

Elementos de Robótica



Prof. José Alberto Naves Cocota Júnior

UFOP – Escola de Minas

Engenharia de Controle e Automação
Engenharia Mecânica

Introdução

Nesta disciplina serão tratados os conceitos básicos de **Cinemática, Dinâmica e Controle** de manipuladores robóticos.

A compreensão desses assuntos é essencial para a compreensão e aplicação de outros tópicos relacionados à robótica (locomoção, visão, programação, sensoriamento, manipulação, I.A., CAD, CAM).

Segundo Spong & Vidyasagar (1989), o primeiro curso na área de robótica deve começar com estes três assuntos:

- **Cinemática;**
- **Dinâmica;**
- **Controle.**



Definição de Robô

- **A origem da palavra: robota (checo) = trabalho** utilizada em 1921 por Karel Capek, escritor checo, na sua peça **“R.U.R. (Rossum’s Universal Robots)”** para denominar máquinas criadas para substituir humanos;
- **Definição do R. I. A. (Robot Institute of America):** “Um robô (industrial) é um **manipulador programável, multifuncional projetado para manipular material, partes, ferramentas, ou dispositivos específicos**, através de movimentos programados variáveis para executar uma variedade de tarefas”.



Vantagens do Uso

- Aumento de **precisão e produtividade**;
- **Maior flexibilidade** em comparação com máquinas especialistas;
- **Melhores condições** para o trabalho humano, com o emprego dos robôs para a execução de tarefas repetitivas e em ambientes perigosos;

Ambientes perigosos:

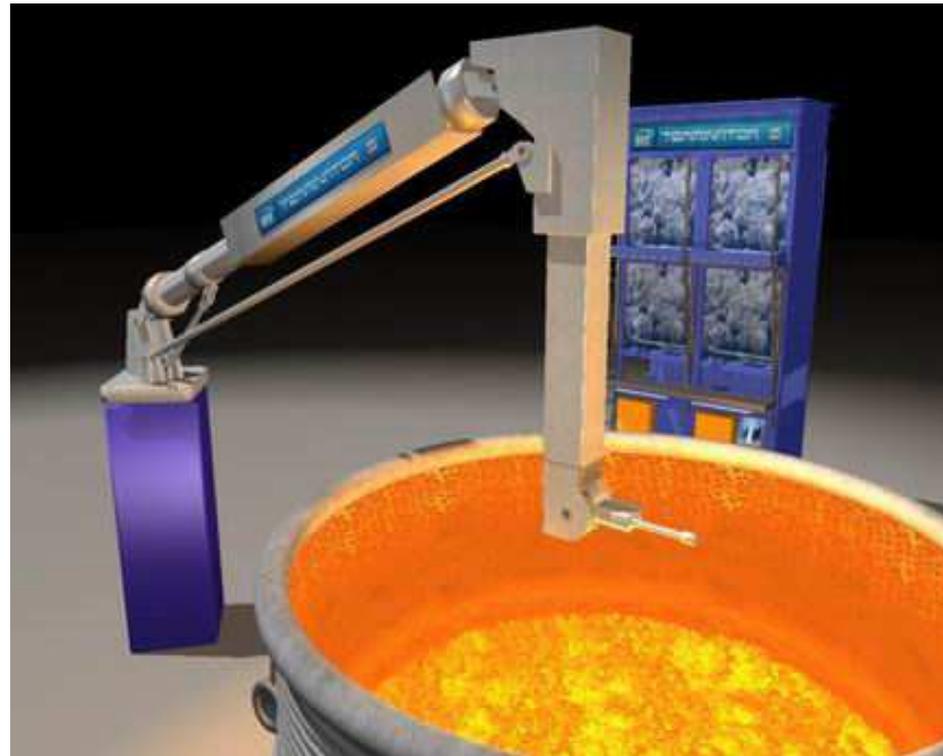
- Nuclear;
- Metalurgia;
- Mineração;
- Altas tensões, ...

Ambiente industrial:

- Manufatura.

Aplicações médicas:

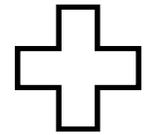
- Cirurgia.



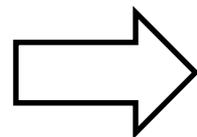
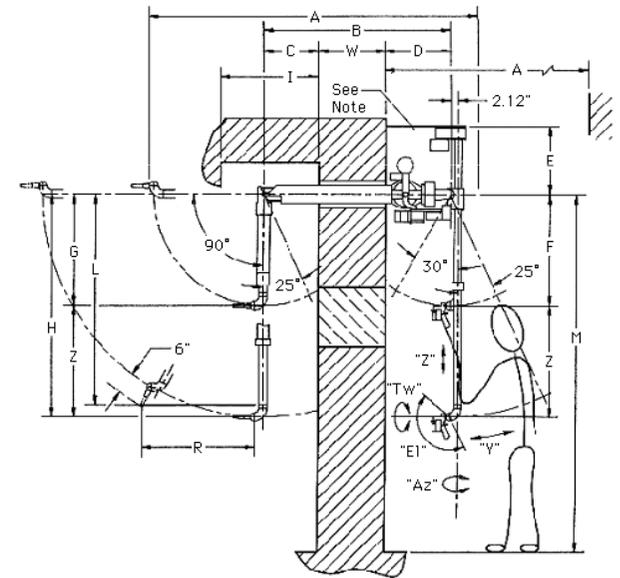
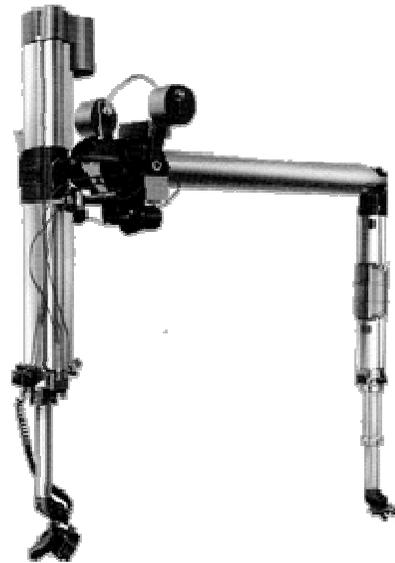
Robô Terminator em um FEA

