



PMR2560 – Robótica

Aspectos Gerais

Eduardo L. L. Cabral

elcabral@usp.br

Objetivos

- Quando utilizar robôs?
- Dados estatísticos;
- Conceitos gerais;
- Componentes de um robô manipulador industrial;
- Classificação dos robôs manipuladores industriais;
- Aplicações de robôs manipuladores industriais;
- Vídeos demonstrativos:
 - Aplicações dos robôs industriais.



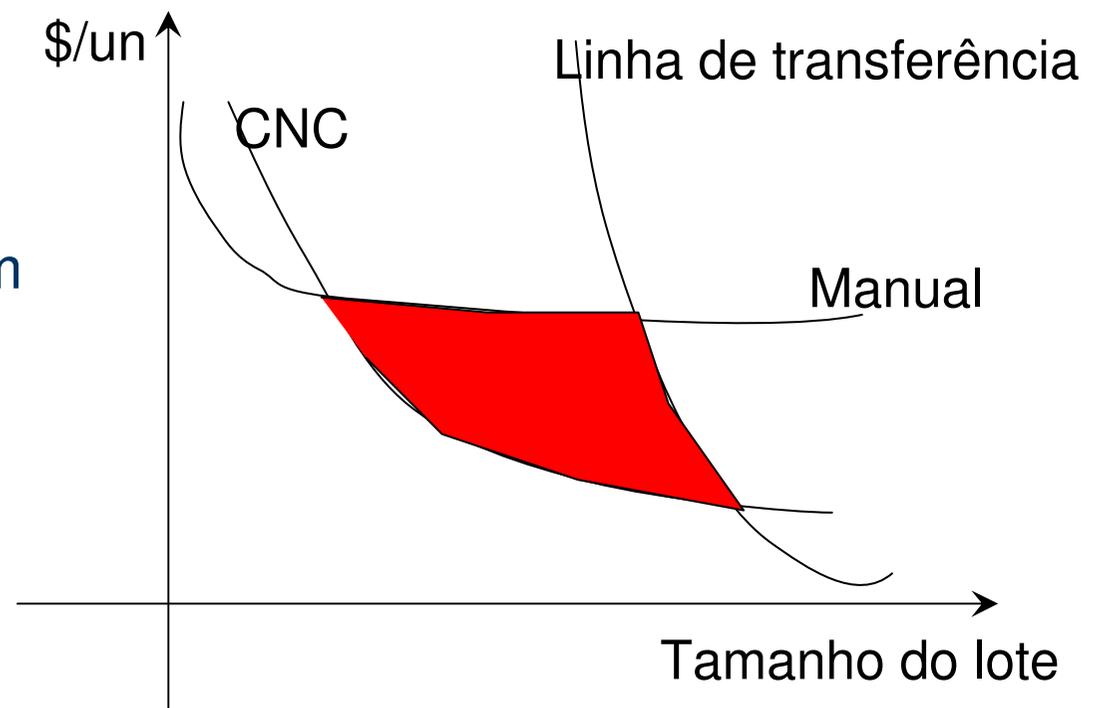
Quando utilizar um robô?

- Para a indústria moderna:
 - Aumento de produtividade;
 - Aumento da qualidade;
 - Linha de produção flexível;
 - Diminuição de custos.



Quando utilizar um robô?

- **Para custo**
⇒ Lotes pequenos com grande variedade de peças.

