

1. ROBÓTICA: CONCEITOS BÁSICOS

1.1 Robôs Manipuladores:

Robô: Máquina universal programável que tem existência no mundo físico e atua nele através de movimentos mecânicos.

Espaço de Trabalho: Região do mundo que o robô pode alcançar através dos seus movimentos, onde pode levar a cabo as tarefas programadas.

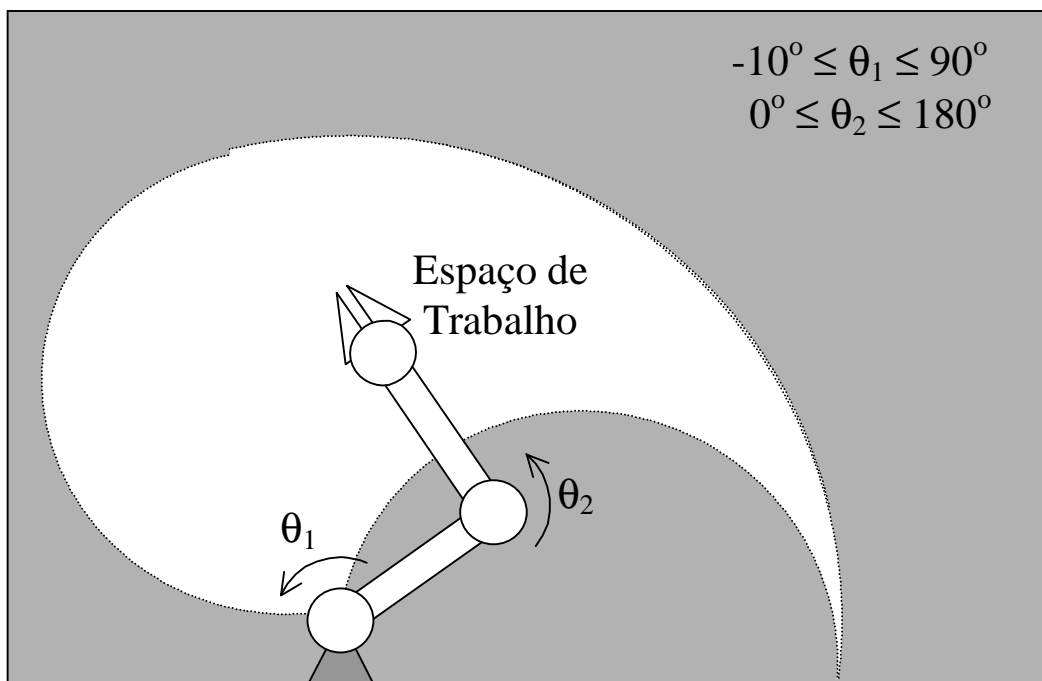


Figura 1.1. Exemplo de robô em seu espaço de trabalho.

Robô Manipulador Industrial:

Definição:

- Robotic Industries Association (RIA): “manipulador multifuncional reprogramável, projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas”.
- Norma ISO 10218: “máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel, para utilização em aplicações de automação industrial”.

Características gerais:

- Emula a função do braço humano: através do seu movimento manipula objetos (ferramentas, peças, etc.) no seu espaço de trabalho.
- Pelo menos um ponto da sua estrutura é fixo na sua base.
- Seu espaço de trabalho é limitado a uma região próxima a esse ponto fixo.



Figura 1.2. Exemplo de um Robô Manipulador Industrial.

1.2 Histórico:

Antecedentes:

- **Século XVIII:** bonecos mecânicos / calculadoras mecânicas.
- **Século XIX:**
 - Tear programável de Jacquard / Máquina analítica de Babbage.
 - Frankenstein (Mary Shelley).
- **Século XX:**
 - **1920:** Karel Capek - Robôs Universais de Rossum.
 - **1939:** Asimov - “três leis da Robótica”.
 - **1943:** Colossus – 1º computador eletrônico (Inglaterra).
 - **1951:** teleoperador mestre-escravo / *Whirlwind* (MIT) 1º computador tempo real.
 - **1952:** máquina ferramenta de comando numérico (MIT).

