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, entitulado 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

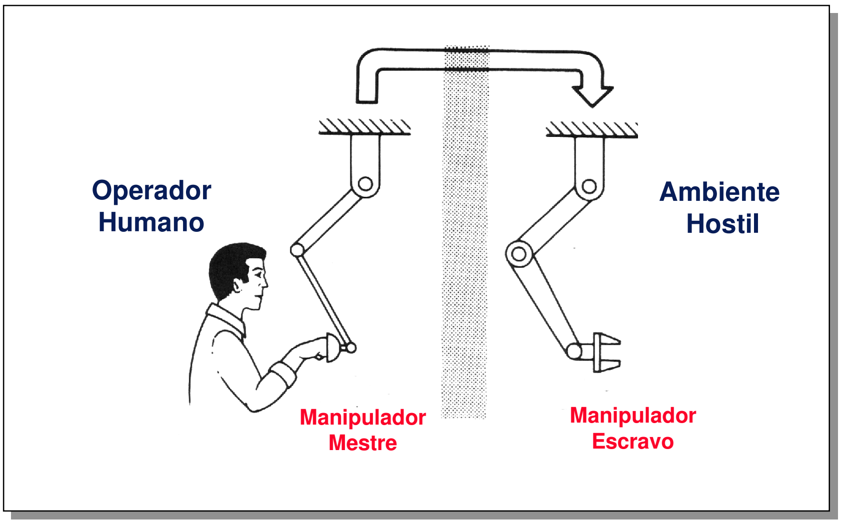
Robótica e Automação

- **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



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

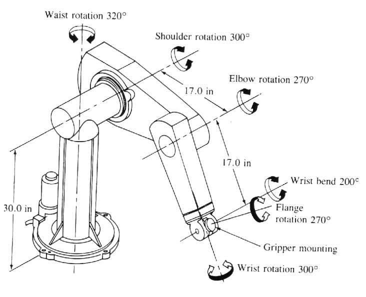
Caracterização de Manipuladores

- 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”.

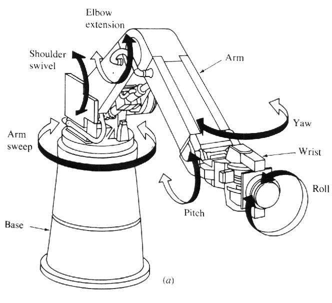
  (RIA - 1989) “... máquinas estas equipadas com sistemas de visão e/ou outras modalidades de dispositivos sensores.”