Origem dos Robôs (Concepção)

CNC



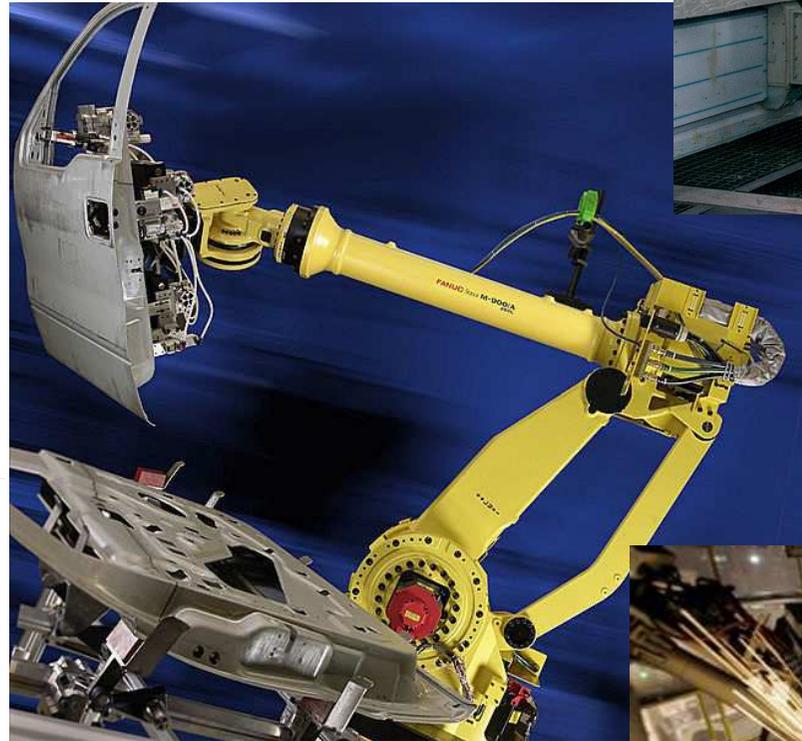
Teleoperadores



Robôs

Principais Aplicações

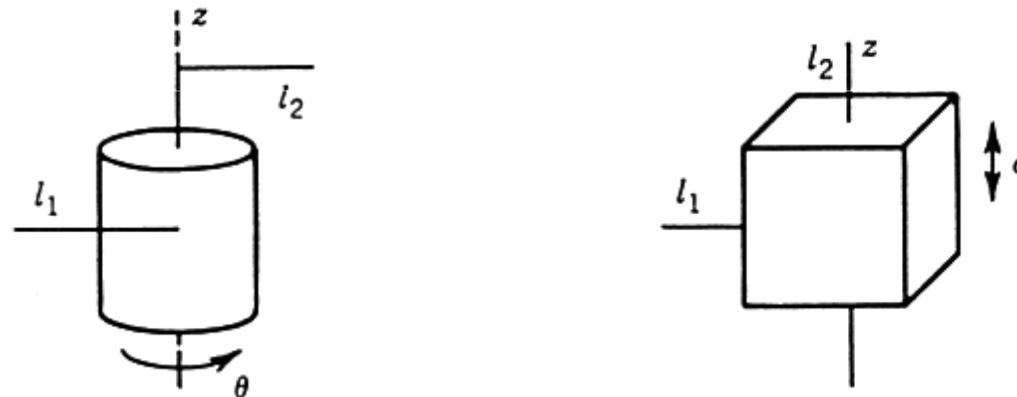
- Manipulação de materiais;
- Carga e descarga de materiais;
- Pintura;
- Soldagem;
- Montagem.



Componentes e Estrutura dos Robôs

Robôs manipuladores são compostos por **elos** unidos por **juntas** em uma cadeia cinemática aberta ou fechada.

As **juntas** são de **rotação / revolução (R)** ou **prismática / de translação (P)**.



Onde:

- z**: é o eixo de rotação, ou o eixo no qual a junta prismática se desloca;
- l**: representam os elos;
- θ** e **d**: são as variáveis das juntas de rotação e de translação.

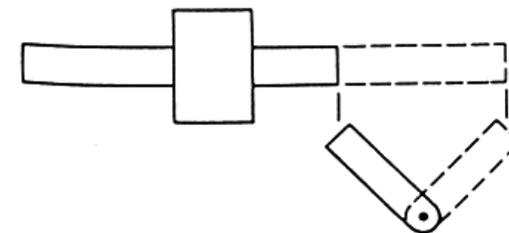
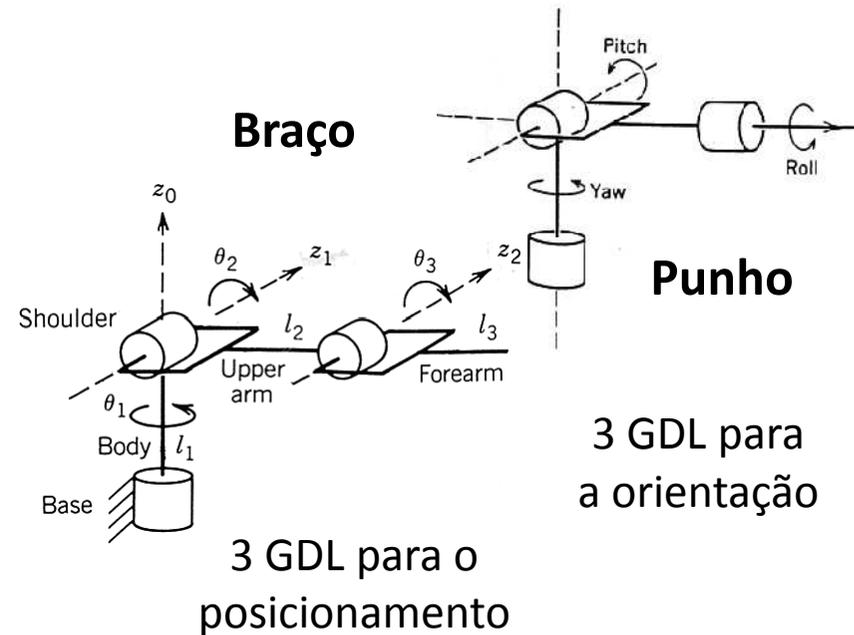
Componentes e Estrutura dos Robôs

O número de juntas, em uma cadeia cinemática aberta, determina os **graus de liberdade (GDL/DOF)** do manipulador. Tipicamente um manipulador possui 6 GDL:

- 3 GDL para o posicionamento da ferramenta;
- 3 GDL para a orientação da ferramenta.