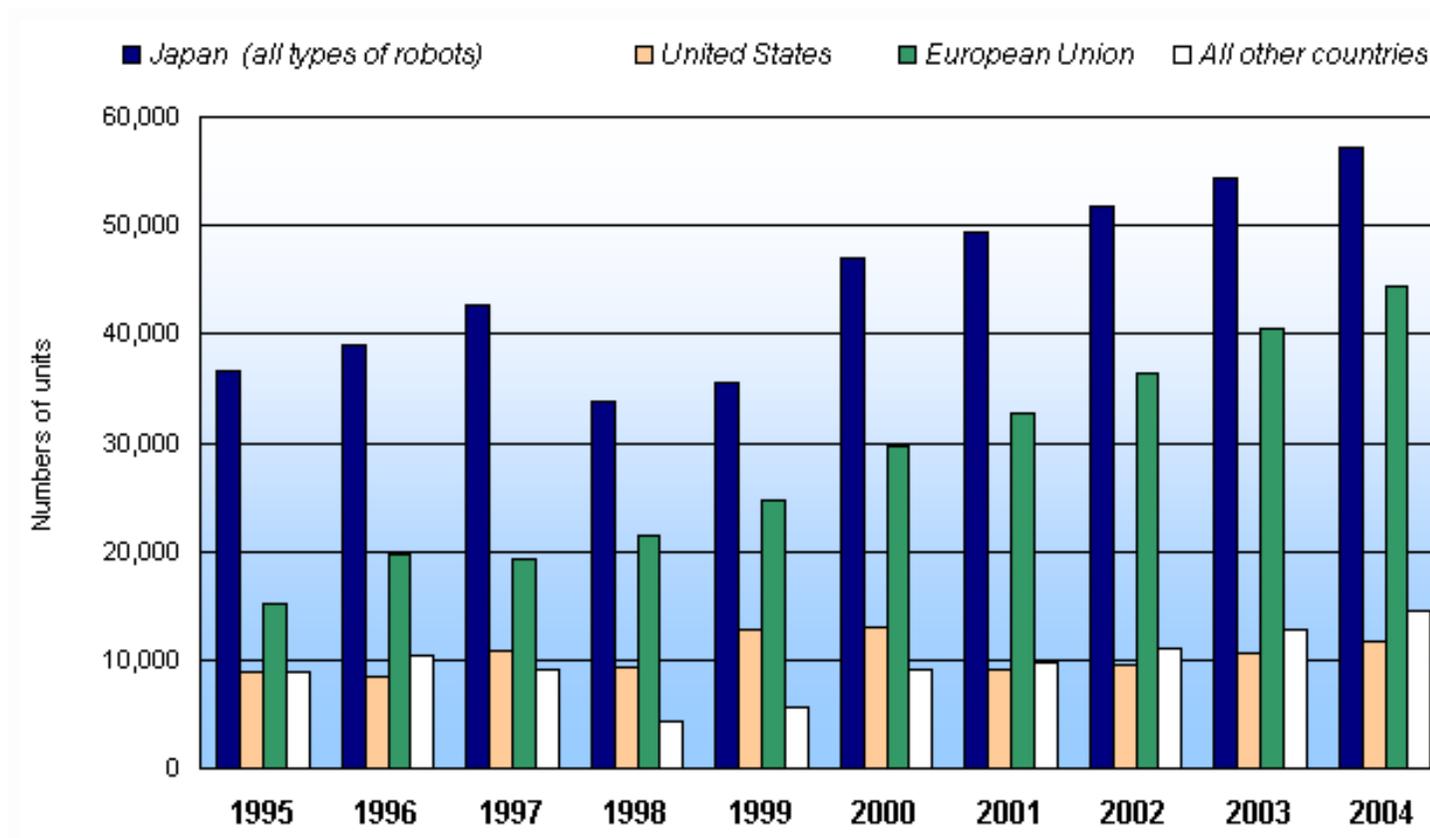


Dados estatísticos

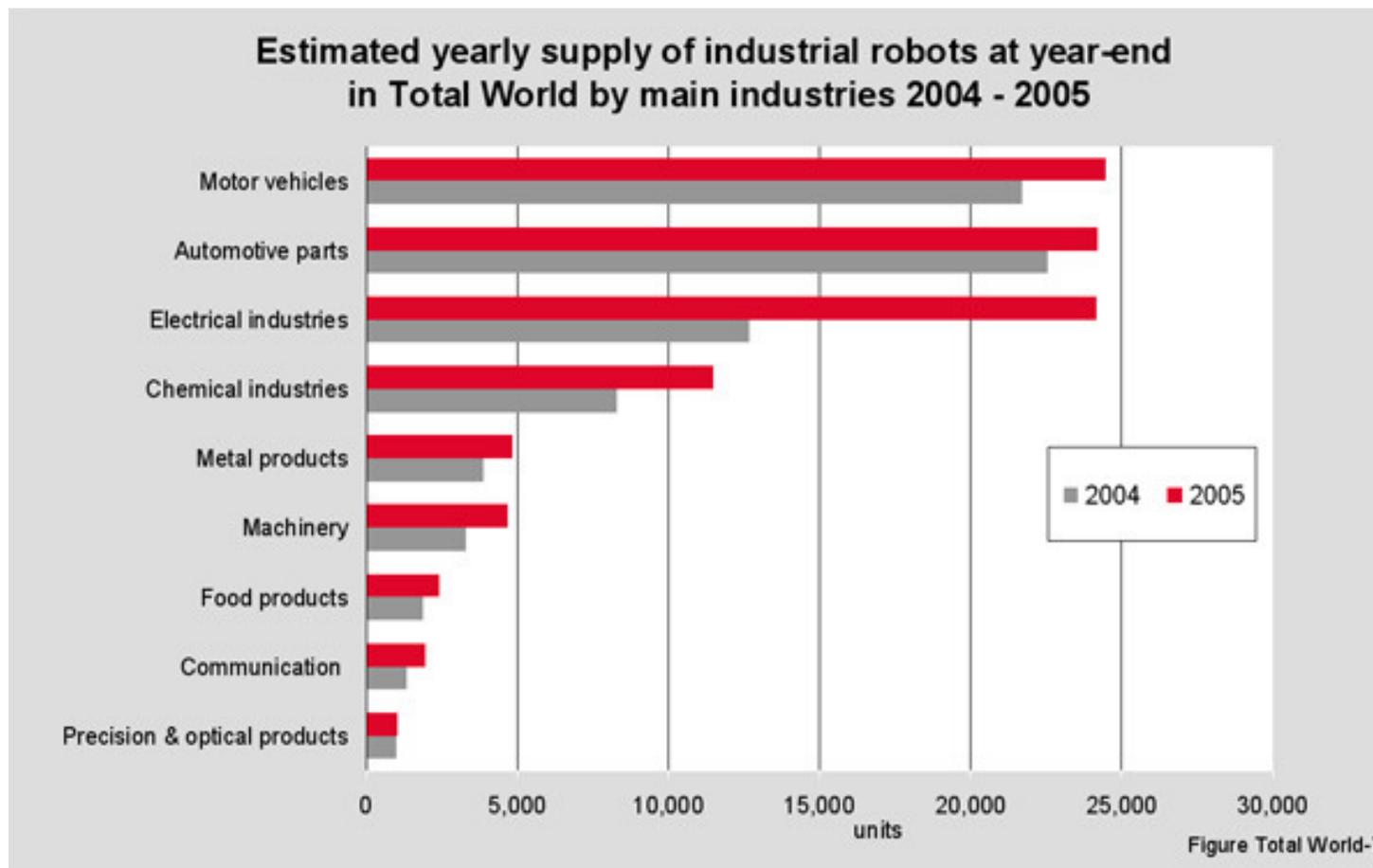
- População mundial de robôs industriais \Rightarrow 1,2 milhões no final de 2011;
- Brasil: cerca de 5500 unidades;
- Cerca de 50% estão alocados em indústrias automobilísticas;
- Maiores competidores:
 - ABB;
 - Fanuc;
 - Kuka;
 - Mitsubishi;
 - Yaskawa (Motoman).



Dados estatísticos



Dados estatísticos



Conceitos gerais

- Orientação e posição de um corpo no espaço:
 - Posição \Rightarrow definida pela posição de um ponto arbitrário do corpo em relação a um sistema de coordenadas fixo no espaço;
 - Orientação \Rightarrow definida pelos cossenos diretores dos eixos de um sistema de coordenadas fixo no corpo em relação a um sistema de coordenadas fixo no espaço;
 - Pose \Rightarrow considera tanto a posição como a orientação do corpo.
- Cadeia cinemática:
 - Conjunto de ligamentos unidos através de articulações definindo uma estrutura (mecanismo) com diversos movimentos.