* RIA - Robotic Institute Association

Exemplos Manipuladores



PUMA 560



Milacron T3

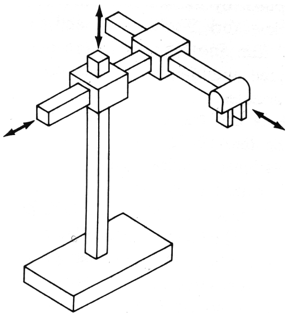
Caracterização de Manipuladores

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

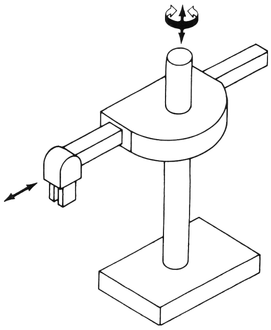
Tipos e Manipuladores

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

Tipos de Manipuladores

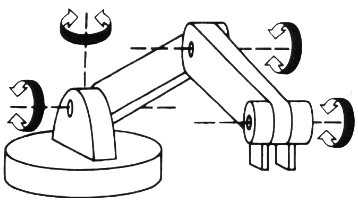


Cartesiano

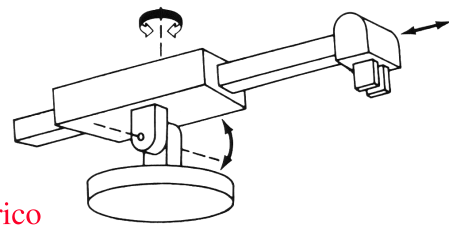


Cilíndrico

Tipos de Manipuladores



Revoluto

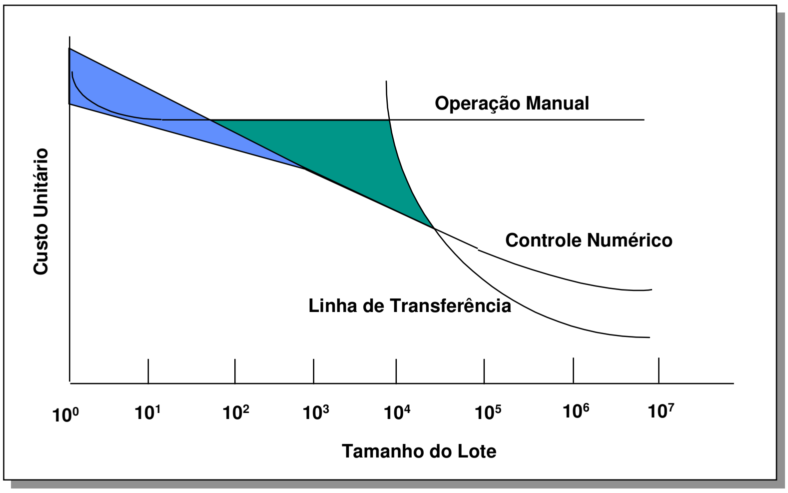


Esférico

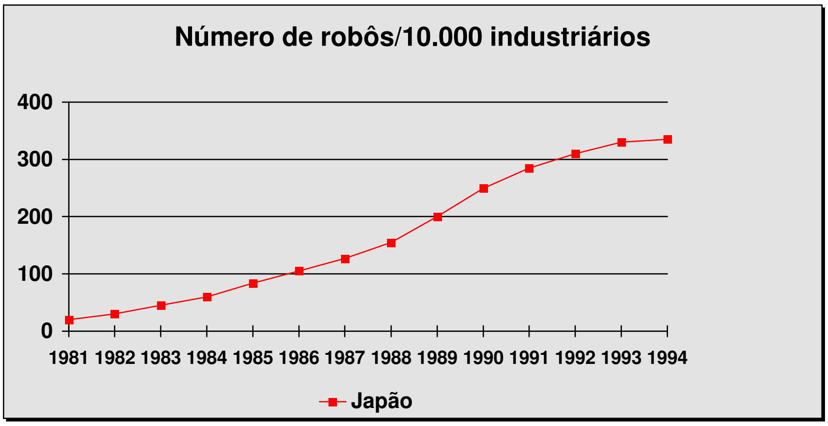
Robótica na Automação Industrial

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

