

---

# TCC: ROBÓTICA MÓVEL

**Prof. Mario F. Montenegro Campos**

Departamento de Ciência da Computação  
Universidade Federal de Minas Gerais

## Ementa

---

- ◆ Introdução à Robótica
  - Motivação
  - Introdução
  - Descrições espaciais e transformações
  - Cinemática Direta
  - Cinemática Inversa
- ◆ Robôs Móveis
- ◆ Sensores
- ◆ Visão Computacional

## Motivação

---

- ◆ Máquinas inteligentes
  - Tecnologia estratégica na era da globalização
  - Quatro grandes desafios (EUA):
    - » Viabilização rápida de máquinas inteligentes
    - » Viabilização de altos ganhos em flexibilidade
    - » Sistemas robóticos com desempenho humano quanto a mobilidade, relação força/peso e dexteridade
    - » Sistemas de Visão Computacional com desempenho similar ao humano

## Viabilização Rápida da Automação

---

- ◆ Indústria eletro-eletrônica
  - Segmento com o maior número de empregos
  - US\$ 36 bilhões é o tamanho do mercado americano de VCR, Camcorder, Áudio, Disk Drivers
    - » Produtos eletro-mecânicos e eletro-ópticos de precisão.
    - » 95% da produção fora dos EUA
    - » Não há companhias nos EUA que tenham o know-how para produzir um VCR que tem cerca de 2000 componentes, a um custo inferior a US\$ 100,00!

## Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Aplicações militares(EUA):
  - Altíssimo custo
  - Tecnologias e designs atrasados de mais de duas décadas.
- ◆ Indústria Automotiva
  - Segundo maior empregador nos EUA
  - US \$300 bi/ano
  - Em 1992 perdeu 28% do mercado para a indústria estrangeira

## Viabilização Rápida da Automação

- ◆ EUA não possui:
  - Mão de obra altamente qualificada e barata como a de Cingapura
  - Infra-estrutura de manufatura tecnológica forte como a do Japão
  - Custo da mão de obra tão cara quanto a do Japão
- ◆ Japão utiliza automação de precisão para fabricar seus produtos, principalmente robôs.

## Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Aumento da miniaturização:
  - Vários produtos possuem dimensões tão reduzidas que somente robôs podem monta-los:
    - » VCR, HD's, Guias de Micro-ondas, camcorders,...
- ◆ Aumento no rendimento:
  - Sony - 0,1% de defeitos em montagens manuais 3 meses após o lançamento de um novo produto. Essa taxa era de 20% nos EUA.
  - Sony - 20ppm a 0,01% na linha automatizada

## Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Reutilização do capital
  - Linha de walkman da Son”:
    - » Redução de novo capital de 17% para 1,5%
    - » Tempo para troca de produto de 45 para 6 dias
    - » Número de engenheiros de 5 para 0,5

## Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Em 1991
  - Japão - 22000 dos 50000 robôs instalados naquele ano eram utilizados em montagem (assembly)
  - EUA - 900 dos 4500 robôs instalados naquele ano eram utilizados em montagem.
- ◆ Japão aplica 70% dos montante de P&D em melhoria de processos
- ◆ EUA aplica 70% do montante de P&D em melhoria do produto.

## Viabilização Rápida da Automação

- ◆ Robótica
  - Redução no custo de 5-8% a.a.
  - Aumento no custo de mão de obra de 5% a.a.
- ◆ Tecnologia de Sensores
  - Ganho em preço/desempenho de 10-15% a.a.
- ◆ Tecnologia de Controle
  - Melhoria de 15-20% a.a.

## Introdução — Histórico

---

- ◆ 1921 – **ROBOTA**

» palavra checa que significa “trabalhador forçado”, usada por Karel Capek em um drama, em 1921, intitulado *R.U.R. (Rossum’s Universal Robots)*

- ◆ 1926 – Elektro e Sparko no filme alemão *Metrópolis*

- ◆ 1942 – **ROBÓTICA**

» Palavra inventada por Issac Asimov (1942), para denominar a ciência que lida com robôs.

## Introdução — Histórico

---

- ◆ As “Três Leis da Robótica” de Asimov:

1. Um robô não deve ferir um ser humano, ou por negligência em suas ações, permitir que um ser humano venha a ser ferido;
2. Um robô deve obedecer as ordens dadas por seres humanos, exceto quando essas ordens forem conflitantes com a Primeira Lei.
3. Um robô deve sempre garantir sua própria existência, somente enquanto tal proteção não contrariar a Primeira ou a Segunda Leis.

## Introdução — Histórico

---

- ♦ **1940** - Oak Ridge e Argonne National Labs manipuladores mecânicos remotos para materiais radioativos
- ♦ **1950** - Handyman (General Electric) e Minotaur I (General Mills) com atuação elétrica e pneumática
- ♦ **1954** - George C. Devol — “programmed articulated transfer device”
- ♦ **1959** - George C. Devol e Joseph F. Engelberger — Unimate – primeiro robô industrial
- ♦ **1962** - H.A. Ernst - *MH-1* - mão mecânica com sensores táteis, controlada por computador

## Introdução — Histórico

---

- ♦ **1968** - *Shakey* – Robô móvel desenvolvido no SRI (Stanford Research Institute)
- ♦ **1973** - *WAVE* – primeira linguagem de programação para robôs (SRI).
- ♦ **1978** - *PUMA* – Programmable Universal Machine for Assembly)
- ♦ **1981** - Direct-Drive Robot – CMU
- ♦ **1987** - Subsumption Architectures – Rodney Brooks (MIT)
- ♦ **1995** - AGV – Autonomous Guided Vehicle – costa a costa EUA com 92% de autonomia

## Robótica e Automação

---

### ◆ Automação

- Robôs de produção
- Ambientes estruturados
- Possibilidade limitada de percepção e decisão
- Células Integradas de Manufatura

