

ASPECTOS GERAIS DO PROJETO MECÂNICO DE UM ROBÔ

Flávio Portela Ribas Martins

Analista de Sistemas do Centro de Computação Eletrônica da USP (CCE-USP)
Mestrando em Engenharia Naval na EPUSP

Neste trabalho mostra-se, em linhas bastante gerais, as fases do projeto mecânico de um robô industrial.

As considerações aqui feitas estão baseadas na experiência adquirida na execução do projeto de um "Robô Industrial para Aplicações Múltiplas", levada a efeito pela Universidade de São Paulo, através de seu Centro de Computação (CCE-USP).

1. INTRODUÇÃO

Em todo projeto de engenharia, deve-se dedicar especial importância ao estabelecimento dos parâmetros básicos que irão caracterizá-lo. Com relação à Robótica, tem-se buscado chegar a um consenso quanto à escolha e definição de parâmetros de projeto, de modo a que se possa estabelecer uma linguagem comum entre o fabricante de robôs e os seus usuários. De modo geral, pode-se afirmar que a determinação desses parâmetros passa por uma análise técnica preliminar dos processos e tarefas em que se empregará o robô, assim como do ambiente em que ele irá operar.

Sob o ponto de vista exclusivamente mecânico, os parâmetros característicos que dão início ao ante-projeto de um robô industrial podem ser divididos em 4 grupos principais:

1º Geométricos:

- Número de graus de liberdade
- Tipo de cadeia cinemática
- Alcances máximos e mínimos
- Erro de posicionamento estático

2º Cinemáticos:

- Velocidade máxima de ferramenta de trabalho
- Aceleração máxima de ferramenta de trabalho
- Trajetórias críticas

3º Dinâmicos:

- Capacidade de carga
- Frequência de vibração estrutural admissível
- Rapidez de resposta do sistema

4º Ambientais:

- Susceptibilidade da atmosfera a explosões
- Nível de poluição ambiental
- Temperatura ambiente
- Disposição das máquinas em torno do espaço de trabalho etc.

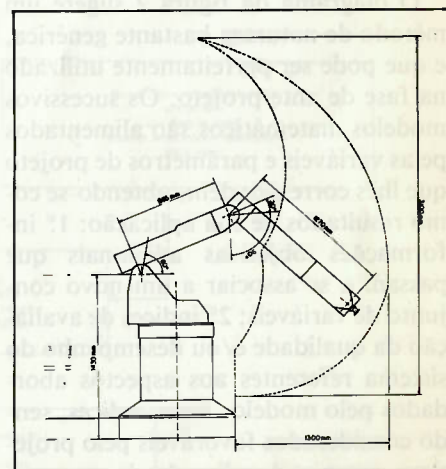
As características apontadas acima são, em geral, tecnicamente suficientes para que se inicie o ante-projeto. É importante ressaltar, contudo, que fatores não técnicos são muitas vezes decisivos durante o processo de definição do projeto. Aspectos econômicos, nunca é demais repetir, são fundamentais. Flexibilidade, por seu turno, é um dos objetivos de muitos fabricantes, pois lhes garante o atendimento a uma vasta gama de usuários com um único produto.

2. FASES DE PROJETO

Uma vez estabelecidos os parâmetros de projeto, tem início propriamente a fase de ante-projeto. Conforme se vê no diagrama da figura 1, nessa etapa do processo gera-se informações mais completas acerca do dispositivo que se pretende construir, fundamen-

tais para o detalhamento do projeto. Esse processo é realizado com o auxílio de rotinas associadas a modelos matemáticos, estimando-se outros parâmetros necessários, mas desconhecidos e obedecendo-se às restrições impostas pelos parâmetros de projeto ou outras ligadas a fatores diversos.

Ao projetista caberá, então, selecionar criteriosamente os procedimentos matemáticos e as variáveis de projeto de que se munirá para realizar o seu trabalho. Convém salientar que os resultados a serem obtidos serão tanto mais significativos quanto melhor o sistema real for representado pelos modelos matemáticos escolhidos; po-



Espaço de trabalho básico do robot do CCE-USP

rém, o grau de complexidade das formulações adotadas deve ser compatível com a quantidade de dados disponíveis.

As variáveis significativas ligadas à fase de ante-projeto mecânico, podem ser classificadas em 3 grupos principais:

1ª Variáveis Geométricas: posições relativas das articulações, comprimentos das estruturas, volume do espaço de trabalho, forma do espaço de trabalho, etc.

2ª Variáveis Estruturais: propriedades elásticas do material, formas das secções, etc.

3ª Variáveis Dinâmicas: matrizes de massa, matrizes de inércia, esforços nas articulações, etc.

Durante o ante-projeto essas variáveis são submetidas a formulações matemáticas capazes de fornecer critérios de avaliação da qualidade e/ou desempenho do sistema. Essas formulações ou modelos matemáticos também podem ser divididos em 3 grupos principais:

1º Modelos Geométricos: procedimentos para a otimização do espaço de trabalho.