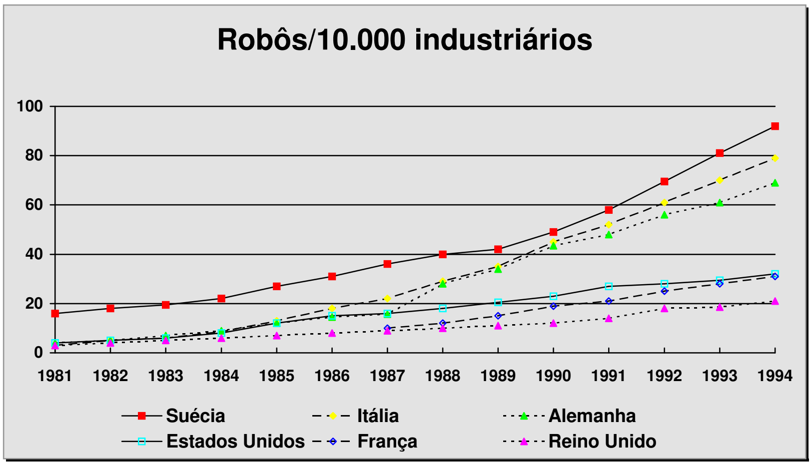
Robótica na Automação Industrial



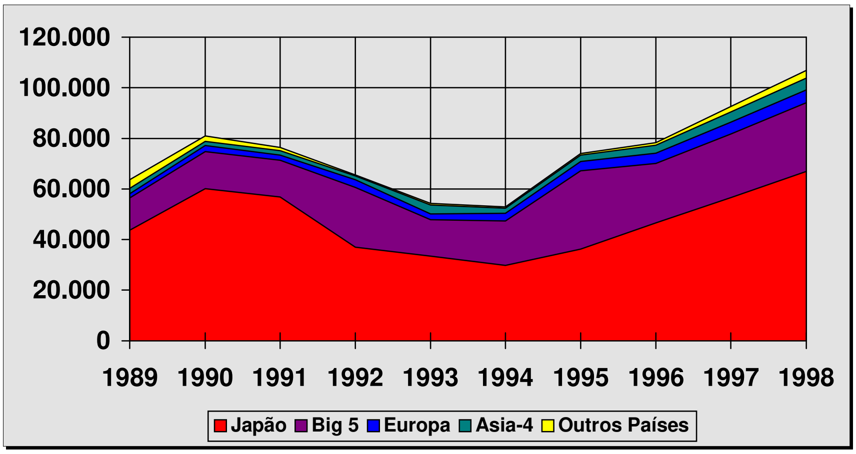
Densidade de robôs na indústria



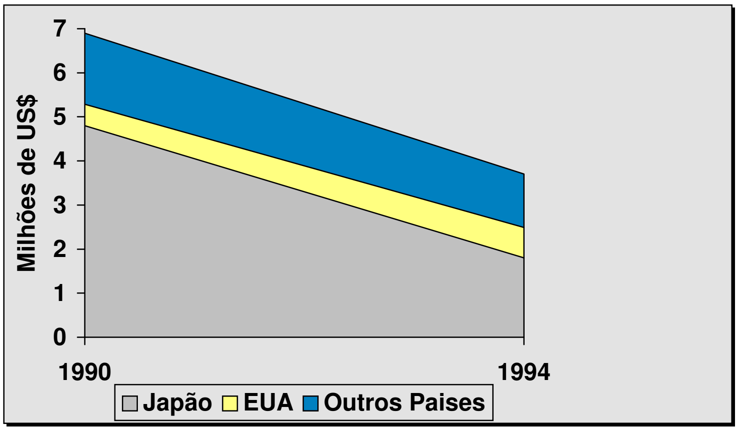
Densidade de robôs na indústria



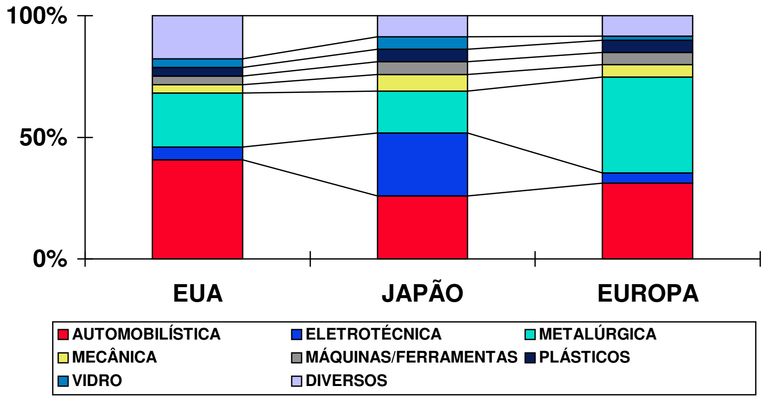
Suprimento de robôs mundialmente



Mercado Mundial



Aplicações Industriais



Aplicações por tipos de robôs

Manipuladores Sequenciais

- Serviços de prensas
- Serviços de máquinas-ferramenta
- Transferencia de peças para montagens
- Micromanipulação de circuitos
- Manipulação de micromecânica
- Montagens repetitivas (enroscar peças)
- Serviço de prensas de estamparia
- 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