O **espaço de trabalho** de um manipulador é o volume total percorrido pelo efetuador (órgão terminal ou ferramenta) dadas todas as possibilidades de execução de movimento do robô. O espaço de trabalho é limitado pela geometria do manipulador, bem como pelas restrições físicas das juntas (limites mecânicos).

Para um mesmo **espaço de trabalho**, os elos com juntas rotacionais ocupam um menor **volume de instalação** em relação aos elos com juntas prismáticas (SCARA x Cartesiano).

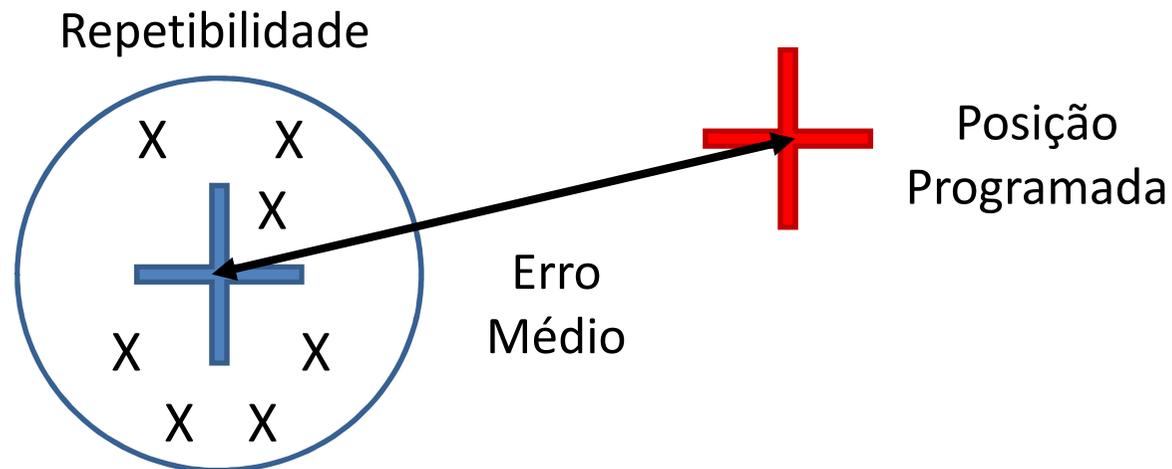


Precisão e Repetibilidade

Precisão é a medida (erro) de quão próximo o manipulador pode alcançar um determinado ponto no seu espaço de trabalho.

Repetibilidade é um termo estatístico que descreve a capacidade do manipulador repetir o posicionamento em um ponto programado.

Exemplo:



A posição programada não é alcançada e o erro é repetido.

Portanto a **repetibilidade é alta** e a **precisão é baixa**.

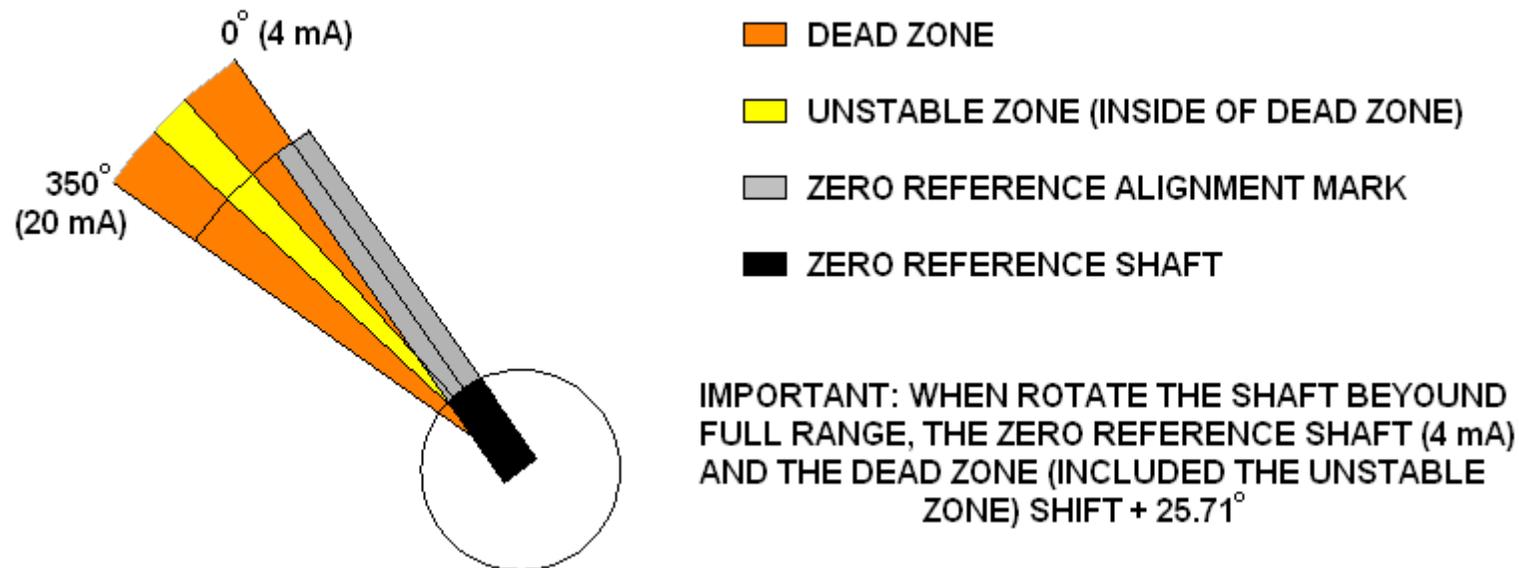
Precisão e Repetibilidade

A **precisão** pode ser afetada por:

- erros de computação;
- imprecisões mecânicas de fabricação dos robôs;
- folgas de engrenagens;
- efeitos de flexibilidade das peças sob cargas gravitacionais e de inércia (altas velocidades);

...