Conceitos gerais

- Graus de liberdade de um mecanismo:
 - O número de graus de liberdade é igual ao número de variáveis de posição independentes necessárias para localizar todas as partes do mecanismo;
 - Número total de movimentos independentes que um dispositivo pode realizar;
 - Robôs manipuladores de cadeia cinemática aberta \Rightarrow número de articulações motorizadas é igual ao número de graus de liberdade.
- Graus de liberdade do espaço de trabalho:
 - Espaço tridimensional \Rightarrow 6 graus de liberdade. Um objeto livre no espaço pode deslocar-se em três direções e rodar em torno de três eixos.
 - Plano \Rightarrow 3 graus de liberdade. Um objeto no plano pode deslocar-se em duas direções e rodar em torno de um eixo.
- Exemplo: graus de liberdade do braço humano.



Conceitos gerais

- Efetuador:
 - Ligamento terminal do robô, componente que realiza trabalho, podendo ser uma garra ou qualquer ferramenta.
- Volume de trabalho:
 - Conjunto de todos os pontos que podem ser alcançados pelo efetuador do robô;
 - Diferentes definições de Volume de Trabalho conforme se considera a orientação do efetuador.



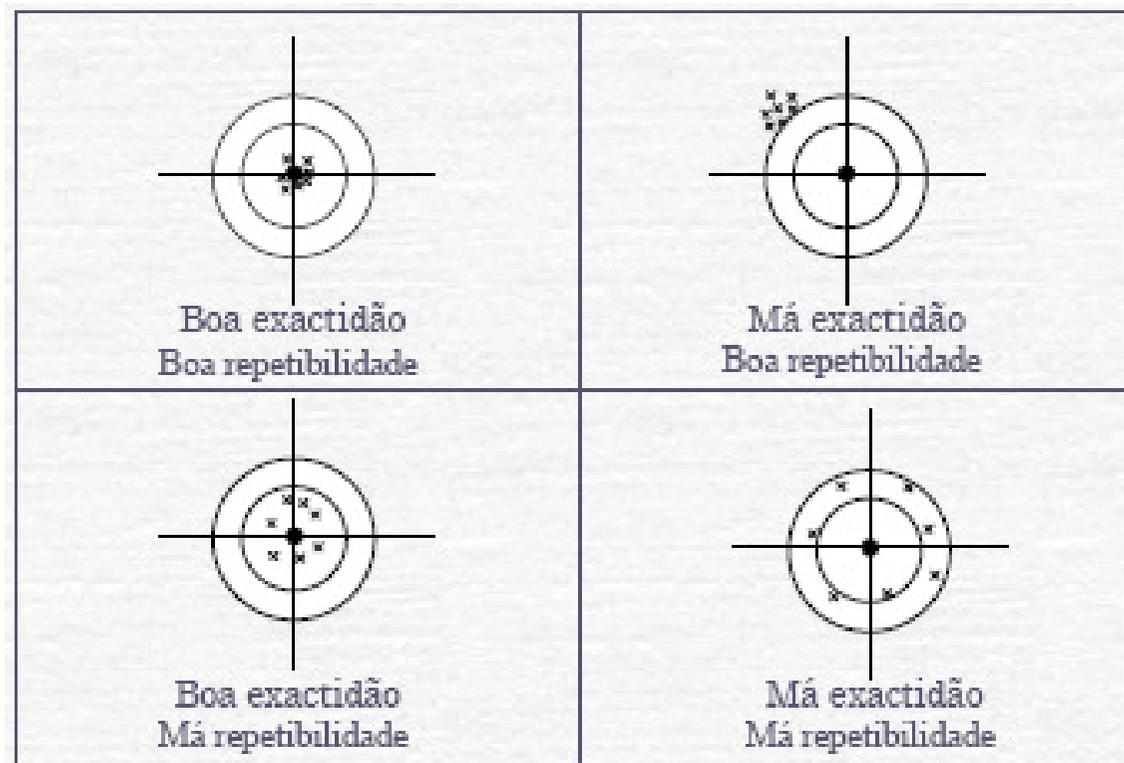
Conceitos gerais

- Exatidão, repetibilidade e resolução:
 - Exatidão: capacidade de posicionar em um ponto absoluto no espaço;
 - Repetibilidade: capacidade de voltar a um ponto do espaço pré-determinado;
 - Resolução: associada ao sistema de medida, é o menor incremento da variável que o sistema de medição pode perceber.



Conceitos gerais