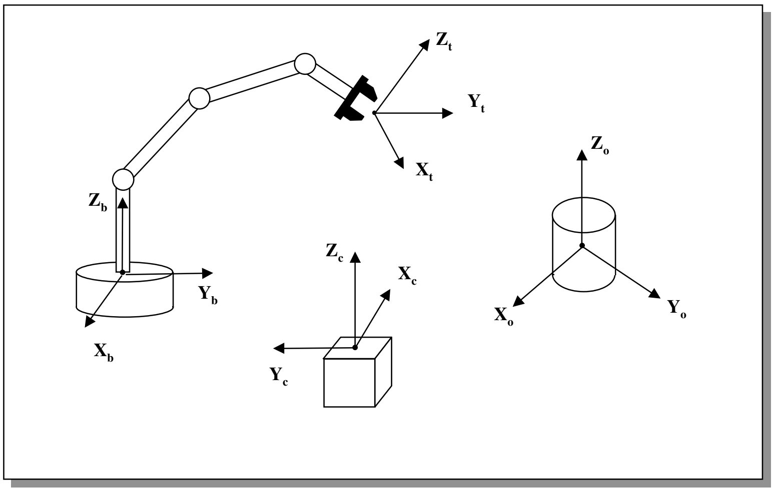
- 1983 – SEI - Secretaria Especial de Informática cria CEAM - Comissão Especial para a Automação da Manufatura;
- Qualificação de 16 empresas para desenvolvimento, fabricação, integração e comercialização de sistemas em robótica;
- Mão-de-obra barata;
- Poucos robôs (< 200) concentram-se principalmente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

DESCRIÇÃO DE POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO

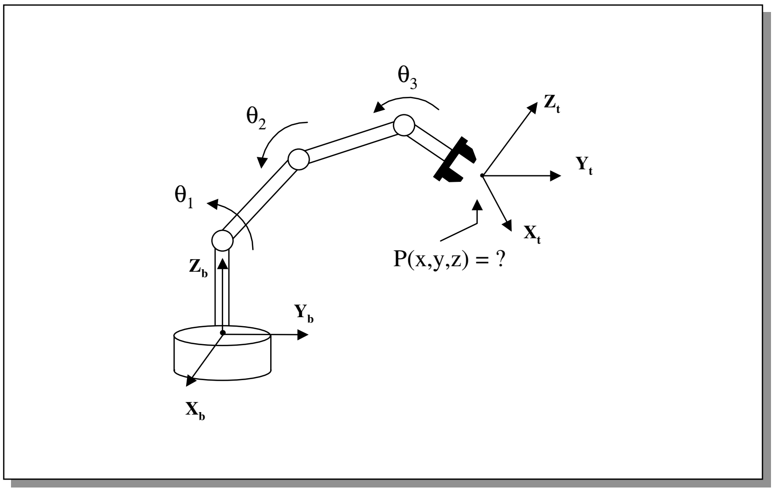
Descrição: Posição e Orientação

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

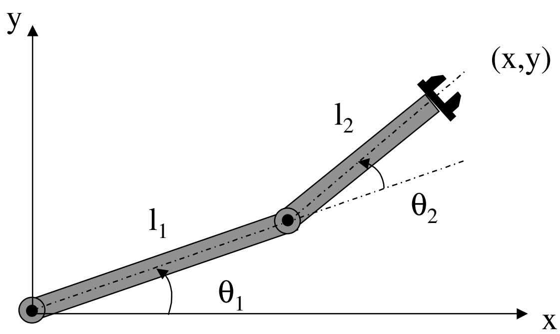
Referenciais (Frames)



