MECANISMOS



Mecanismo de Sarrus

Criação de movimento de translação a partir de movimento de rotação (sem juntas prismáticas)

EXEMPLOS DE MECANISMOS



Mecanismo de Chebyshev

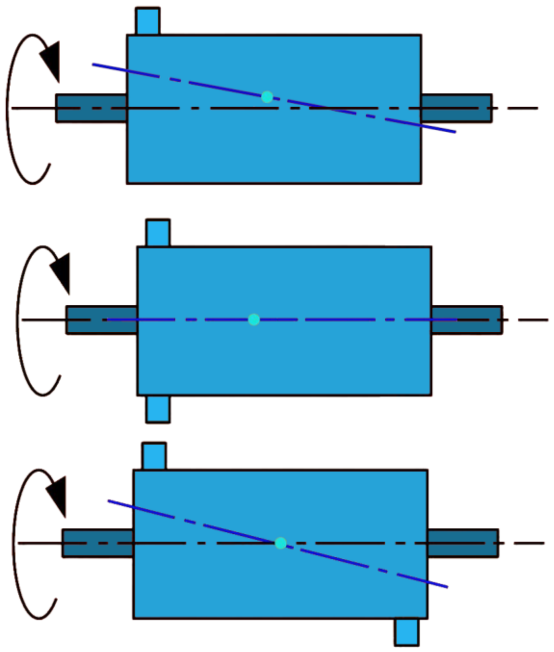
Criação de movimento de translação a partir de movimento de rotação (sem juntas prismáticas)

BALANCEAMENTO DE MECANISMOS

Desequilíbrio na distribuição de massa, força ou momentos pode provocar vibrações

- Elementos de rotação podem ser balanceados
  - Balanceamento da massa
  - Balanceamento de forças e momentos
- Balanceamento de elementos de translação é mais limitada

BALANCEAMENTO DE MECANISMOS

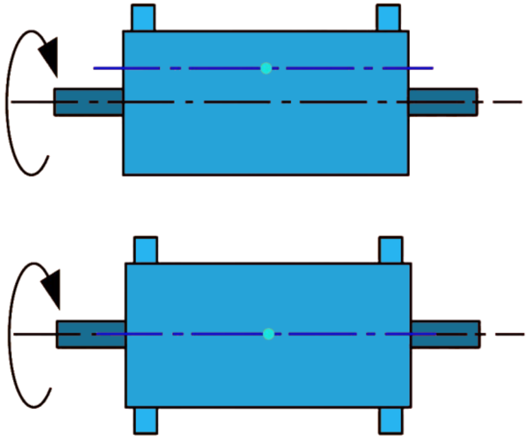


Balanceamento estático

- Impede o movimento não desejado de um sistema
- Considera equilíbrio de forças permanentes

Balanceamento dinâmico

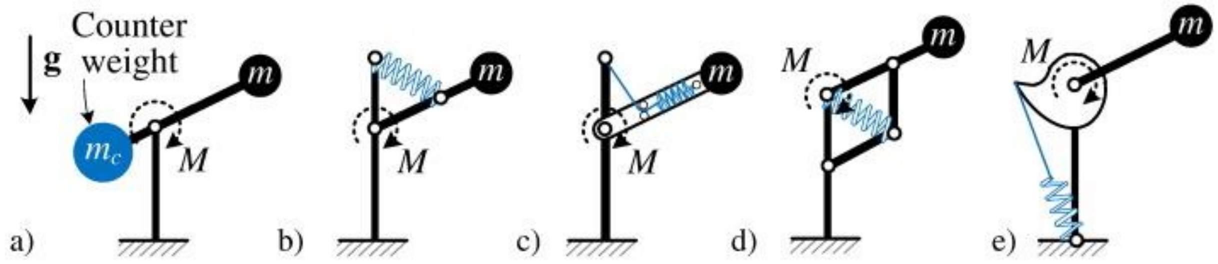
- Previne qualquer vibração do sistema
- Impede o movimento não desejado de um sistema
- Considera equilíbrio de forças permanentes e forças dinâmicas