A **repetibilidade** é influenciada principalmente pela resolução do controlador e/ou sensor.



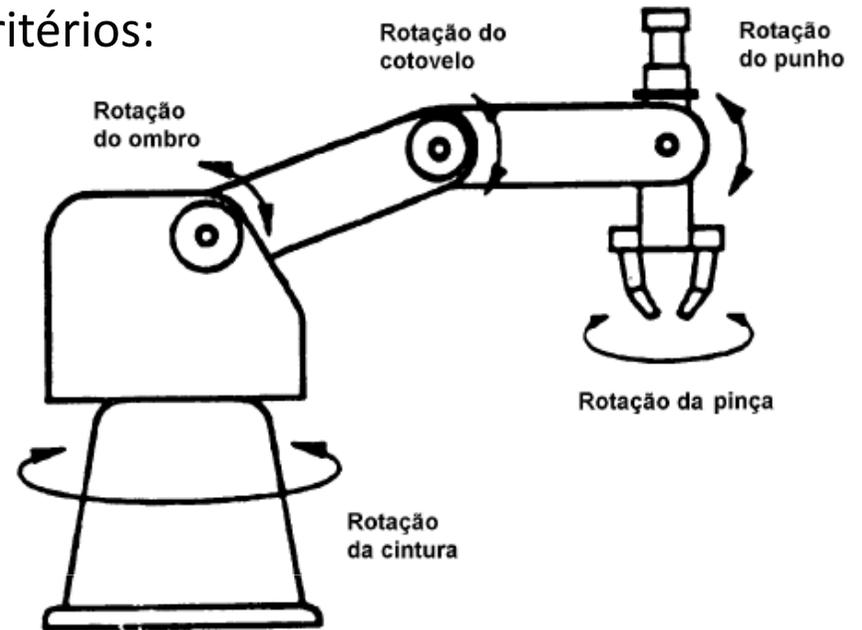
Classificação dos Robôs

Os robôs podem ser classificados por vários critérios:

- **Geometria:**

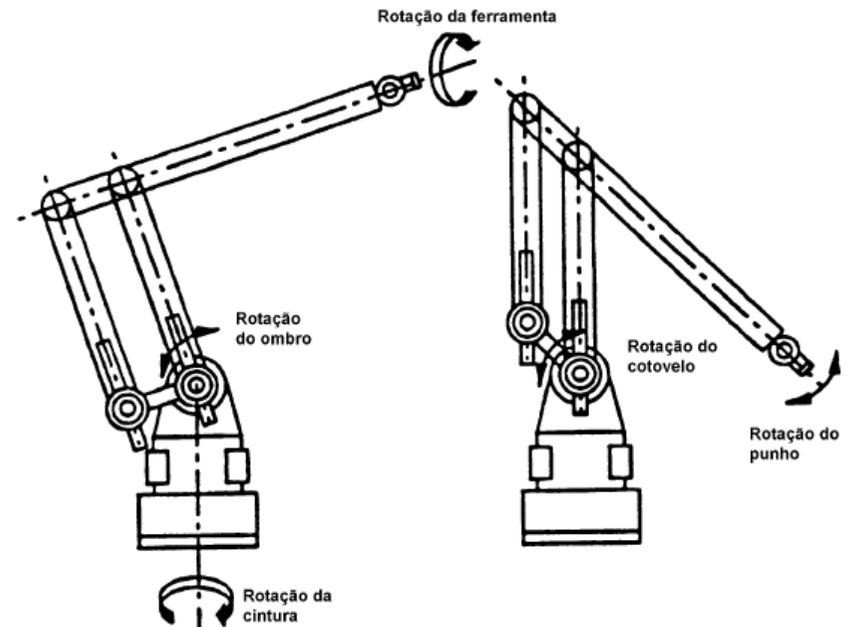
- Articulado (RRR);
- Esférico (RRP);
- SCARA (RRP);
- Cilíndrico (RPP);
- Cartesiano (PPP).

Mesma seqüência de juntas, mas com diferente arranjo entre os elos



- **Estrutura cinemática:**

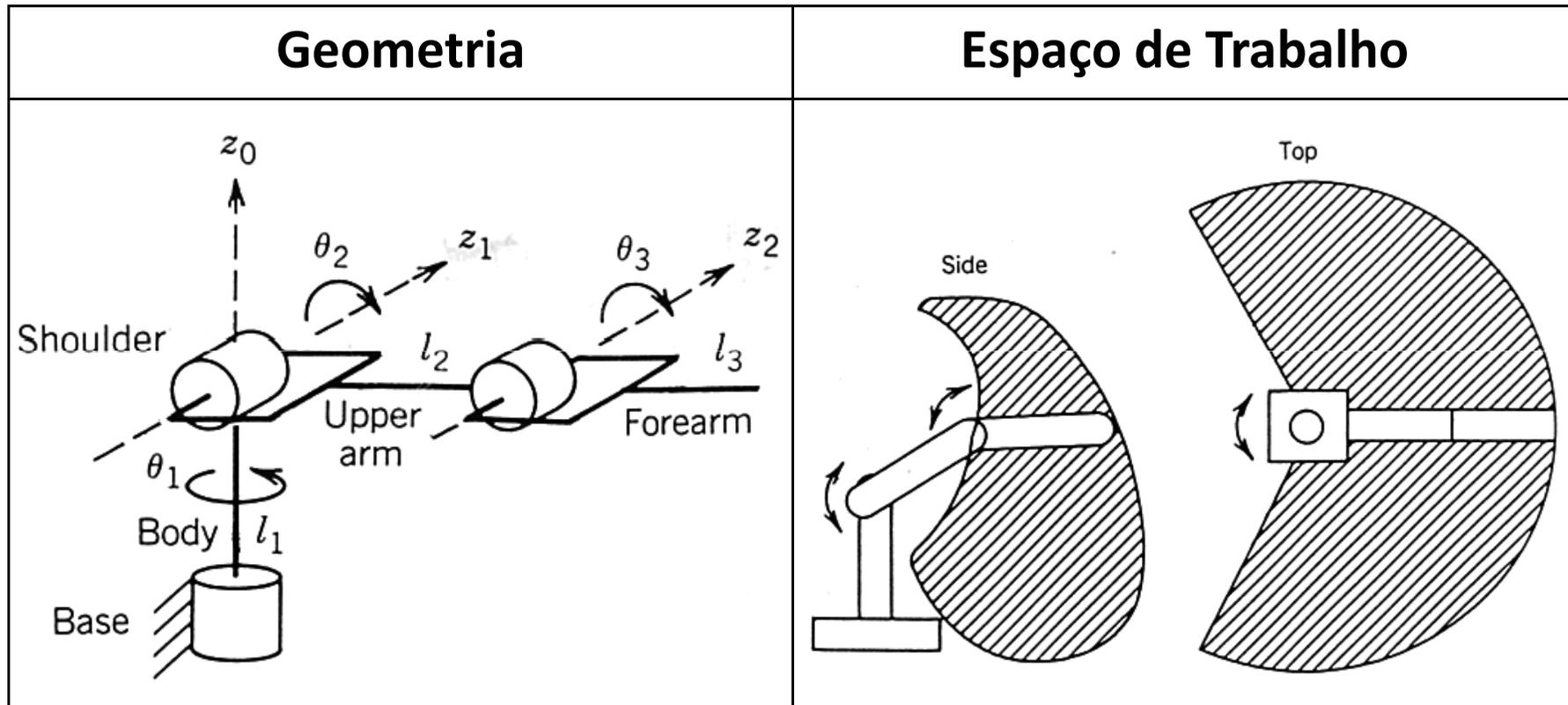
- Manipuladores séries (elos em série) cadeia cinemática aberta;
- Manipuladores paralelos (elos em paralelo) cadeia cinemática fechada.