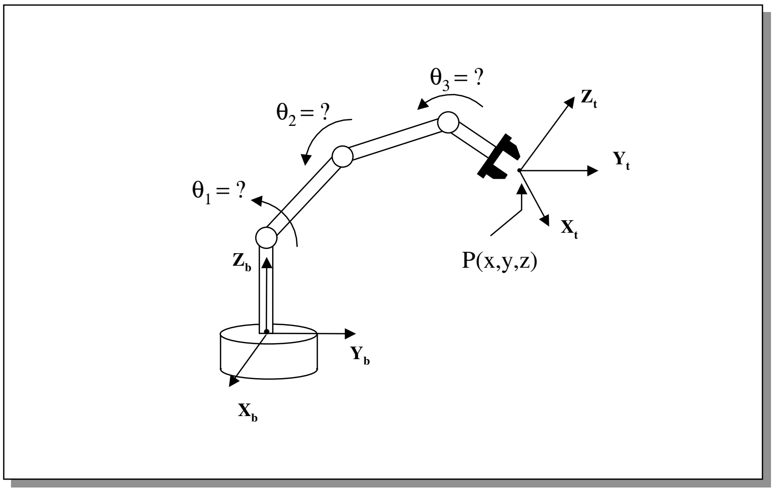
Cinemática Direta



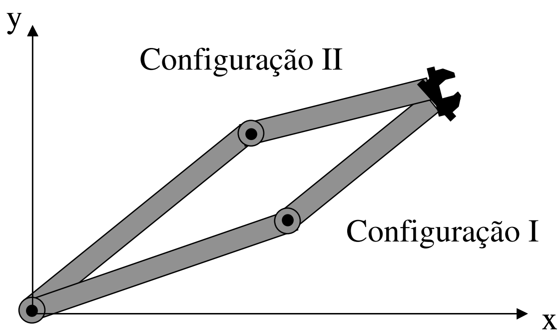
Cinemática Direta



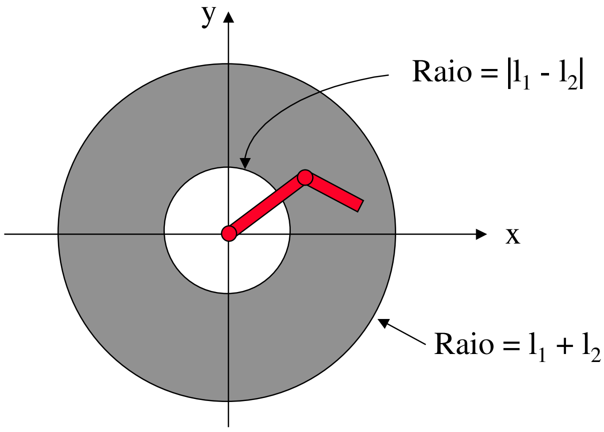
Cinemática Inversa



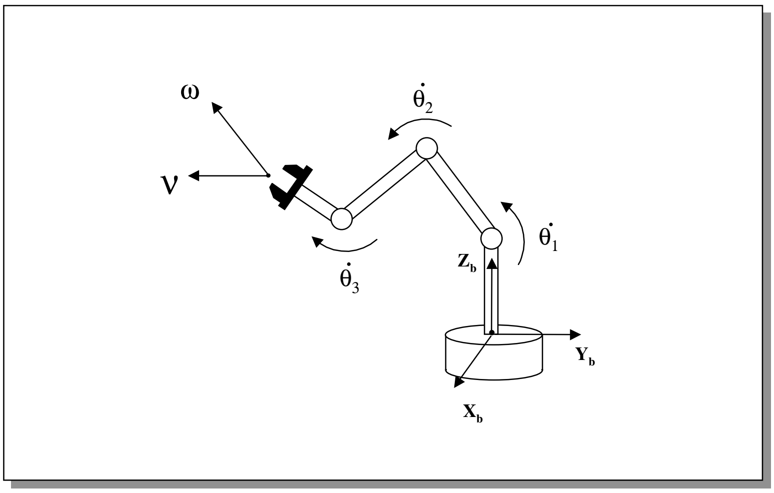
Cinemática Inversa



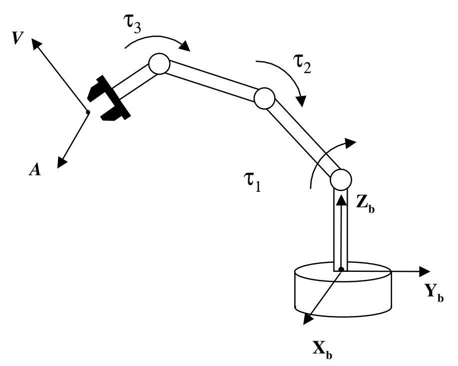
Espaço de Trabalho



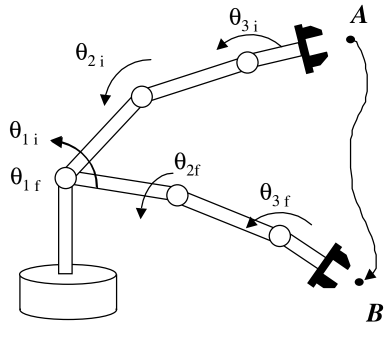
Velocidades, forças estáticas, singularidades