⇒ **Robô Manipulador = teleoperadores + comando numérico**

1ª Geração – (a partir da década de 50):

- São dotados apenas de sensores proprioceptivos (percebem apenas estados internos do robô).
- Requerem um ambiente estruturado, com posicionamento preciso dos objetos.
- Robôs de seqüência fixa, repetem uma mesma seqüência de movimentos.
- Precisam ser reprogramados para executar uma nova seqüência.
- Dotados de pequeno poder computacional.

- **1954:** Devol - patente de dispositivo de transferência programada de artigos.
- **1962:** Devol/Engelberger - Unimation.
- **1971:** braço elétrico de Stanford.
- **1973:** WAVE - 1ª linguagem de programação de robôs.
- **1974:** linguagem AL.
- **1979:** linguagem VALII.
- **1981:** Direct-Drive (Carnegie-Mellon).

2ª Geração – (a partir da década de 80):

- São dotados de sensores proprioceptivos e exteroceptivos (percebem o estado atual do ambiente). Exemplo: visão e tato.
- Podem atuar em um ambiente parcialmente estruturado.
- Exemplo: reconhecer um objeto a ser manipulado fora da sua posição ideal e alterar, em tempo real, os parâmetros de controle, de modo a completar a tarefa.

3ª Geração – (a partir da 2ª metade da década de 90):

- Fazem uso intensivo de sensores, algoritmos de percepção e algoritmos de controle inteligentes, bem como são capazes de comunicar-se com outras máquinas.
- São capazes de tomar decisões autônomas frente a situações não previstas.
- Podem atuar em um ambiente não estruturado.
- Uso incipiente na indústria.

1.3 Estrutura Mecânica de um Braço Robótico Manipulador:

Robô Manipulador: Conjunto de corpos rígidos, (chamados *elos*), interligados em uma cadeia cinemática aberta através de juntas, as quais são acionadas por atuadores de modo a posicionar a extremidade livre da cadeia (órgão terminal, efetuador, garra ou ferramenta) em relação à outra extremidade, que é fixa (base do manipulador).

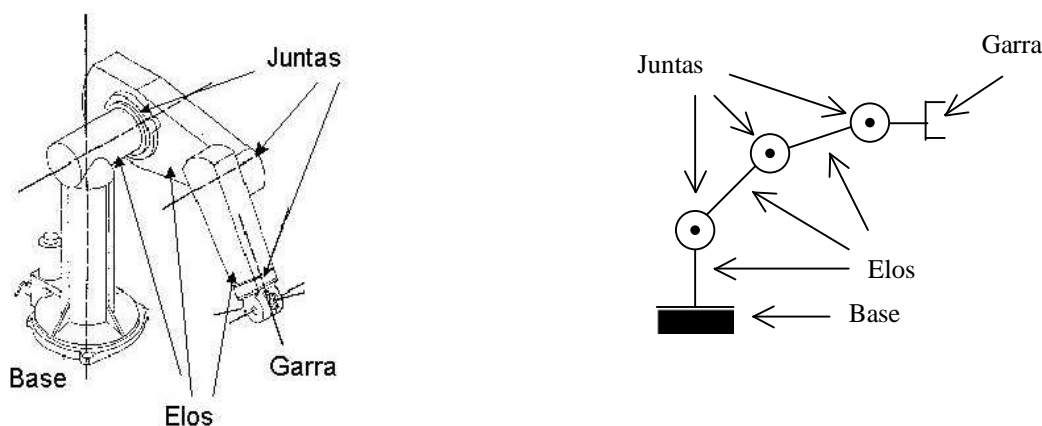


Figura 1.3. Estrutura de um braço manipulador robótico.

Junta: Interligação entre dois elos que permitem o movimento relativo entre os mesmos numa única dimensão ou *Grau de Liberdade*.

Junta Rotacional: Permite a mudança da orientação relativa entre dois elos.