2º Modelos Estruturais: cálculos estrutural baseado na resistência dos materiais, análise estrutural a partir do método dos elementos finitos, etc.

3º Modelos Dinâmicos: procedimentos para a avaliação das frequências naturais da estrutura, procedimentos para a otimização da controlabilidade do sistema, algoritmos para a determinação dos esforços nas articulações, rotinas para a otimização da capacidade de carga, etc.

O diagrama da figura 2 sugere um método de natureza bastante genérica, e que pode ser perfeitamente utilizado na fase de ante-projeto. Os sucessivos modelos matemáticos são alimentados pelas variáveis e parâmetros de projeto que lhes correspondem, obtendo-se como resultados de sua aplicação: 1º informações objetivas adicionais que passam a se associar a um novo conjunto de variáveis; 2º índices de avaliação da qualidade e/ou desempenho do sistema referentes aos aspectos abordados pelo modelo. Esses índices, sendo considerados favoráveis pelo projetista, passa-se à aplicação de um novo modelo matemático à massa de variá-

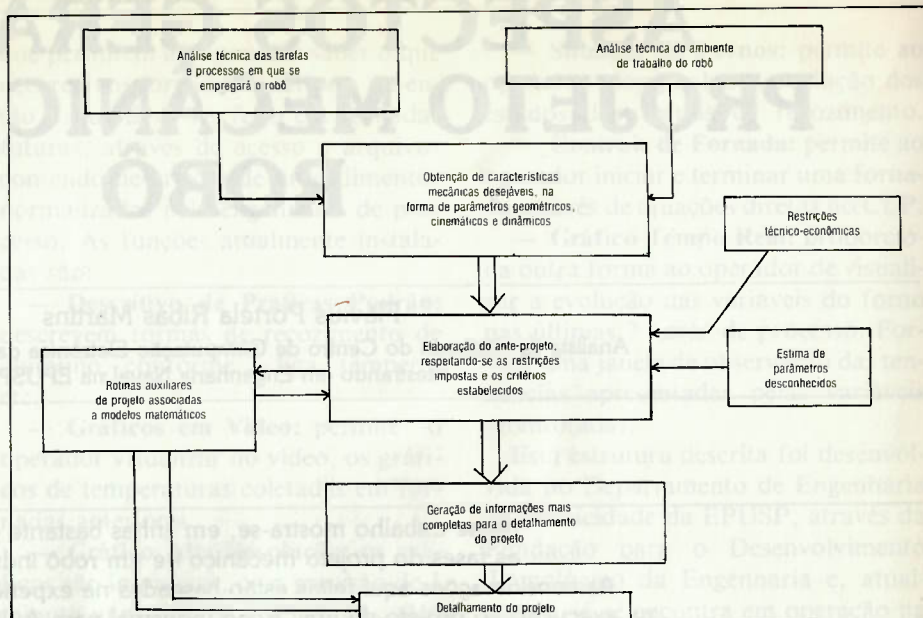


Figura 1 — Fases do projeto mecânico de um robô.