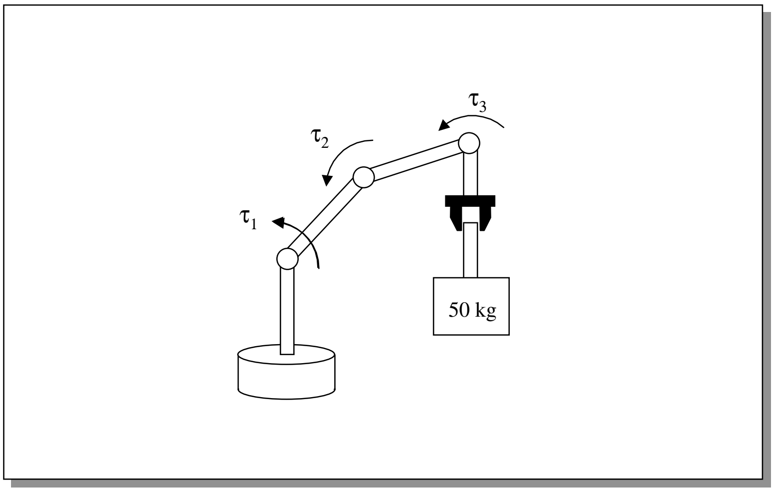
Dinâmica de Manipuladores



Geração de Trajetória



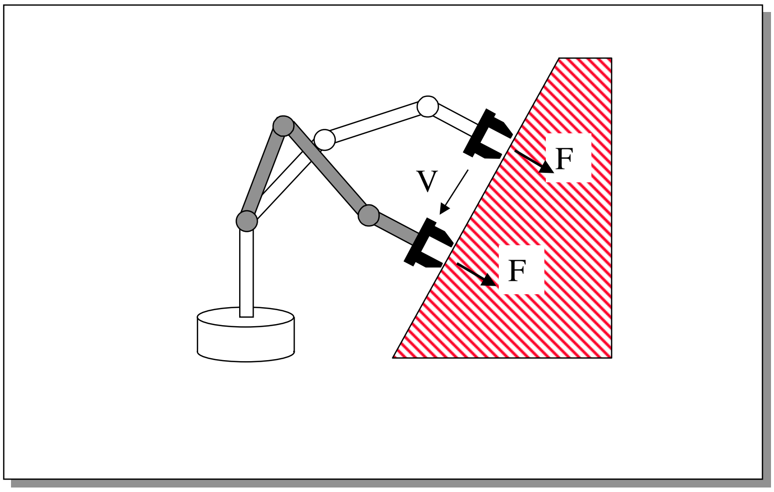
Projeto de Manipuladores



Controle de Posição

- linear
- não-linear

Controle de Força



Programação de Robôs

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

Robôs Móveis

- Submarinos (underwater)
- Aéreos (aerial)
- Terrenos (ground)