### ◆ Robótica

- Robôs de exploração
- Ambientes não estruturados
- Dotados de múltiplos-sensores
- Utilização em ambientes hostis/perigosos

## Caracterização de Manipuladores

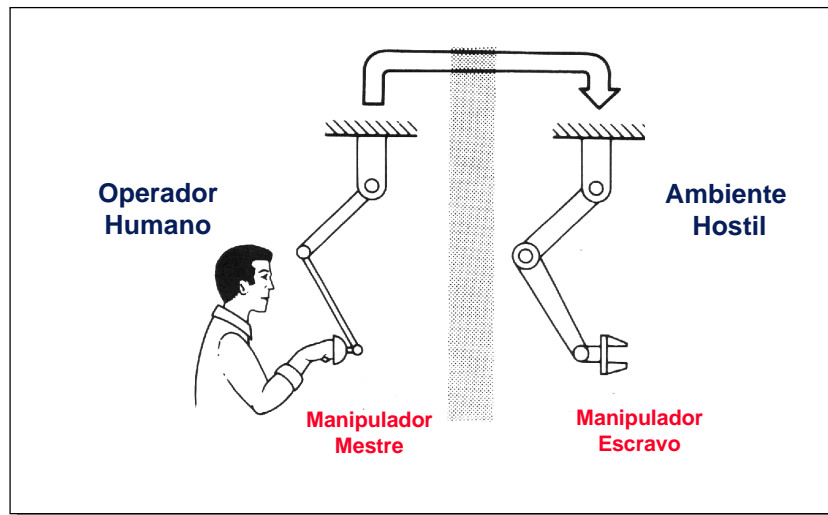
---

### ◆ Origem

- Telemanipuladores – Mestre/Escravo
- Máquinas de controle numérico



## Mestre-escravo



©1998 Mario Campos

17

## Caracterização de Manipuladores

- ◆ Adaptabilidade
- ◆ Polivalência
- ◆ Versatilidade ou flexibilidade
- ◆ Grau de automatismo

*Ex.: Telemanipuladores: extremamente polivalentes, automatismo quase nulo*

*Máquinas-ferramenta: alto grau de automatismo, polivalência quase nula*

©1998 Mario Campos

18

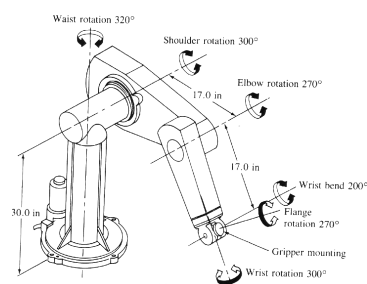
## Caracterização de Manipuladores

- ♦ Definição (RIA - 1979) - “um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos programados para o cumprimento de tarefas variadas”.

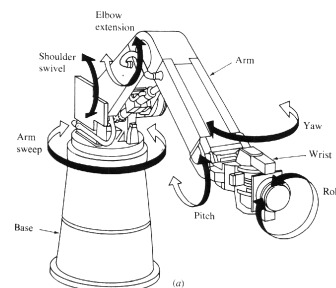
(RIA - 1989) “... máquinas estas equipadas com sistemas de visão e/ou outras modalidades de dispositivos sensores.”

\* RIA - Robotic Institute Association

## Exemplos Manipuladores



**PUMA 560**



**Milacron T3**

## Caracterização de Manipuladores

---

- ◆ Robôs Sequenciais (2 a 4 d.o.f.)
  - Sequência Fixa
  - Sequência Variável
- ◆ Robôs Programáveis (4 a 8 d.o.f.)
  - Playback
  - Linguagem
- ◆ Robôs Inteligentes

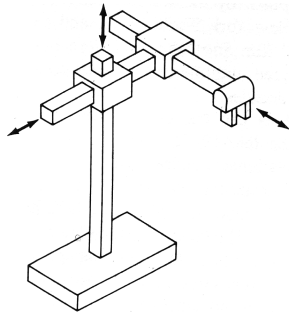
## Tipos e Manipuladores

---

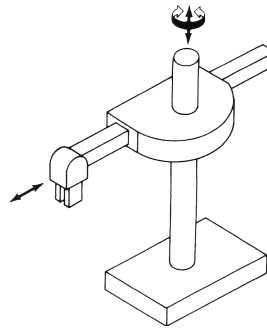
- ◆ Articulado ou Rotacional
- ◆ Cilíndrico
- ◆ Esférico ou Polar
- ◆ Cartesiano ou Retangular
- ◆ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)
- ◆ Spine
- ◆ Pórtico
- ◆ Móveis