Ilustração de repetibilidade e exatidão \Rightarrow tiro ao alvo



Componentes de um robô industrial

- Estrutura mecânica:
 - Elos ou ligamentos (estrutura);
 - Articulações (rotação, translação, cilíndrica, universal, esférica);
 - Sistema de transmissão (engrenagens, fuso de esferas, correntes, cabos, fitas de aço, redutores);
- Atuadores: hidráulicos, pneumáticos, elétricos.
- Sensores (posição, força, torque);
- Interface homem-máquina;
- Sistema de programação;
- Unidade de controle;
- Unidade de potência;
- Efetuadores: garras, ferramentas.



Classificação dos robôs industriais

- Quanto à geração tecnológica:
 - 1ª geração: Seqüência de operação fixa;
 - 2ª geração: Sensores e recursos computacionais;
 - 3ª geração: “Inteligentes”.
- Quanto à presença do operador:
 - Automáticos;
 - Teleoperados (mestre – escravo).
- Quanto ao controle:
 - Não-servo: malha aberta;
 - Servo: malha fechada.



Classificação dos robôs industriais

- Quanto ao tipo de cadeia cinemática:
 - **Seriado ou cadeia aberta:** possui uma única cadeia cinemática aberta onde uma das pontas é fixa e a outra carrega o efetuador;
 - **Paralelo ou cadeia fechada:** possui várias cadeias cinemáticas e seus ligamentos possuem uma das extremidades ligada à uma base fixa e a outra extremidade à uma plataforma móvel;
 - **Híbridos:** combinação dos dois primeiros;
 - **Arborescentes:** as cadeias cinemáticas compartilham parte da estrutura, lembrando um tronco de uma árvore e seus galhos;
 - **Hiper-redundantes:** são robôs seriados de muitos graus de liberdade.