universidade de aveiro

BALANCEAMENTO DE MECANISMOS

Exemplos de balanceamentos



a) massa; b) mola externa; c) mola interna; d) paralelogramo; e) came

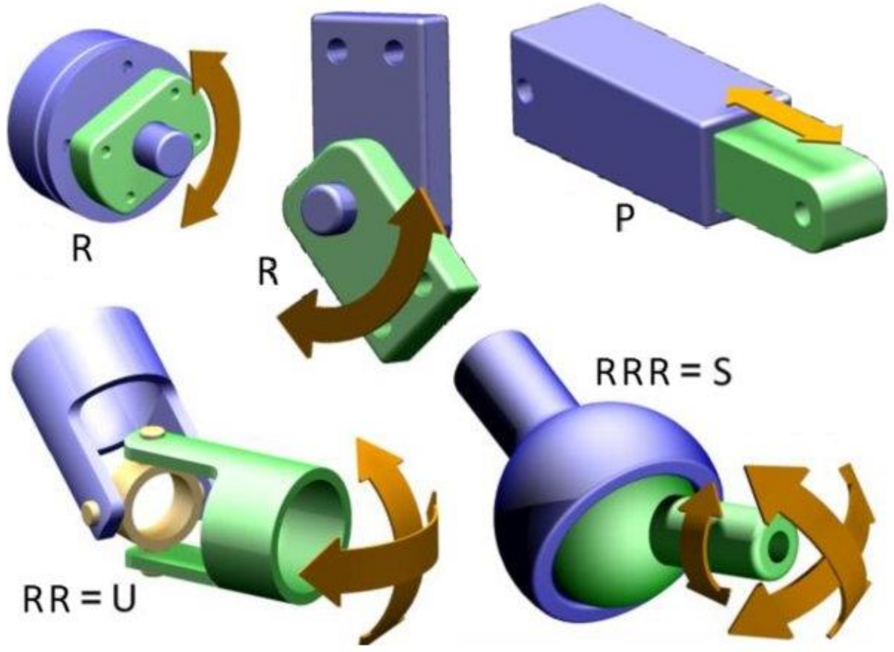
universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

ENGENHARIA AEROESPACIAL
LICENCIATURA

CINEMÁTICA DE MECANISMOS

Mecanismos Superconstrangidos

RESTRIÇÃO DE MOVIMENTO DE UMA JUNTA



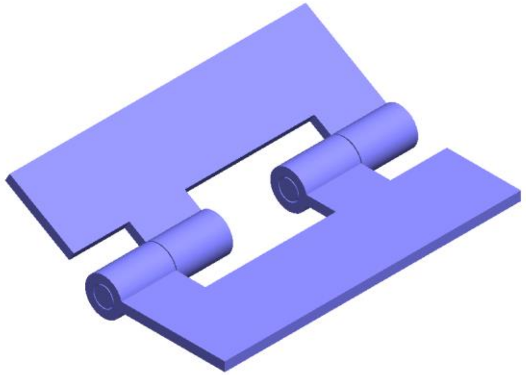
Juntas entre corpos rígidos

- Geometria de uma junta restringe diferentes graus de liberdade
- Posição relativa de corpos e juntas provoca movimentos complexos

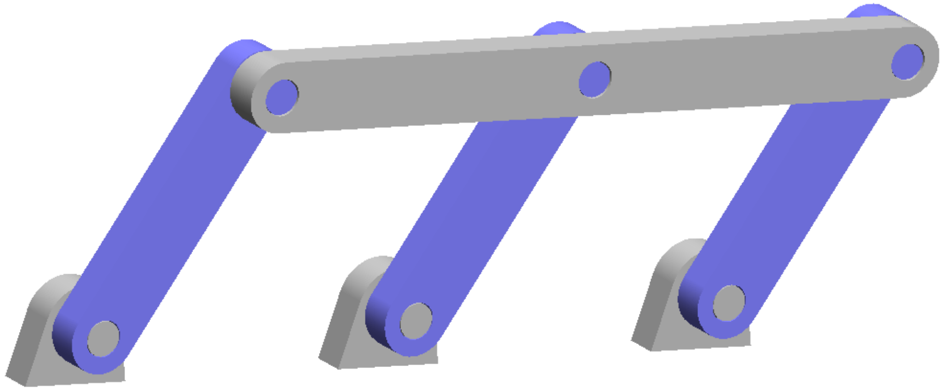
MECANISMOS SUPERCONSTRANGIDOS

Mecanismos com restrições redundantes

Posição relativa de juntas provoca pode provocas a múltipla restrição de um grau de liberdade: restrições redundantes



Juntas com eixos coaxiais



Combinações únicas de comprimentos e disposição de elos e juntas