## Tipos de Manipuladores

---



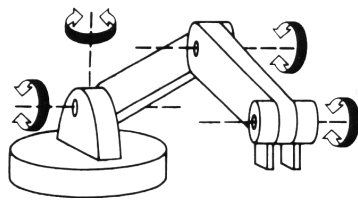
Cartesiano



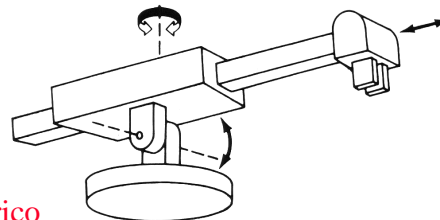
Cilíndrico

## Tipos de Manipuladores

---



Revolutivo

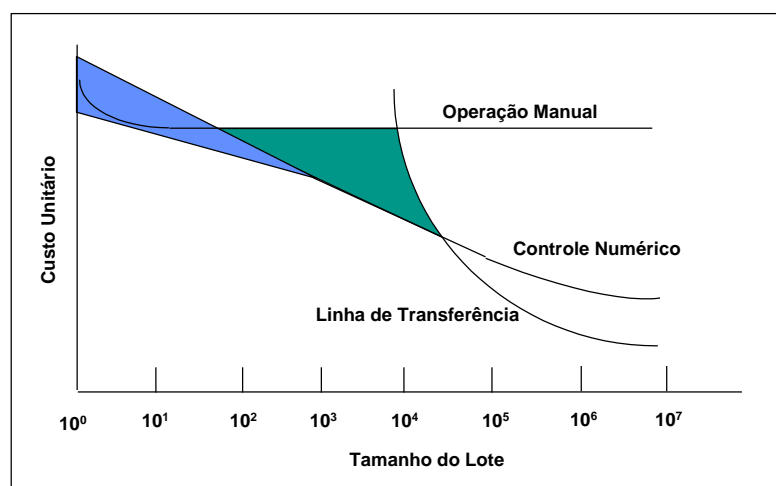


Esférico

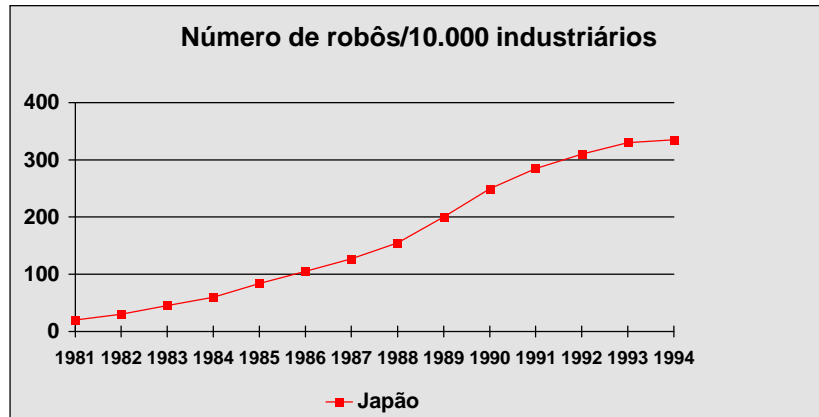
## Robótica na Automação Industrial

- ◆ Sete operações básicas:
  - Estudos e concepção
  - Preparação e Métodos
  - Fabricação
  - Controle de Qualidade
  - Acondicionamento
  - Estocagem
  - Venda e Manutenção