Classificação dos robôs industriais



Cadeia aberta



Classificação dos robôs industriais



Cadeia fechada

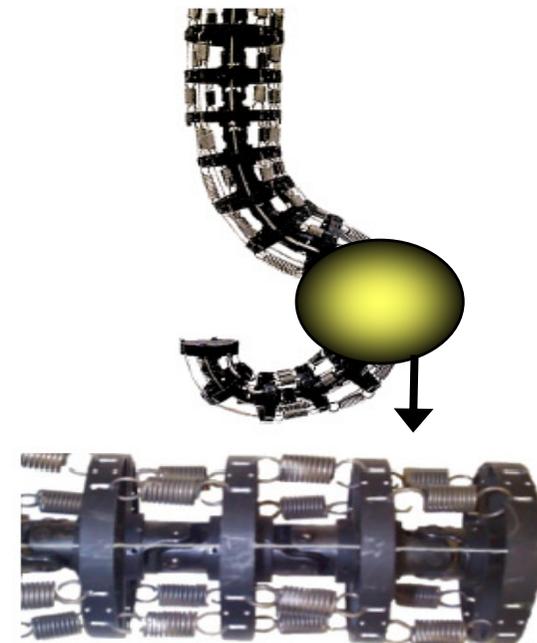


Classificação dos robôs industriais

Híbrido

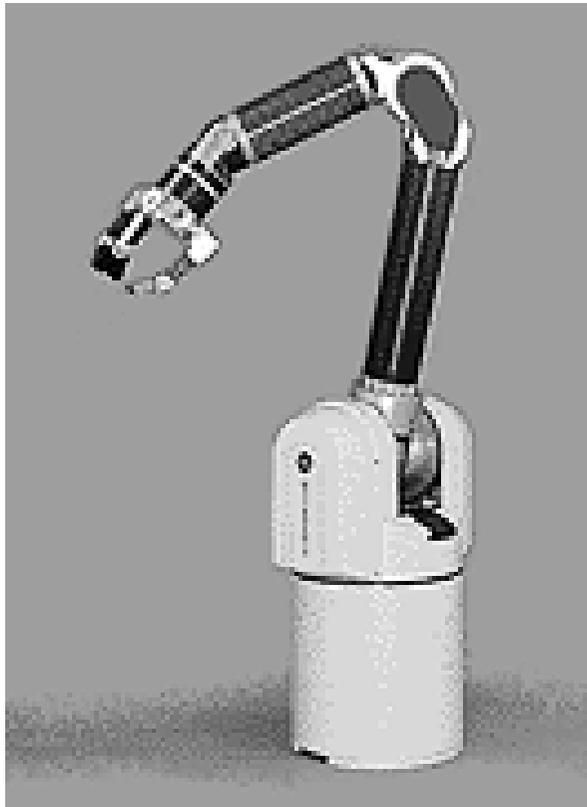


Hiper-redundante



Classificação dos robôs industriais

Cadeia arborescente



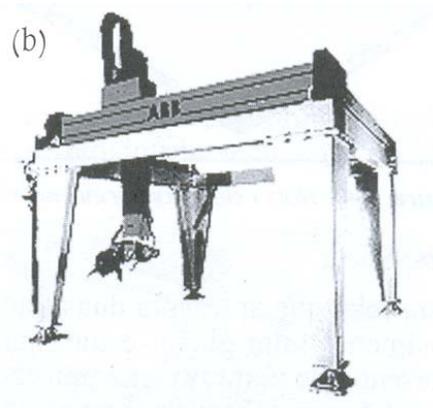
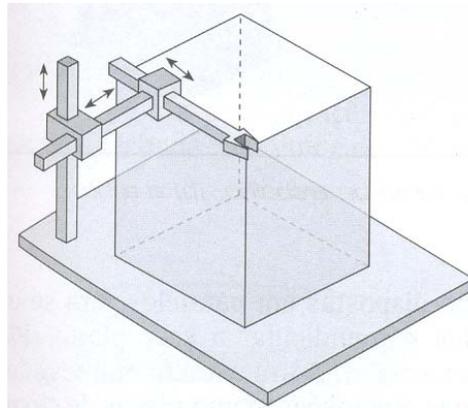
Classificação dos robôs industriais

- Quanto à estrutura cinemática dos 3 primeiros GL:
 - Cartesiano (PPP);
 - Cilíndrico (PPR);
 - Esférico (PRR);
 - Articulado (antropomórfico) (RRR);
 - Articulado com mecanismo de 5 barras;
 - SCARA (RRP);
 - Robô para paletização.

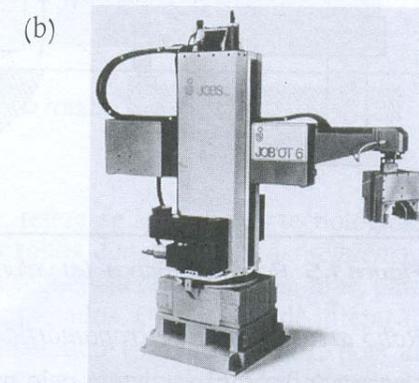
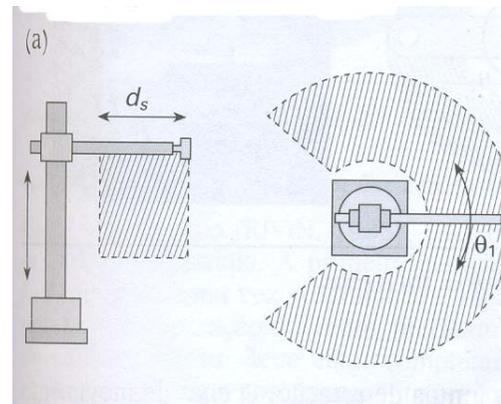