Arranjos Cinemáticos mais Comuns

Manipuladores series abertos

Articulado - Antropomórfico - Elbow (RRR)



Z_1 é paralelo a Z_2 e são perpendiculares a Z_0

Grande liberdade de movimento

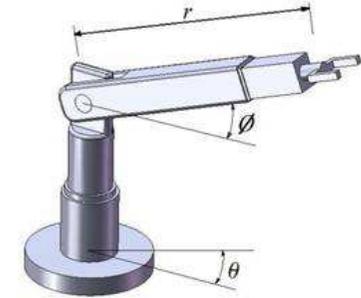
Exemplo: PUMA (Unimation);

Cincinnati Milacron T3 (Cincinnati Milacron)

Arranjos Cinemáticos mais Comuns

Manipuladores series abertos

Esférico (RRP)



Geometria	Espaço de Trabalho
A kinematic diagram of an RRP spherical wrist robot arm. It shows a base with a vertical axis z_0 and a rotation angle θ_1 . A horizontal link of length l_1 is attached to the base. A second link of length l_2 is attached to the end of the first link, and a third link of length l_3 is attached to the end of the second link. The end effector is a rectangular block. The diagram also shows a coordinate system z_1 and a rotation angle θ_2 . A distance d_3 is indicated between the end of the third link and the end effector.	A diagram illustrating the work space of an RRP spherical wrist robot arm. It shows a shaded spherical volume representing the reachable workspace. The end effector is shown in two different positions within the workspace, demonstrating its range of motion.

As coordenadas esféricas (θ_1 , θ_2 , d_3) definem a posição do efetuador.

Os três eixos Z_0 , Z_1 e Z_2 são mutuamente perpendiculares.

Exemplo: Unimate 2000B (Unimation);

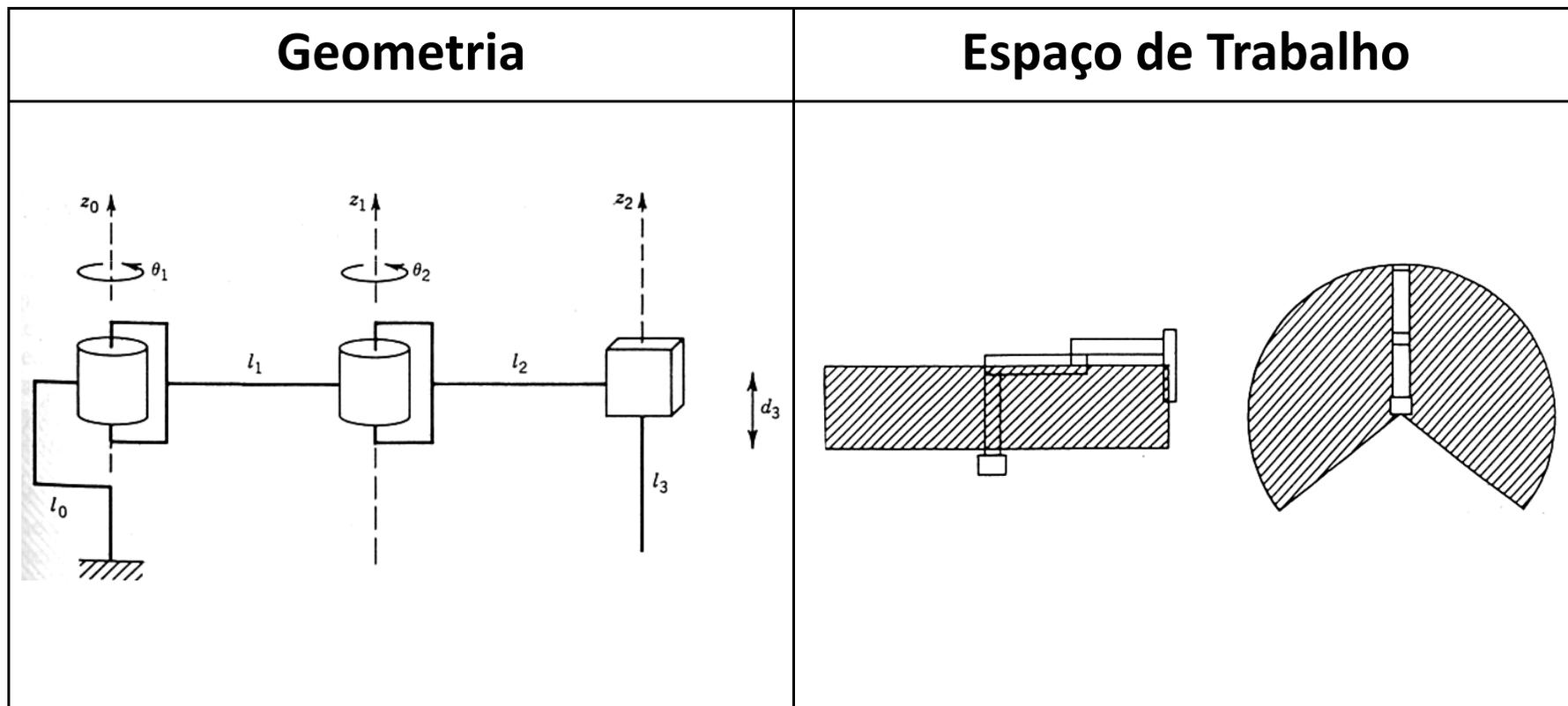
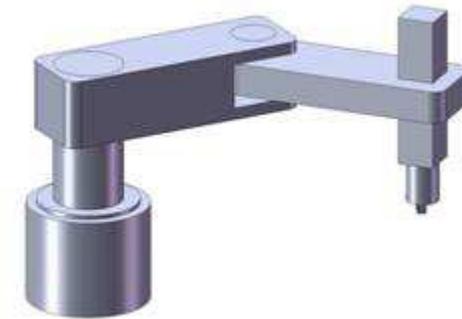
Stanford