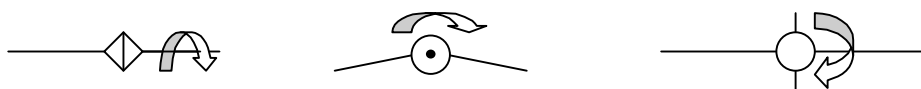


Figura 1.4. Junta Rotacional.

Junta Prismática: Permite a mudança da orientação relativa entre dois elos.

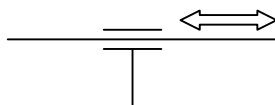
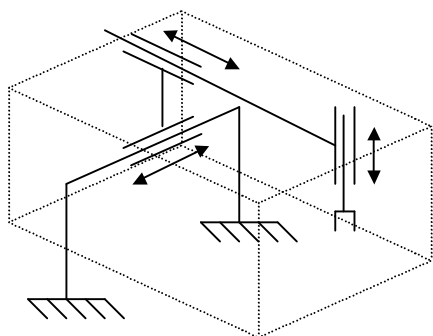


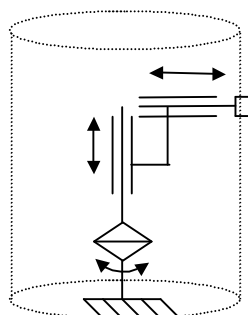
Figura 1.5. Junta Prismática.

Mecanismos de Braço: conjunto dos três primeiros elos do manipulador e suas juntas correspondentes. Determina predominantemente a posição da ferramenta. Requer atuadores mais potentes.

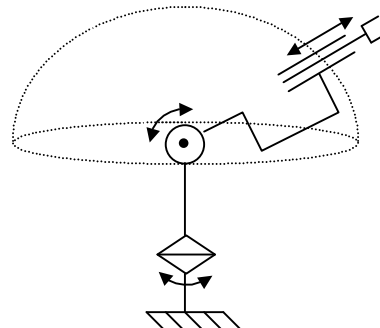
Cartesiano (PPP):



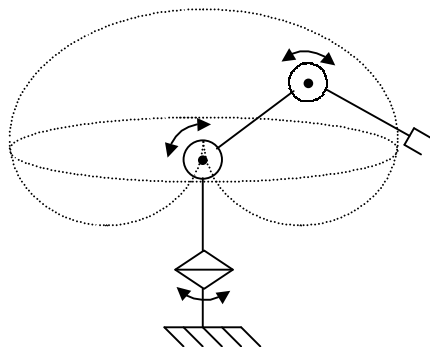
Cilíndrico (PPR):



Esférico (PRR):



Multi-Juntas Vertical (RRR):



Multi-Juntas Horizontal – (PRR):

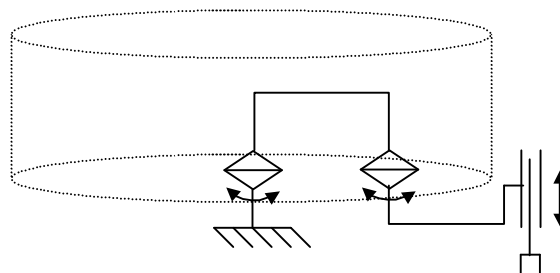


Figura 1.6. Mecanismos de braço.

Mecanismo de Punho: conjunto dos três últimos elos do manipulador e suas juntas correspondentes. Determina predominantemente a orientação da ferramenta.

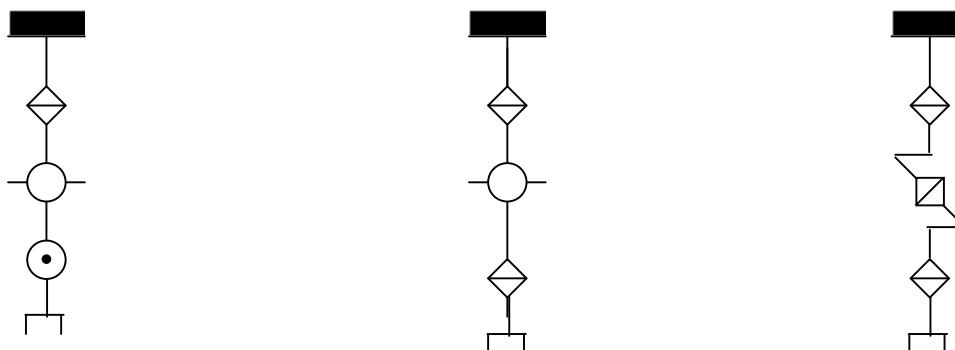


Figura 1.7. Mecanismos de punho.