Robôs Móveis

- Telecontrolados
- Semi-autônomos
- Autônomos

Robôs Móveis

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

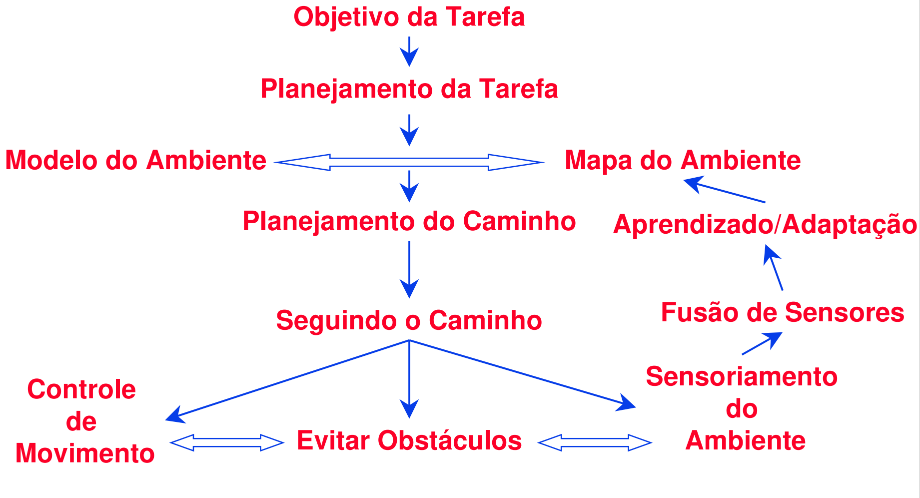
Robôs Móveis

- 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

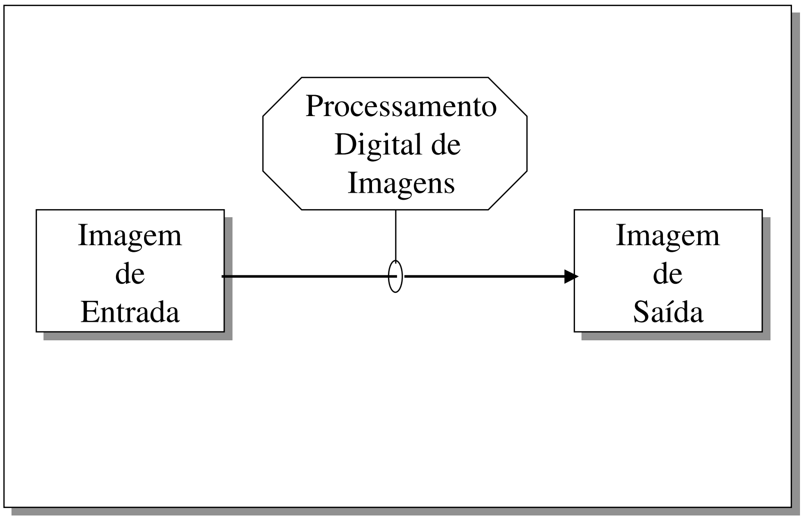
Sensores

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