Arranjos Cinemáticos mais Comuns

Manipuladores series abertos

SCARA (RRP)

Selective Compliant Articulated Robot for Assembly



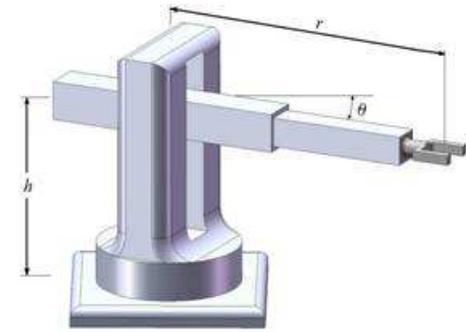
Os três eixos Z_0 , Z_1 e Z_2 são paralelos e verticais

Exemplo: AdeptOne (Adept Technologies)

Arranjos Cinemáticos mais Comuns

Manipuladores series abertos

Cilíndrico (RPP)



Geometria	Espaço de Trabalho
A schematic diagram of a cylindrical robot arm. It shows three joints: a revolute joint at the base with rotation angle θ_1 and link length l_0 ; a prismatic joint with displacement d_2 and link length l_2 ; and another prismatic joint with displacement d_3 and link length l_3 . The coordinate axes are labeled z_0 , z_1 , and z_2 .	Two diagrams illustrating the work space of a cylindrical robot arm. The left diagram shows a shaded sector of a circle, representing the horizontal reach of the arm. The right diagram shows a shaded rectangular area, representing the vertical reach of the arm.

As coordenadas cilíndricas (θ_1 , d_2 , d_3) definem a posição do efetuador em relação à base.

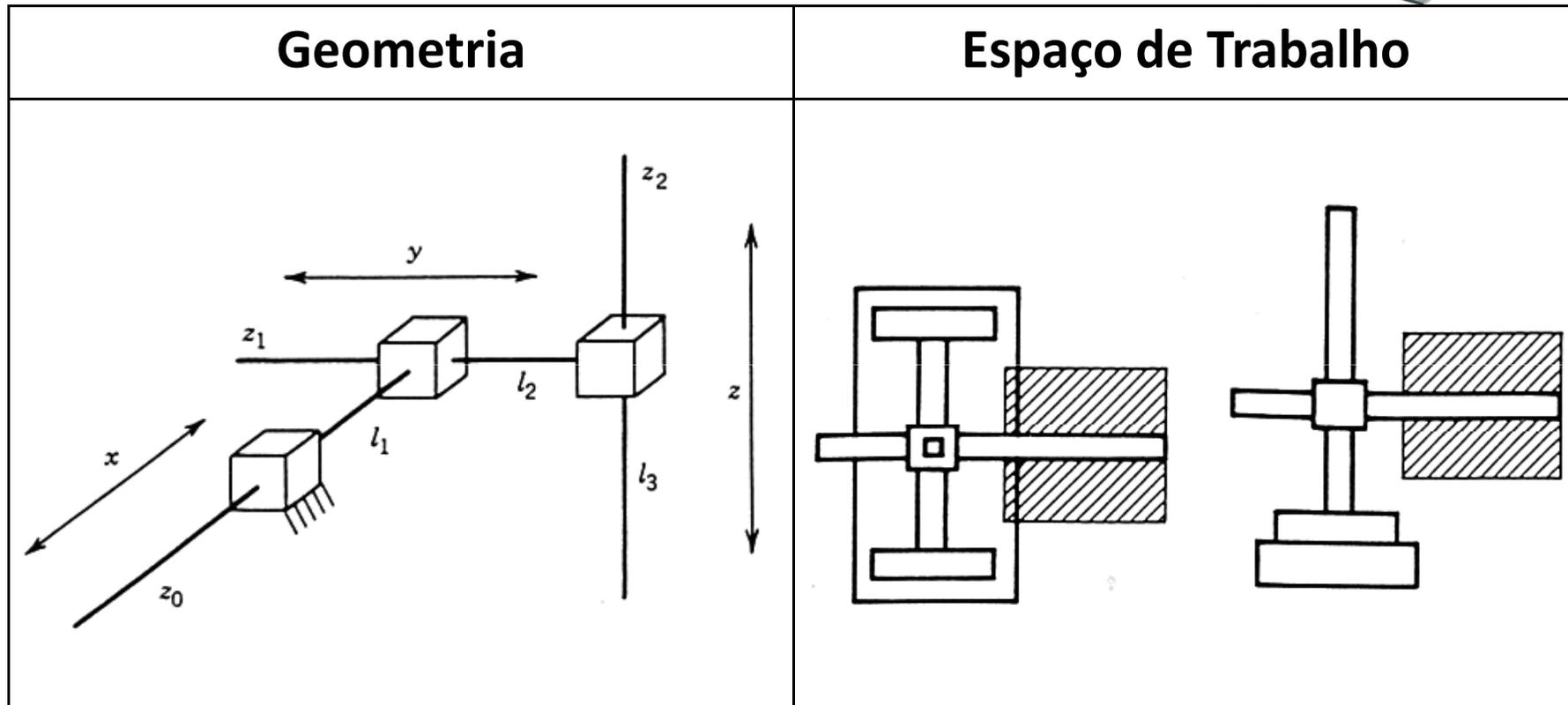
Exemplo: GMF M-100 (GMF Robotics)

Verstran 600 (Prab)

Arranjos Cinemáticos mais Comuns

Manipuladores series abertos

Cartesiano (PPP)



As coordenadas cartesianas (d_1 [x], d_2 [y], d_3 [z]) definem a posição do efetuador com relação à base.