Órgão Terminal: parte do manipulador usada para interagir com objetos presentes no espaço de trabalho.

- **Garras:** órgãos terminais específicos para pegar objetos.
 - Mecânicas: pegam pressionando o objeto entre dedos (que podem ser intercambiáveis).
 - Por movimento pivotante.
 - Por movimento linear.
 - Mãos antropomórficas.
 - De Sucção: pegam através da criação de um vácuo entre a garra e a peça.
 - Requerem superfícies limpas e sem furos.
 - Magnéticas: pegam através da atração magnética entre a garra e a peça.
 - São rápidas, independem da forma e dos orifícios da peça.
 - Funcionam apenas com materiais ferromagnéticos, podem pegar peças indesejadas e podem deixar magnetismo residual nas mesmas.
 - Aquelas a imã permanente requerem dispositivo para soltar a peça.
 - Adesivas: pegam pelo contato com substância adesiva (que deve ser renovada de tempos em tempos).
 - Balões: pegam objetos côncavos através da pressão ao serem inflados.
- **Ferramentas:** órgãos terminais para finalidades diversas.
 - Ferramentas para soldagem a ponto.
 - Maçaricos.
 - Pistolas de pintura.
 - Mandris:
 - Perfuração.
 - Polimento.
 - Retífica.
 - Aplicadores de cola ou resina.
 - Ferramentas de corte por jato de água.

1.4 Hardware de um Manipulador Robótico:

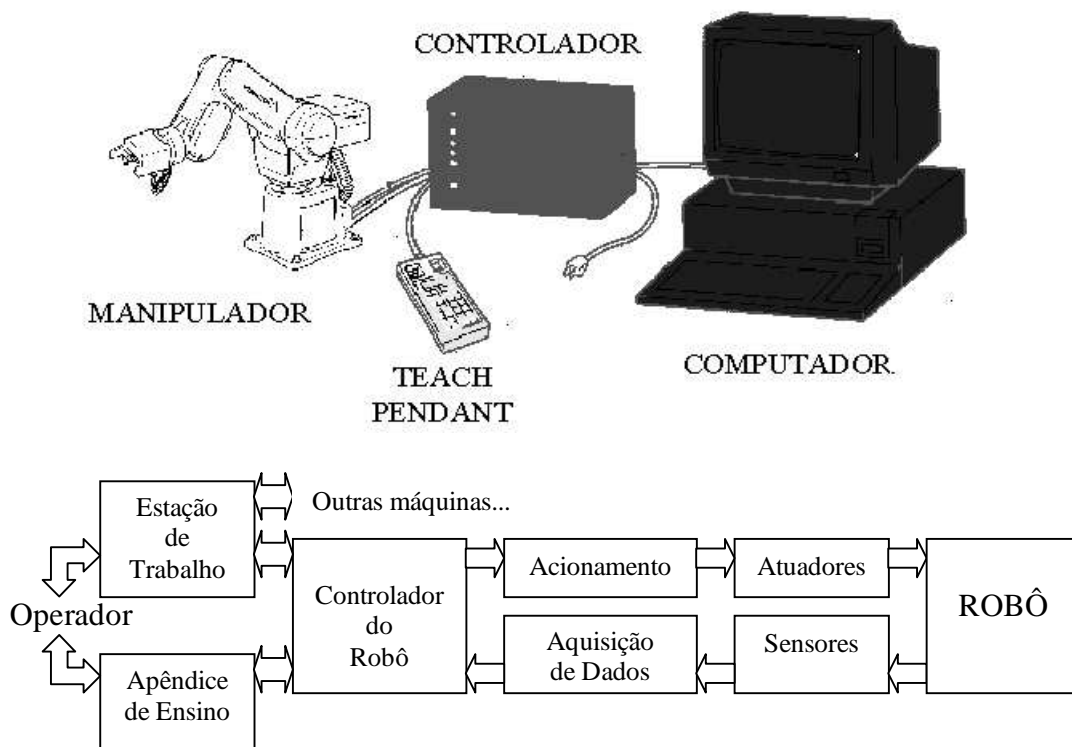


Fig. 1.8. Hardware típico de um manipulador robótico.