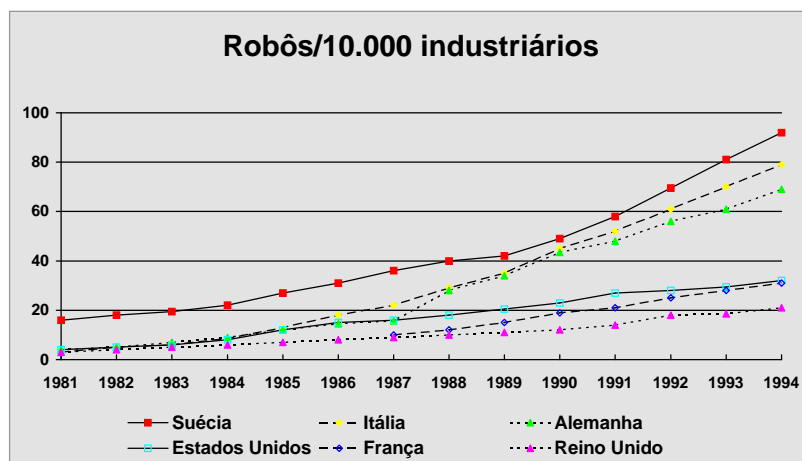
## Robótica na Automação Industrial



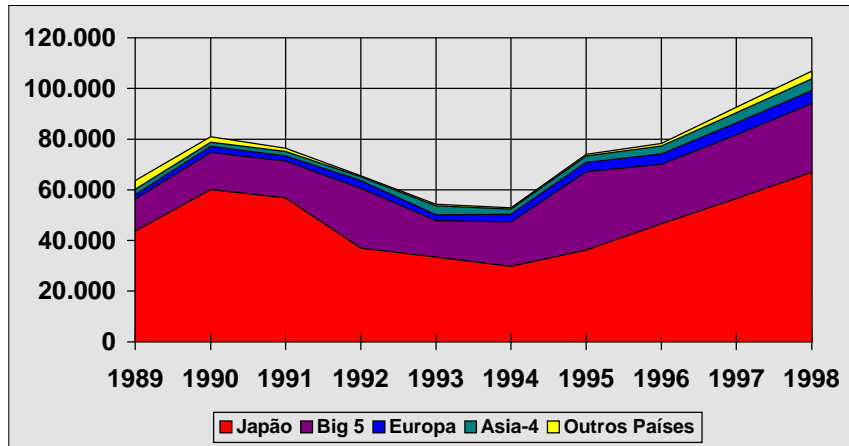
## Densidade de robôs na indústria



## Densidade de robôs na indústria



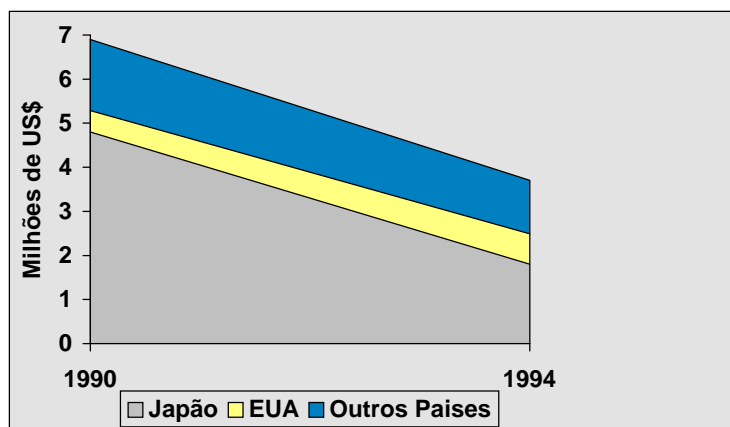
## Suprimento de robôs mundialmente



©1998 Mario Campos

29

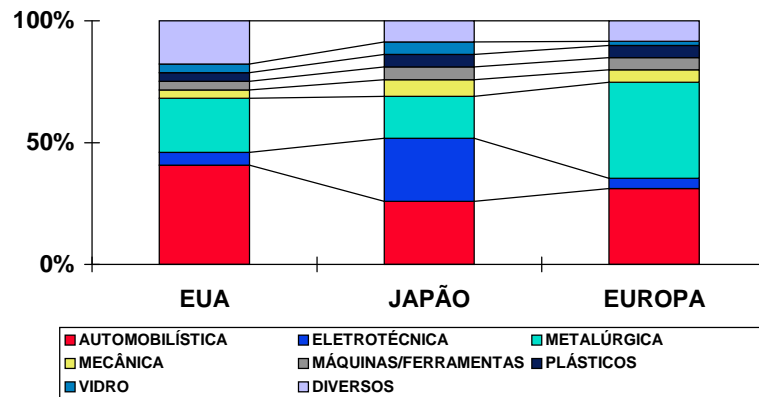
## Mercado Mundial



©1998 Mario Campos

30

## Aplicações Industriais



## Aplicações por tipos de robôs

### Manipuladores Sequenciais

- Serviços de prensas
- Serviços de máquinas-ferramenta
- Transferência de peças para montagens
- Micromanipulação de circuitos
- Manipulação de micromecânica
- Montagens repetitivas (enroscar peças)
- Serviço de prensas de estamperia
- Alimentação de máquinas de moldar (injeção sob pressão)
- Extração de moldes de máquinas de moldar
- Serviço de fornos e forjas
- Manipulação de cargas pesadas
- Pintura de objetos especiais



## Aplicações por tipos de robôs

---

### Manipuladores Programáveis

- Solda (a arco ou ponto)
- Pintura
- Montagens
- Serviço de máquinas-ferramenta
- Controle de qualidade
- Serviço de fornos, forjas e fundições
- Rebitagem
- Paletização
- Acabamento de peças
- Posicionamento de peças para solda
- Manipulação de cargas pesadas

## Aplicações por tipos de robôs

---

### Manipuladores Inteligentes

- Montagem e inserção de peças
- Manipulação com controle visual (laser)
- Soldagem com controle visual (câmera)

## Linhas de Pesquisa em Robótica

---

### ♦ **Representação e modelagem**

- Objetos, sistemas
- Leis da natureza
- Processos

### ♦ **Sensores**

- Hardware
- Interpretação
- Interação
- Fusão

## Linhas de Pesquisa em Robótica

---

### ♦ **Manipulação e locomoção**

- Hardware
- Otimização de modelos geométricos, cinemáticos e dinâmicos
- Identificação de parâmetros
- Controle e coordenação de movimentos
- Desempenho, destreza, precisão

### ♦ **Inteligência**

- Hardware
- Organização
- Linguagens
- Aquisição de conhecimento
- Resolução de problemas

## Linhas de Pesquisa em Robótica

---

### ♦ Percepção

- Coordenação percepção/ação
- Sensores (hápticos, visão, força/torque, proximidade, etc.)
- Fusão de sensores

### ♦ Móvel

- Controle
- Agentes múltiplos
- Coordenação
- Comunicação
- Planejamento
- Evitar colisões
- Tempo-real

## Robótica e a Sociedade

---

### ♦ Enquete no Japão:

- |                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| – Economizar mão-de-obra         | 44,5%  |
| – Melhorar condições de trabalho | 25,0 % |
| – Aumentar flexibilidade         | 13,5 % |
| – Melhorar controle de qualidade | 8,0 %  |
| – Outros                         | 9,0 %  |

### ♦ Segunda revolução industrial

### ♦ Adequação da mão-de-obra

### ♦ Utilização em ambientes hostis/perigosos

## Robótica no Brasil

---

- ◆ 1983 – SEI - Secretaria Especial de Informática cria CEAM - Comissão Especial para a Automação da Manufatura;
- ◆ Qualificação de 16 empresas para desenvolvimento, fabricação, integração e comercialização de sistemas em robótica;
- ◆ Mão-de-obra barata;
- ◆ Poucos robôs (< 200) concentram-se principalmente na indústria automotiva.