Classificação dos robôs industriais

Cartesiano

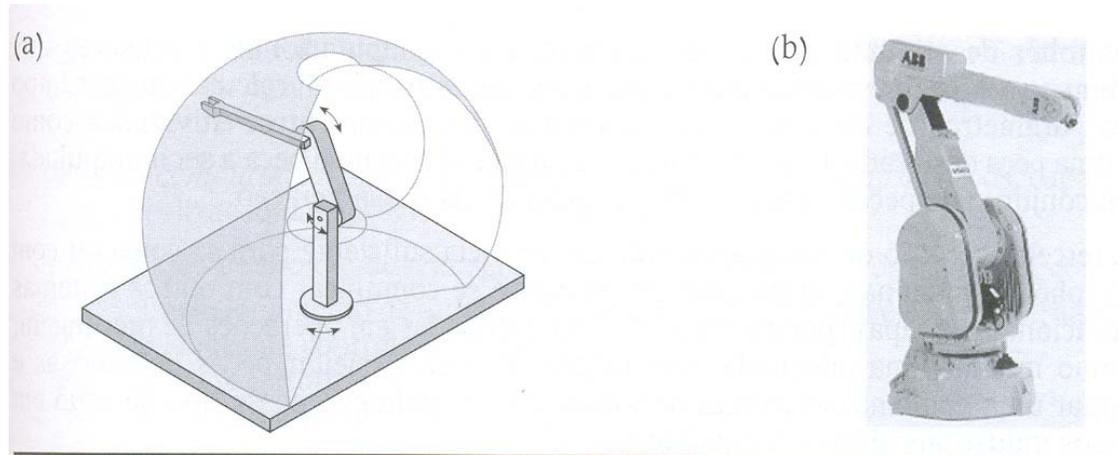


Cilíndrico



Classificação dos robôs industriais

Articulado RRR

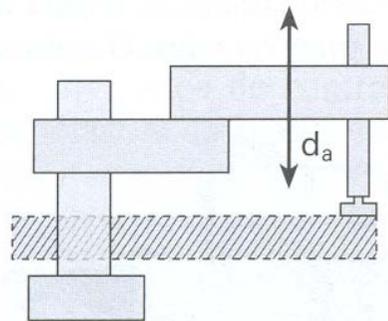


Articulado com mecanismo de 5 barras

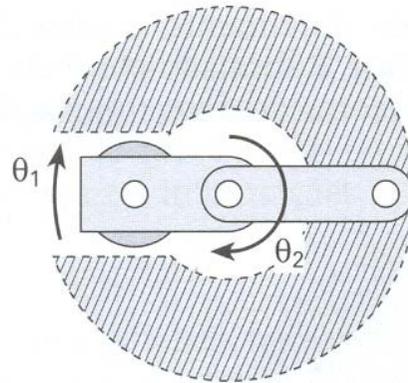


Classificação dos robôs industriais

(a)

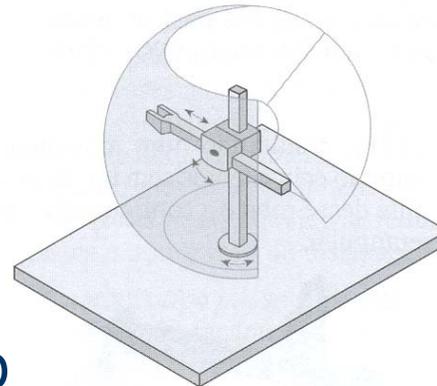


SCARA

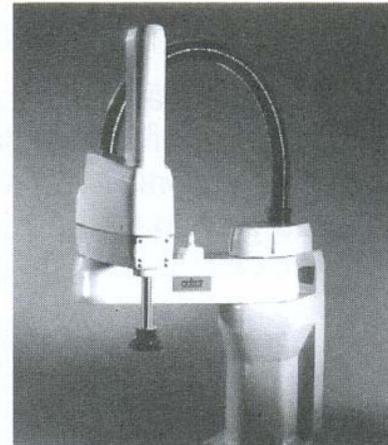


(a)