- **Estação de Trabalho:** Computador que implementa a interface amigável com o operador. Permite que este programe as tarefas a serem executadas pelo braço. Através dela o programa é carregado no Controlador de Robô. Pode ser compartilhada por outras máquinas que componham a célula de trabalho.
- **Apêndice de Ensino (*Teach Pendant*):** interface homem-máquina ligada por um cabo ao controlador do robô e equipada com teclas de funções que permitem que as juntas do robô sejam acionadas independentemente. A seqüência de movimentos pode ser gravada e utilizada pelo controlador para repetir a tarefa “ensinada”.
- **Controlador do Robô:** Computador dedicado que interpreta o programa, executando as tarefas programadas através de algoritmos de controle das juntas do robô. Estes algoritmos comparam a posição real das juntas fornecida pelos sensores com a posição que estas deveriam ter para realizar as tarefas programadas, determinando o esforço que deve ser aplicado pelos atuadores de modo a corrigir eventuais desvios na execução das tarefas.

- **Sensores:** Detectam posição e velocidade do robô ou a força exercida pela ferramenta.

Posição: detectam a posição das juntas do manipulador.

- **Potenciômetros:** tensão proporcional ao ângulo da junta.
- **Resolvers:** tensão proporcional ao ângulo da junta.
- **Encoders:** ângulo da junta codificado digitalmente.
 - Incrementais: contam pulsos correspondentes a incrementos angulares.
 - Absolutos: fornecem diretamente o código binário correspondente ao ângulo.

Velocidade: detectam a velocidade das juntas do manipulador.

- **Tacômetros:** tensão proporcional à velocidade da junta.

Torque e Força: detectam o torque e a força aplicados pela garra.

- **Células de carga:** tensão proporcional ao esforço na sua superfície.

- **Aquisição de dados:** Circuitos de condicionamento e conversão analógico/digital dos sinais fornecidos pelos sensores. Transformam a informação provinda nos sensores num código numérico manipulável pelo Controlador do Robô.
- **Acionamento:** circuitos de potência comandados pelo Controlador de modo a aplicar nos atuadores a energia necessária para realizar os movimentos programados.
- **Atuadores:** Realizam a conversão da energia disponível em energia mecânica para movimentar o braço. Podem ser elétricos, pneumáticos ou hidráulicos.

Hidráulicos: utilizam um fluido a pressão para movimentar o braço.

- Usados em robôs grandes.
- Grande potência e velocidade, mas baixa precisão.

Elétricos: motores elétricos (de passo, servos CC ou CA) ou músculos artificiais (ligas de Nitinol).

- Usados em robôs de médio porte.
- Maior precisão.

Pneumáticos: utilizam um gás a pressão para movimentar o braço.

- Usados em robôs de pequeno porte.
- Baixa precisão. Limitados a operações do tipo pega-e-coloca.

1.5 Programação de Tarefas:

O robô deve executar uma seqüência de tarefas (missão). As tarefas podem ser classificadas em dois tipos: Deslocamentos (seqüências de movimentos que levam o robô a localizações especificadas, podendo passar por objetivos intermediários) e Operações (interações do robô com objetos do espaço de trabalho: pegar uma peça, polir uma superfície, furar uma chapa, aplicar tinta, etc.).

Os deslocamentos e operações necessários para levar a cabo uma tarefa devem ser programados previamente pelo operador.

Existem duas abordagens: Programação *On-Line* e Programação *Off-Line*.