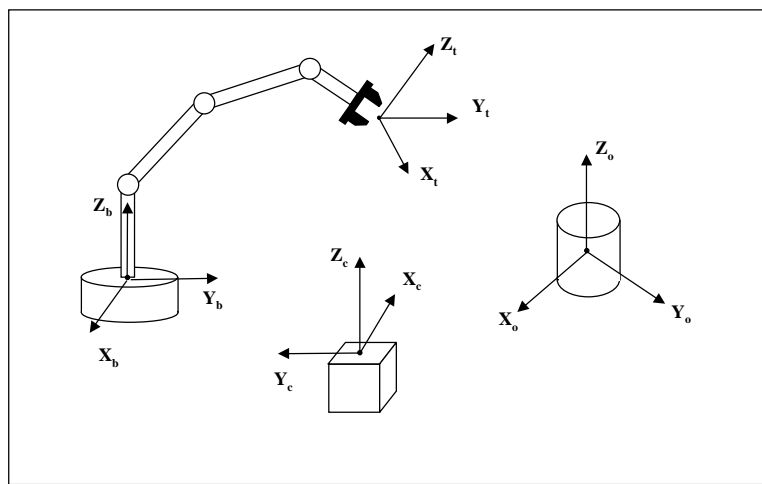
---

## DESCRIÇÃO DE POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO

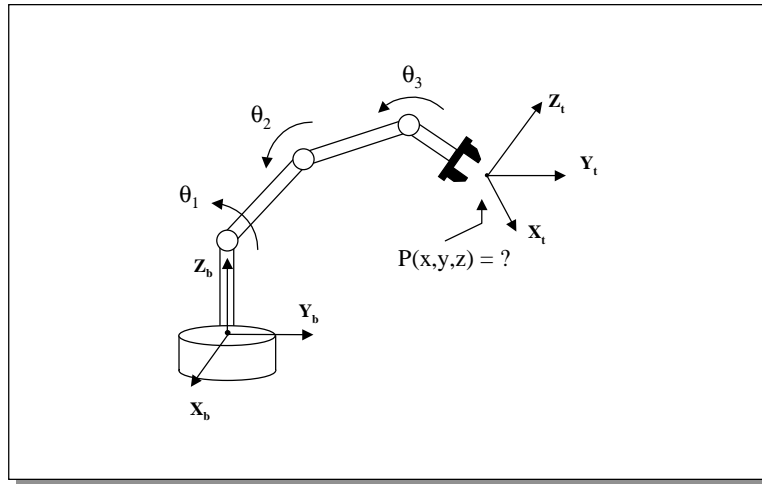
## Descrição: Posição e Orientação

- ◆ Localizar objetos no espaço 3D;
- ◆ Relacionar a posição e orientação relativas entre objetos;
- ◆ Transformar ou mudar a descrição de atributos;

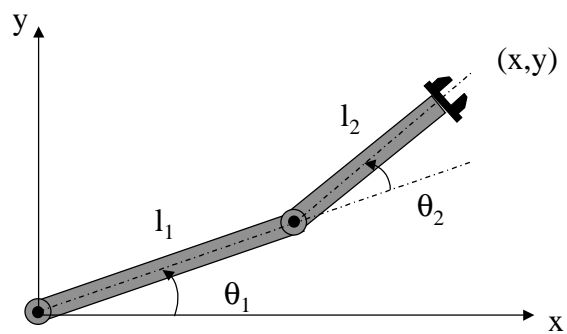
## Referenciais (Frames)