Exemplo: RS-1 (IBM)

Sigma (Olivetti)

Cincinnati Milacron T3 886

Comparando Robôs

- **Robô Cartesiano (PPP)**

Vantagens: realizam movimento lineares em 3D, o modelo cinemático é simples e atuadores pneumáticos de baixo custo podem ser utilizados.

Desvantagens: necessitam de grande espaço para operar e o seu espaço de trabalho é relativamente pequeno (não consegue atingir regiões sob objetos).

- **Robô Cilíndrico (RPP)**

Vantagens : modelo cinemático simples; fácil visualização; bom acesso em cavidades; pode utilizar potentes atuadores hidráulicos.

Desvantagem: espaço de trabalho restrito.

- **Robô Esférico (RRP)**

Vantagens : o espaço de trabalho é relativamente grande, podendo-se até inclinar para pegar objetos do chão.

Desvantagem : modelo cinemático complexo.

- **Robô Articulado (RRR)**

Vantagens : emulam as características do braço humano, possuindo grande flexibilidade; alcança um espaço de trabalho grande; comporta motores elétricos; pode alcançar posições sob objetos.

Desvantagens: cinemática complexa; controle difícil de movimentos lineares; estrutura não rígida quando estendido.

Outros Métodos de Classificação de Robôs

- **Fonte de energia (tipo de acionamento)**

As juntas robóticas são normalmente acionadas por **atuadores**:

- **Elétricos**: são os mais utilizados (V: são limpos e silenciosos);
- **Hidráulicos**: apresentam as características de rápida resposta e de produzirem grandes forças (D: apresentam vazamentos, necessitam de equipamentos periféricos – como bombas e tanques – que resultam em uma maior manutenção e geração de ruídos);
- **Pneumáticos**: são simples e baratos, com aplicação limitada (D: não podem ser empregados em operações que necessitam de precisão).

- **Área de aplicação:**

- **Robôs montadores**: geralmente são pequenos, acionados por atuadores elétricos e apresentam a configuração do manipulador antropomórfico, SCARA ou cartesiano;
- **Robôs não montadores**: são utilizados em operações de soldagem, pintura, deslocamento, exploração, manipulação, transporte e armazenamento de materiais.

Outros Métodos de Classificação de Robôs

- **Método de controle:**

- **Malha aberta:** é o método de controle mais antigo, cujos movimentos são limitados por batentes mecânicos, que podem acionar interruptores para desligar/ligar atuadores em uma seqüência fixa.

- **Malha fechada (MF):** os robôs que empregam este método são chamados de servo-robôs.

- Robôs de repetição com **controle ponto a ponto:** apresentam o método mais simples de controle em MF. Um conjunto de pontos discretos são ensinados ao robô, porém **não há controle de trajetória do efetuador** entre dois pontos consecutivos. ➡ Aplicações limitadas.

- Robôs de repetição com **controle de trajetória:** a **trajetória do efetuador pode ser controlada**. Por exemplo, pode ser ensinado ao robô que o efetuador deve seguir uma linha reta entre dois pontos ou um arco em uma operação de soldagem (a trajetória pode ser definida por uma função). Pode-se, também, controlar a velocidade/aceleração do efetuador.

Punhos Robóticos

Punho é o conjunto de juntas entre o antebraço e a ferramenta.

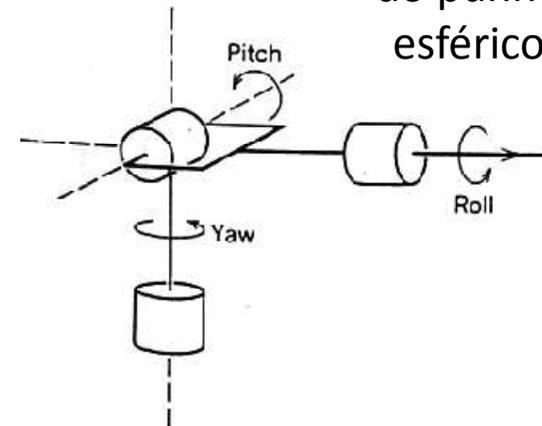
Em geral, as juntas dos punhos são de rotação.

Robô	Geometria	GDL	Pos.	Orientação	Mov. do Punho
AdeptOne	RRP-R	4	RRP	R	Roll
Cincinnati Milacron T3 735	RRR-RR	5	RRR	RR	Yaw, Pitch
PUMA	RRR-RRR	6	RRR	RRR	Yaw, Pitch, Roll

Os **punhos** mais comuns são os **esféricos**, cujos eixos das juntas (RRR) interceptam-se em um mesmo ponto, simplificando a análise cinemática, por permitirem o desacoplamento do posicionamento e a orientação de um efetuador.