Programação On-Line:

- Através de um apêndice de ensino (*teach-pendant*), de um teleoperador mestre-escravo ou de uma linguagem de programação textual, o programador conduz o braço manipulador de modo a executar os movimentos e operações necessários para realizar a tarefa.
- Enquanto o robô se movimenta, a posição do robô medida pelos sensores, bem como as operações executadas são gravadas.
- As seqüências de movimentos e operações gravadas são reproduzidas posteriormente pelo robô na linha de montagem.
- Desvantagem: é necessário parar a operação do robô durante a programação.
- Algoritmos de controle básico:
 - Ponto a Ponto: são gravados apenas os pontos inicial e final de cada movimento do robô. Não importa como o robô se comporta nas posições intermediárias.
 - Movimento Contínuo: são gravados pontos separados por pequenos incrementos ao longo de um caminho previamente especificado.
 - Controle de Trajetória: todas as juntas são conduzidas de forma coordenada e suave ao longo de uma trajetória definida. Os pontos são gravados a uma taxa contínua.

Programação de Tarefas usando Apêndice de Ensino:

- O operador comanda as juntas do manipulador através das teclas do apêndice de ensino, executando a tarefa desejada manualmente.
- O movimento coordenado de várias juntas é virtualmente impossível. O trabalho deve ser completado consecutivamente.
- As tarefas são ensinadas movimentando o manipulador para as posições desejadas e registrando a seqüência de pontos intermediários e objetivos alcançados, bem como as operações realizadas (abrir garra, ligar pistola, etc.).
- O apêndice de ensino pode incluir outras teclas (definir velocidade, entrar parâmetros de trajetória, programar tarefas, etc.).
- Os dados gravados devem ser organizados em uma seqüência lógica, identificando o momento de executar deslocamentos, de checar condições, de executar operações, etc.
- Desvantagem: não é fácil movimentar um braço ao longo de eixos de translação e orientação por meio de teclas associadas a juntas individuais.

Programação de Tarefas usando Linguagem de Programação:

- A seqüência de tarefas é definida por meio de um programa escrito em uma linguagem de programação específica.
- O programa é desenvolvido em um ambiente de programação disponível na Estação de Trabalho e carregado no Controlador do Robô para ser interpretado.
- A linguagem de programação inclui comandos que implementam primitivas de movimento e manipulação. Por exemplo: move(junta, incremento, tempo_de_percurso), move(x, y, z, tempo_de_percurso), fecha garra, etc.
- A linguagem de programação pode ser:
 - Uma linguagem de propósito geral já existente associada a bibliotecas específicas para movimento de robôs. Por exemplo: JARS (baseada em Pascal), AR-BASIC, ROBOT-BASIC, (baseadas em Basic), etc.
 - Uma nova linguagem de propósito geral desenvolvida como base de programação, suprida com bibliotecas específicas para movimento de robôs. Por exemplo: AML (IBM), RISE (Silma, Inc.).
 - Linguagem especial para manipulação. Geralmente proprietária e desenvolvida para um tipo de robô ou, no máximo, uma família específica de manipuladores.

```
movex to i.centerx, i.centery, 100, 0, i.angle
movex 0, 0, -50, 0, 0
movex 0, 0, -12, 0, 0
grip
home
movex to 200, 280, 150, 0, 0
open
home
```

Fig. 1.9. Exemplo de um trecho de programa típico para robô manipulador.

Programação Off-Line:

- A programação é desenvolvida sem a necessidade de dispor do braço manipulador.
- Modelos CAD do robô e da célula de trabalho podem ser usados para validar as tarefas programadas, checar colisão, etc.
- Vantagens:
 - Não é necessário interferir no funcionamento normal do robô, nem parar a produção da linha de montagem para realizar a programação.
 - O programador não é exposto ao ambiente do robô, potencialmente perigoso.
- Desvantagens:
 - Erros de modelagem e imprecisões (folgas e flexibilidades das partes mecânicas, resolução e precisão numérica do controlador, erro na medição da localização de objetos, etc.) devem ser compensados de modo a possibilitar um ajuste automático do posicionamento do robô real.