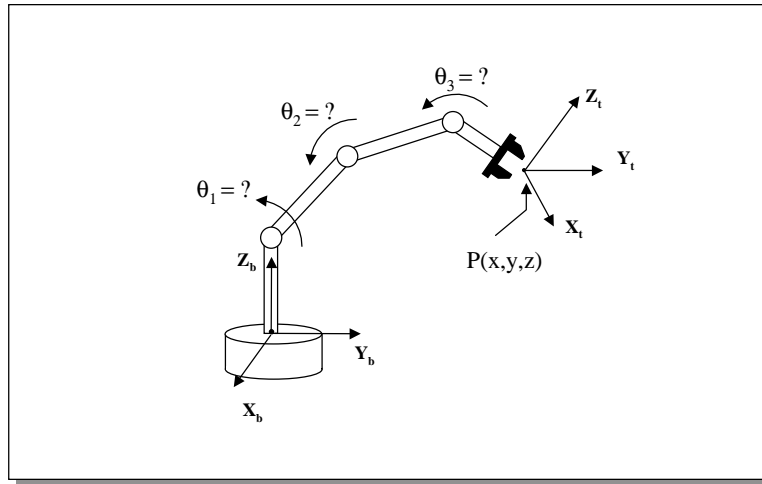
## Cinemática Direta



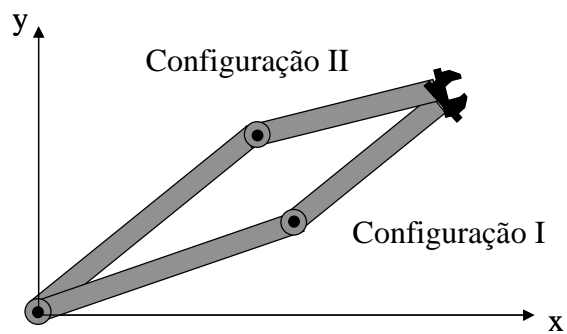
## Cinemática Direta



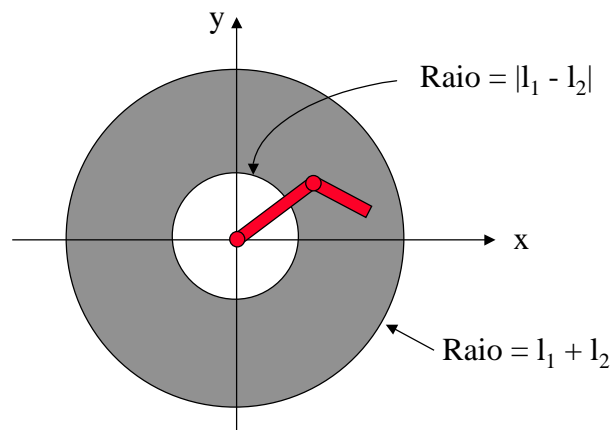
## Cinemática Inversa



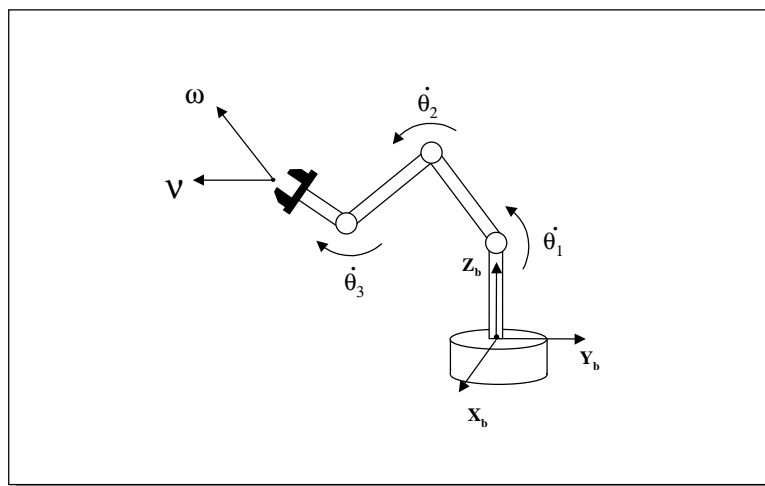
## Cinemática Inversa



## Espaço de Trabalho

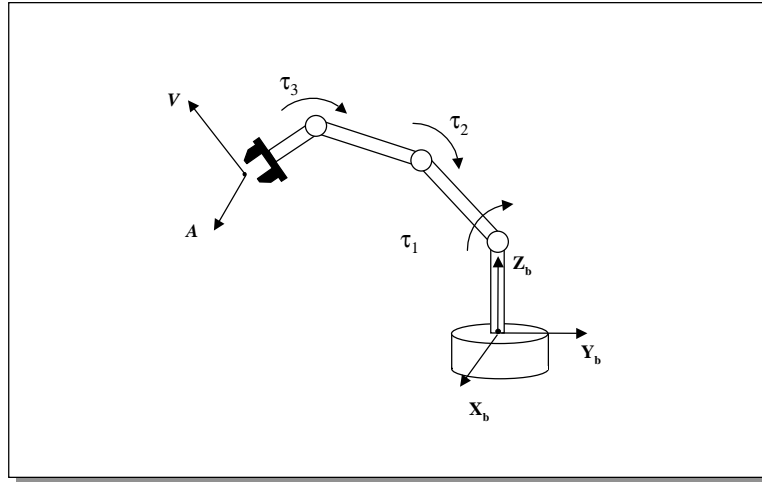


## Velocidades, forças estáticas, singularidades

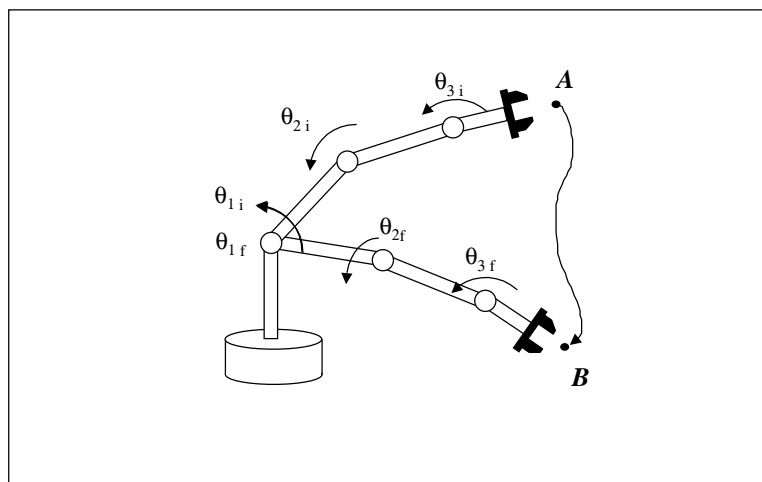




## Dinâmica de Manipuladores

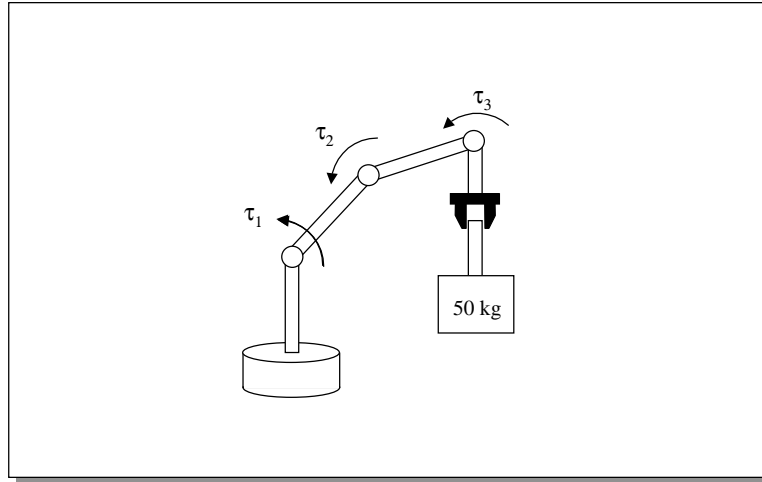


## Geração de Trajetória



## Projeto de Manipuladores

---



©1998 Mario Campos

51

## Controle de Posição

---

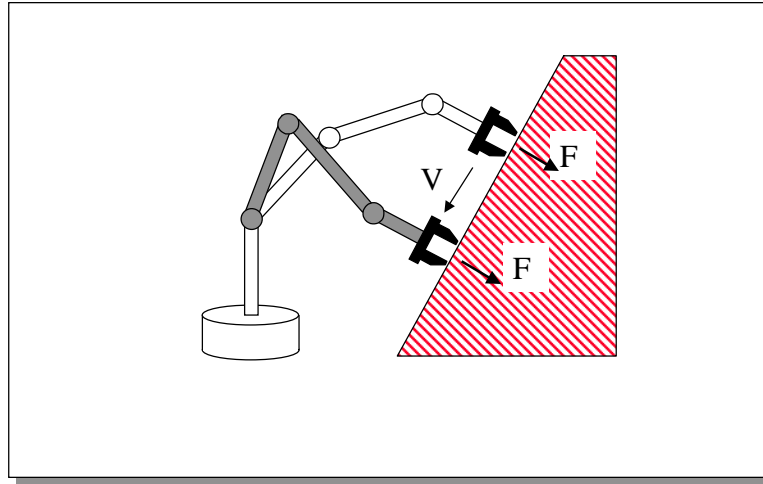
- ◆ linear
- ◆ não-linear

©1998 Mario Campos

52

## Controle de Força

---



## Programação de Robôs

---

- ◆ Programação off-line e simulação
- ◆ Teach-and-play
- ◆ Linguagens
- ◆ Tempo-real
- ◆ Múltiplos robôs