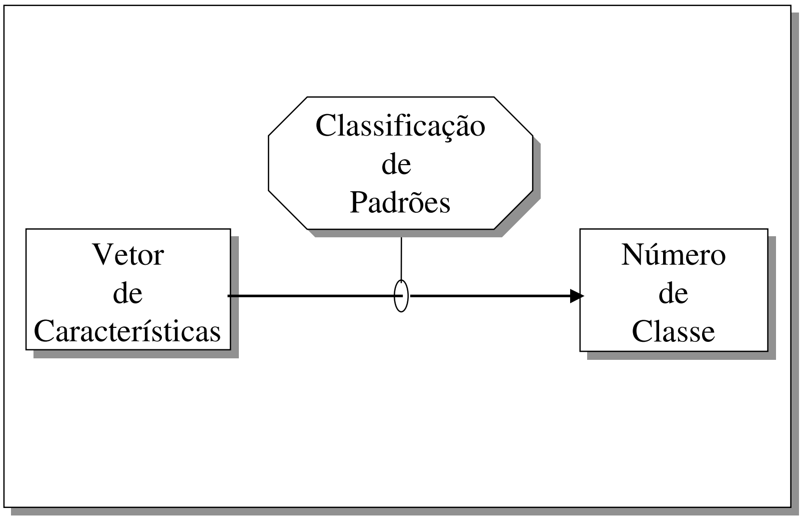
Visão Computacional

- 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

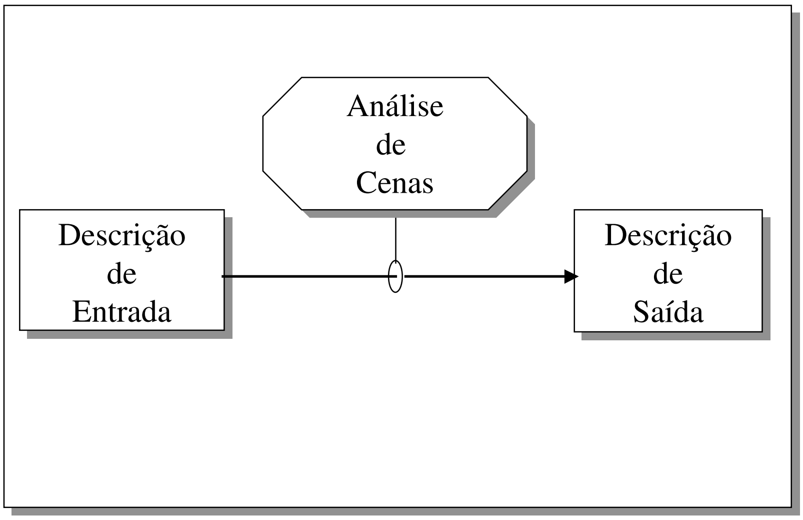
Processamento Digital de Imagens



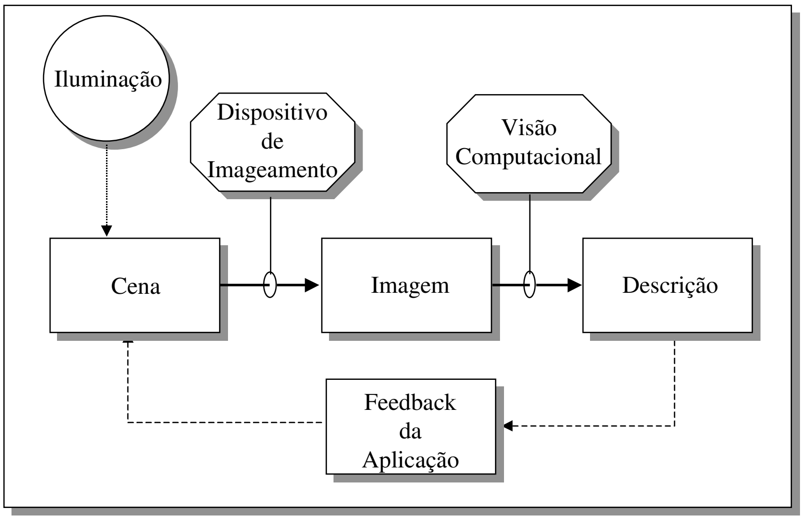
Classificação de Padrões



Análise de Cenas



Sistema de Visão Computacional



Sistema de Visão Computacional