1.6 Modelagem e Controle de Robôs:

Modelagem de Robôs Manipuladores:

Para poder controlar um robô manipulador, é necessário descrever o seu movimento através de modelos matemáticos apropriados, tanto do ponto de vista cinemático (descrição geométrica do movimento) como dinâmico (descrição da relação entre o movimento e os esforços que o produzem). Neste sentido, os seguintes aspectos são relevantes:

Descrição de Localização: em robótica, frequentemente é necessário descrever matematicamente a posição e a orientação relativas entre diferentes objetos (elos, ferramenta, peças, câmara, etc.) dentro do espaço de trabalho. Diferentes formas de representação podem ser adotadas. As Transformações Homogêneas são uma ferramenta matemática muito utilizada para este propósito.

Cinemática: descrição matemática da relação entre a posição das juntas do robô e a correspondente localização do órgão terminal em espaço cartesiano. Definem-se dois problemas fundamentais: Cinemática Direta e Cinemática Inversa. A solução do problema da cinemática direta consiste em determinar a posição e orientação da garra conhecendo a posição angular de cada junta. A solução do problema da cinemática inversa consiste em determinar quanto é que deve girar cada motor de junta, de modo a levar a garra a uma posição e orientação especificadas.

Cinemática Diferencial: descrição matemática do movimento do manipulador sem levar em conta as forças que o produzem. Envolve o cômputo das velocidades e acelerações da ferramenta e de cada elo do manipulador a partir das velocidades e acelerações de cada junta.

Estática: descrição matemática da relação entre os esforços aplicados pelos atuadores nas juntas e os correspondentes esforços de interação entre a ferramenta e o meio externo, quando o robô manipulador está parado.

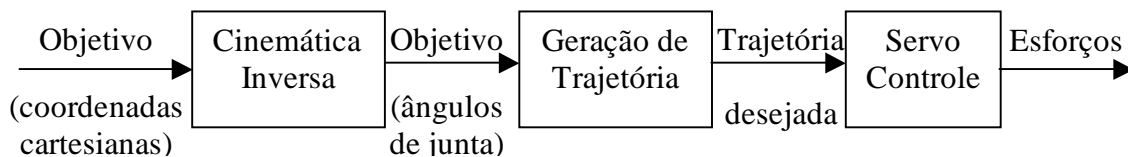
Dinâmica: estudo do movimento do manipulador e das forças que o produzem. A solução do problema da dinâmica direta consiste em determinar a evolução temporal das acelerações, velocidades e posições de junta conhecendo os esforços aplicados às mesmas pelos atuadores. A solução do problema da dinâmica inversa consiste em determinar os esforços que devem ser aplicados às juntas de modo a que estas se movimentem de acordo com acelerações, velocidades e trajetórias especificadas.

Controle de Robôs Manipuladores:

A partir do programa (seqüência de tarefas que define objetivos a serem alcançados através de deslocamentos e operações sucessivas), o Controlador do Robô deve calcular:

Geração de Trajetória: interpolação entre as posições correspondente a dois objetivos consecutivos de modo a determinar uma trajetória que possa ser implementada pelos servocontroladores. A trajetória pode ser gerada em espaço cartesiano ou em espaço de juntas. Neste último caso, previamente, através de cinemática inversa, deve-se determinar os ângulos de junta correspondentes à localização da garra desejada para cada objetivo consecutivo a ser alcançado. A trajetória gerada deve contornar eventuais obstáculos e ser suave, de tal modo a não submeter os atuadores a esforços muito elevados nem gerar acelerações que possam comprometer a integridade mecânica do robô.

Controle de Posição (servocontrole): em tarefas que envolvem deslocamentos, é necessário que o controlador determine, através de um algoritmo de controle adequado, os esforços que devem ser aplicados na juntas pelos atuadores de modo a que o braço siga a trajetória desejada. Para isto, a posição angular real das junta medida através dos sensores é comparada com a trajetória desejada (a trajetória gerada).



Controle de Força: em tarefas que envolvem operações (interações da garra com objetos do espaço de trabalho), o controle da força aplicada pela garra sobre a superfície de um objeto é indispensável, pois o uso de apenas esquemas de controle de posição pode causar esforços excessivos nos atuadores. Assim, leis de controle da força aplicada são necessárias.