## Robôs Móveis

---

- ◆ Submarinos (**u**nderwater)
- ◆ Aéreos (**a**erial)
- ◆ Terrenos (**g**round)

## Robôs Móveis

---

- ◆ Telecontrolados
- ◆ Semi-autônomos
- ◆ Autônomos

## Robôs Móveis

---

- ◆ Aéreos
  - Empuxo por flutuação
  - Empuxo aerodinâmico
- ◆ Terrenos
  - Rodas
  - Pernas

## Robôs Móveis

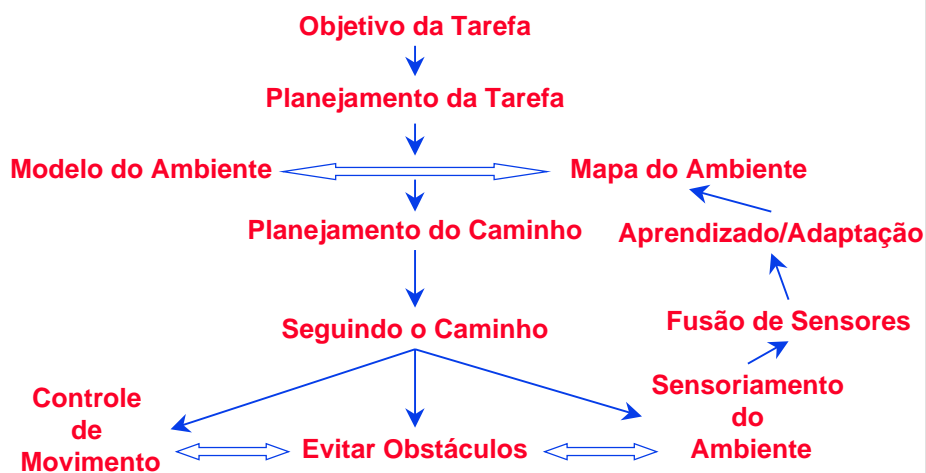
---

- ◆ Missão
- ◆ Planejamento
- ◆ Navegação
- ◆ Controle

# Navegação

- ◆ Dirigir o curso de um robô móvel durante o seu deslocamento em um ambiente (subaquático, sobre a terra ou no ar)
- ◆ Envolve três tarefas:
  - Mapeamento
  - Planejamento
  - Direcionamento

# Hierarquia de Controle



## Processo de Navegação

---

- ◆ Medidas
- ◆ Modelagem
- ◆ Percepção
- ◆ Planejamento
- ◆ Ação

## Medidas

---

- ◆ Sentir o ambiente
- ◆ Detectar objetos
- ◆ Odometria
- ◆ Entrada de comandos do usuário

## Modelagem

---

- ◆ Mapear o ambiente
- ◆ Extrair características
- ◆ Modelar objetos
- ◆ Mapear caminhos

## Percepção

---

- ◆ Encontrar caminhos
- ◆ Detectar situações de colisão
- ◆ Aprendizado do mapa



## Planejamento

---

- ◆ Decompor a tarefa em sub-alvos
- ◆ Selecionar um caminho
- ◆ Escolher alternativas quando um caminho estiver obstruído

## Ação

---

- ◆ Navegar
- ◆ Percorrer o caminho evitando colisões
- ◆ Controle baseado nos modelos cinemático e dinâmico do robô

## Sensores

---

- ◆ Sensores de “range”
  - Triangulação
  - Luz estruturada
  - “Tempo-de-vôo”
- ◆ Sensores de Proximidade
  - Indutivos
  - Capacitivos
  - Efeito Hall
  - Ultrasônicos
  - Ópticos

## Sensores

---

- ◆ Sensores de Toque
  - Binários
  - Analógicos
- ◆ Sensores de Posição
  - Resolvers
  - Encoders
  - Potenciômetros
- ◆ Calibração