Movimentos do punho esférico:

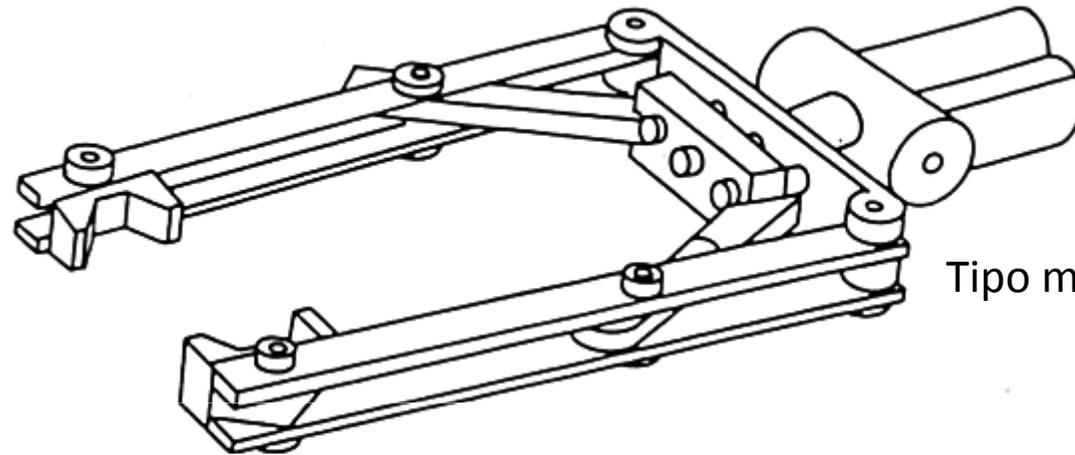
- Guiagem (Yaw);
- Arfagem (Pitch);
- Rolamento (Roll).



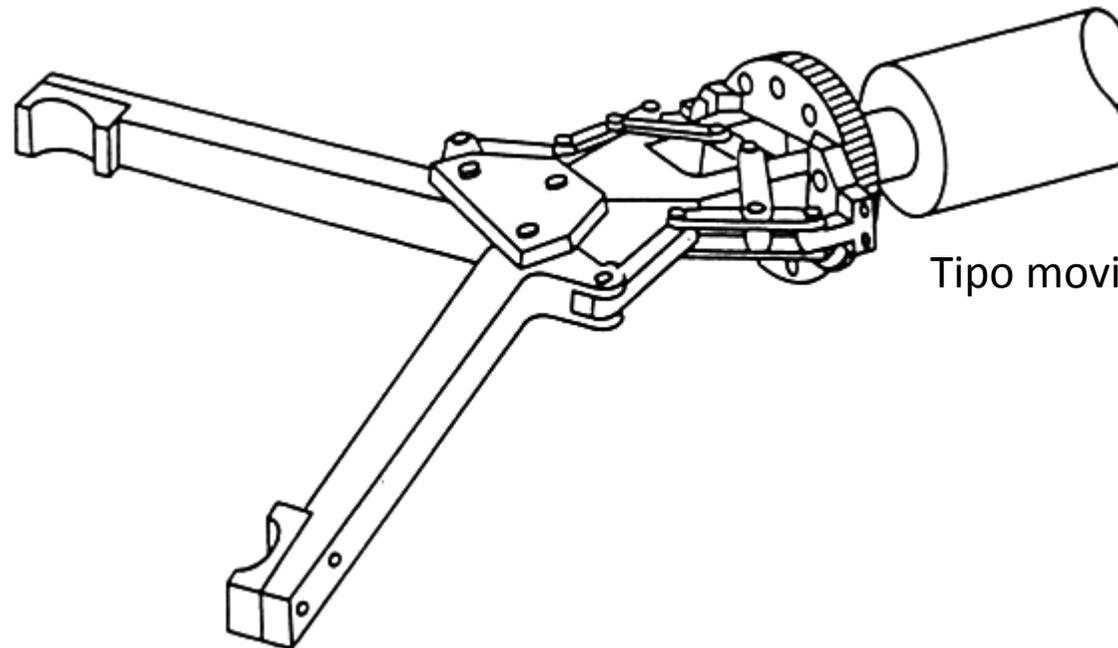
↑
São os movimentos do punho esférico

Efetadores

Os efetadores (órgão terminal ou ferramentas) desempenham o trabalho. O tipo **mais simples** de efetadores **são as garras**, que possuem o movimento de **abrir e fechar**.

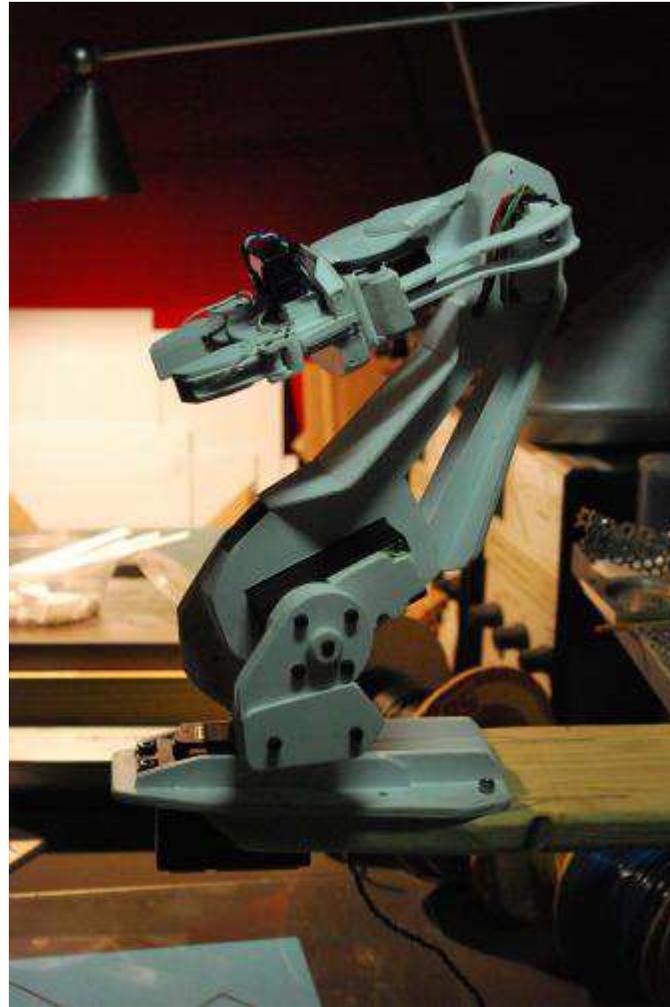


Tipo movimento paralelo



Tipo movimento de tesoura

Let's Make Robots!!!



<http://letsmakerobots.com/node/18504>