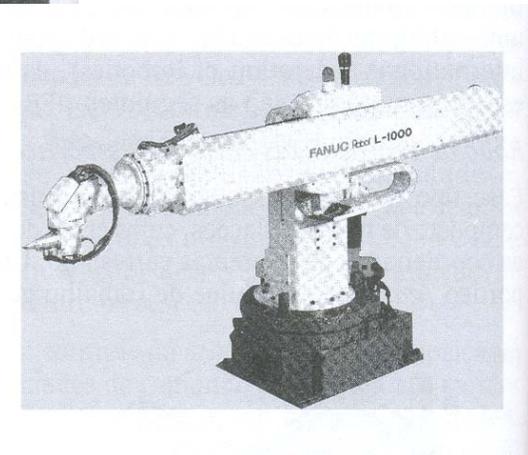
Esférico



(b)



(b)



Classificação dos robôs industriais

- Robô para paletização:
 - Específico para tarefas de paletização;
 - Efetuador sempre voltado para baixo;
 - Dois mecanismos de cadeia fechada entrelaçados.



Classificação dos robôs industriais

- Comparação dos volumes de trabalho:
 - Admitindo-se todas as articulações prismáticas varrendo L e as de rotação varrendo 360° .

| Estrutura | Volume |
|-----------------------|---------------------------|
| Cartesiano | $V = L^3$ |
| Cilíndrico | $V = 3\pi L^3$ |
| Esférico | $V = \frac{28}{3}\pi L^3$ |
| Articulado Horizontal | $V = 4\pi L^3$ |
| Articulado Vertical | $\frac{32}{3}\pi L^3$ |



Classificação dos robôs industriais

- Movimentação:
 - Manipulação de materiais;
 - Paletização;
- Processamento:
 - Soldagem a ponto e a arco;
 - Corte de materiais;
 - Fixação de circuitos integrados;
 - Montagem;
 - Acabamento superficial;
 - Limpeza;
 - Colagem;
 - Pintura;
- Controle de qualidade.



Seleção de um robô industrial

- Tarefa a ser executada;
- Número de graus de liberdade;
- Volume de trabalho;
- Carga útil (capacidade de carga);
- Precisão (repetibilidade, acuracidade, resolução);
- Velocidade (garra → 1,5 a 2,0 m/s);
- Formas de programação;
- Ambiente;
- Tipo de atuador;
- Ferramenta de trabalho;
- Custo.



Exemplo

- Caracterização de um robô:
 - Classificação quanto ao tipo de estrutura cinemática;
 - Graus de liberdade;
 - Volume de trabalho (fazer esquema geométrico);
 - Repetibilidade;
 - Capacidade de carga;
 - Torque e potência nos eixos em velocidade constante.
- Caracterizar o robô KUKA do laboratório quanto a esses quesitos.



Exemplo

- Classificação quanto à estrutura mecânica: Articulado RRR.
- Graus de liberdade: 6.
- Envelope de trabalho em termos de ângulo de juntas:
 - J1: 330°; J2: 210°; J3: 299°;
 - J4: 380°; J5: 280°; J6: 640°.
- Repetibilidade = $\pm 0,1$ mm.
- Capacidade de carga = 6 Kgf no punho.
- Torque e potência nos eixos em velocidade constante:
 - $T4 = 15.7$ N.m
 - $T5 = 9,8$ N.m
 - $T6 = 5,9$ N.m
 - $N4 = 15,7$ N.m . 6,28 rad/s = 98,6 W
 - $N5 = 9,8$ N.m . 6,28 rad/s = 61,5 W
 - $N6 = 5,9$ N.m . 7,85 rad/s = 46,3 W