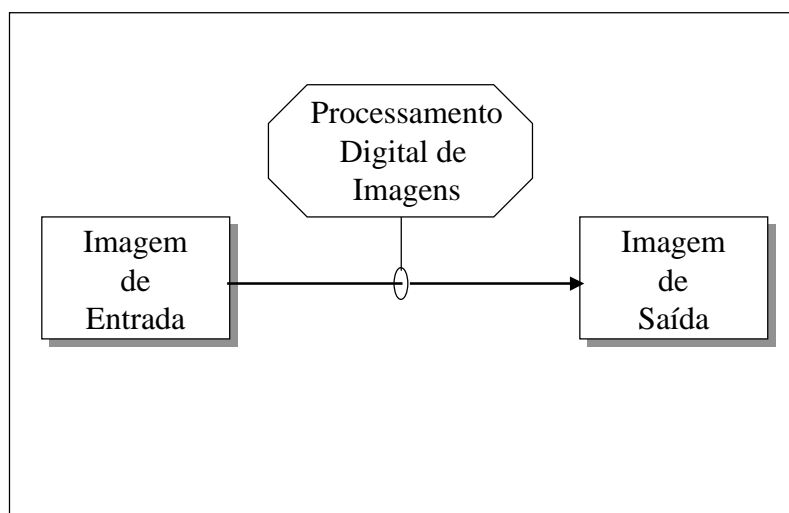
## Visão Computacional

---

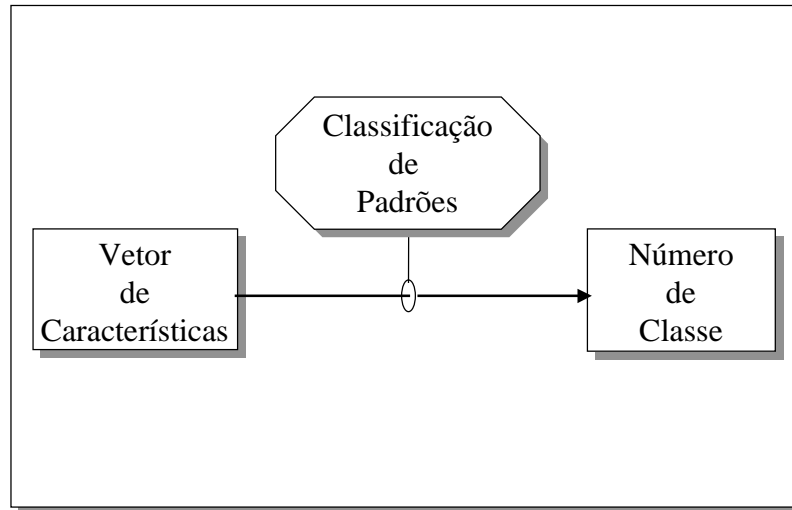
- ♦ Seres Vivos
  - Sentido mais poderoso
  - O mais complexo
- ♦ Visão Computacional
  - Objetivo – produzir descrição (modelo 3D) de objetos a partir de imagem(s).
- ♦ Áreas relacionadas
  - Processamento Digital de Imagens - PDI
  - Classificação de Padrões
  - Análise de cenas

## Processamento Digital de Imagens

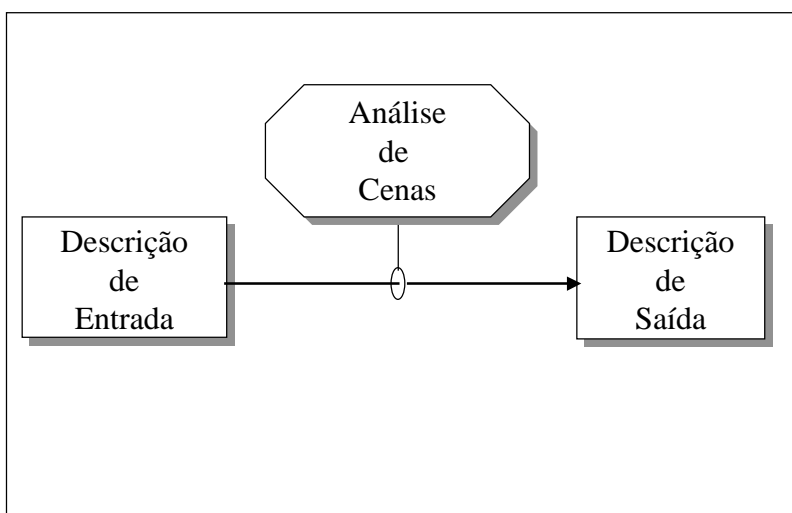
---



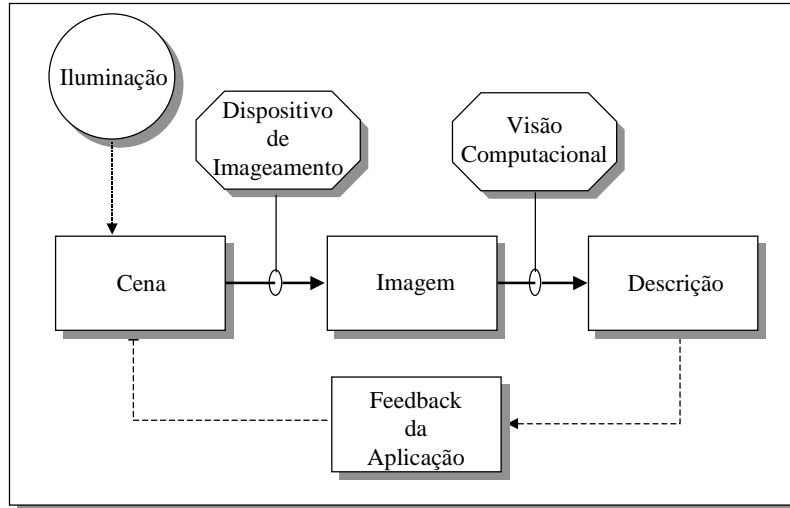
## Classificação de Padrões



## Análise de Cenas



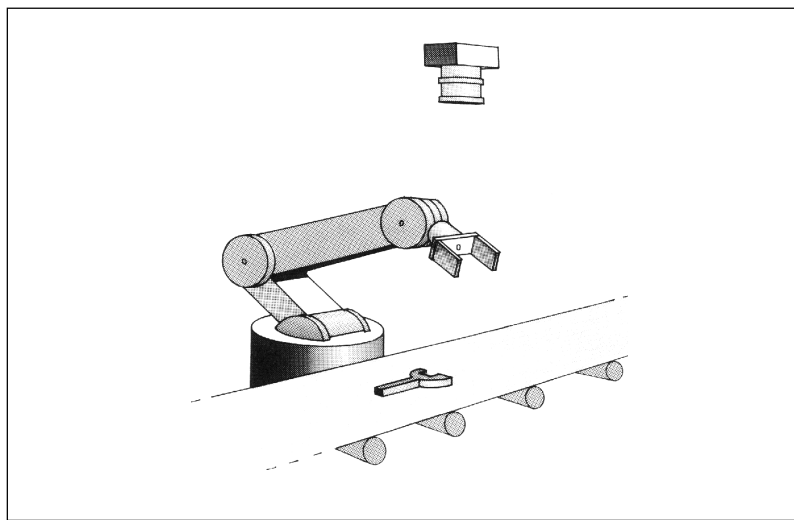
## Sistema de Visão Computacional



©1998 Mario Campos

73

## Sistema de Visão Computacional



©1998 Mario Campos

74