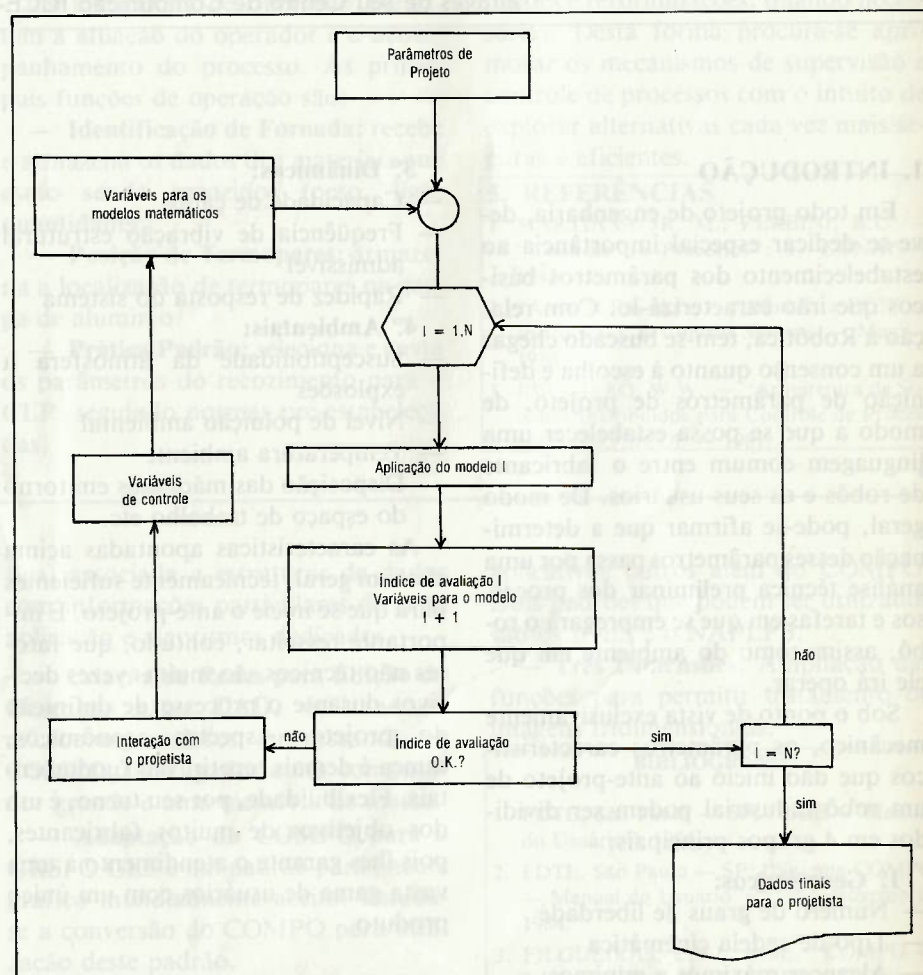


Figura 2 — Procedimento para otimização das variáveis de projeto de robô com base em seus modelos matemáticos.

veis agora amplificada em decorrência dos resultados anteriores; em caso contrário, o projetista deve atuar sobre as variáveis de seu controle (dimensões, formas, materiais, etc), com o objetivo

de melhorar aquele índice que não era apropriado e, ao mesmo tempo não prejudicar aqueles que se mostravam convenientes. O processo deve continuar até que todos os índices de avalia-

ção se mostrem favoráveis, situação essa que caracterizará o encerramento do ante-projeto: todas as características geométricas, estruturais e dinâmicas do robô, satisfazendo aos índices de qualidade propostos e respeitando aos parâmetros de projeto estarão conhecidas, podendo-se dar início à fase de detalhamento do projeto.

Não existem garantias de que a aplicação pura e simples desse método conduza a uma situação de convergência. Pode também ocorrer que se obtenha como resultado um ante-projeto com características matematicamente satisfatórias, mas que não seja exequível do ponto de vista industrial. Estas situações podem ocorrer quando:

— Os parâmetros de projeto são conflitantes.

— Os critérios de projeto, expressos através dos modelos matemáticos escolhidos, são mal formulados ou, ainda, apresentam aspectos conflitantes.

— Os índices de avaliação de qualidade do projeto se mostram por demais rigorosos, ou mesmo impróprios.

— por inabilidade ou inexperiência, o projetista, ao efetuar modificações nas variáveis de projeto, o faz sem levar em conta o comportamento do sistema como um todo.

A aplicação dessa metodologia requer ainda que se estabeleça uma hierarquia relativamente aos modelos matemáticos: a prioridade deve caber aos modelos geométricos, seguidos pelos estruturais e dinâmicos. A razão para um tal procedimento é bastante clara: os modelos dinâmicos necessitam de informações sobre a estrutura e a geometria; os modelos estruturais requerem dados geométricos básicos, já os geométricos podem ser alimentados, em princípio, apenas pelos parâmetros de projeto. O diagrama da figura 3 procura tornar clara a necessidade dessa particular hierarquia.

Encerrado com êxito o ante-projeto, o robô estará significativamente melhor definido. Dele serão conhecidos, por exemplo:

1.º A geometria de articulações que dá origem ao melhor espaço de trabalho e que atende às restrições geométricas de projeto.

2.º As características estruturais que permitem ao robô suportar as cargas previstas com um mínimo de deforma-

ções e que não dêem origem as frequências naturais críticas para o sistema mecânico e para o controle.

3.º A distribuição de massas e inércias mais adequada à controlabilidade do sistema.

4.º Os esforços máximos nas articulações necessários para que se realizem trajetórias críticas especificadas a priori.

Essa massa de informações torna-se, então, o novo conjunto de restrições para a etapa seguinte do projeto, que é o detalhamento.

Nessa nova fase, os critérios de projeto são, evidentemente outros. As questões fundamentais estarão relacionadas com a escolha de componentes industriais de mercado, processos de fabricação, problemas de montagem e manutenção, processos de normalização, etc. Assim sendo, torna-se muito difícil criar soluções técnicas que atendam, de imediato, aos requisitos derivados do ante-projeto. Será necessário avaliar-se, para cada solução técnica proposta, o comportamento dos índices de qualidade do sistema, e, caso es-

tes se mostrem penalizados, adotar-se medidas adequadas, que poderão implicar tanto em alterações a nível de detalhamento como até em mudanças que afetem as características geradas no ante-projeto.

3. CONCLUSÃO

O projeto mecânico de um robô industrial é uma tarefa de natureza multi-disciplinar. Durante as diversas fases de sua elaboração, deve-se estudar o comportamento de um vasto conjunto de variáveis que interagem mutuamente de uma forma não trivial, de modo a que se consiga gerar um dispositivo cujo desempenho atenda às especificações pré-estabelecidas. A experiência mundial tem demonstrado que a produção de sistemas complexos de engenharia pode-se tornar uma tarefa muito menos árdua e ao mesmo tempo de qualidade superior, quando se dispõem de recursos gráfico-computacionais adequados — na forma de sistemas CAD especializados no problema em questão. As indústrias ligadas à Robótica têm-se valido amplamente de tais recursos.

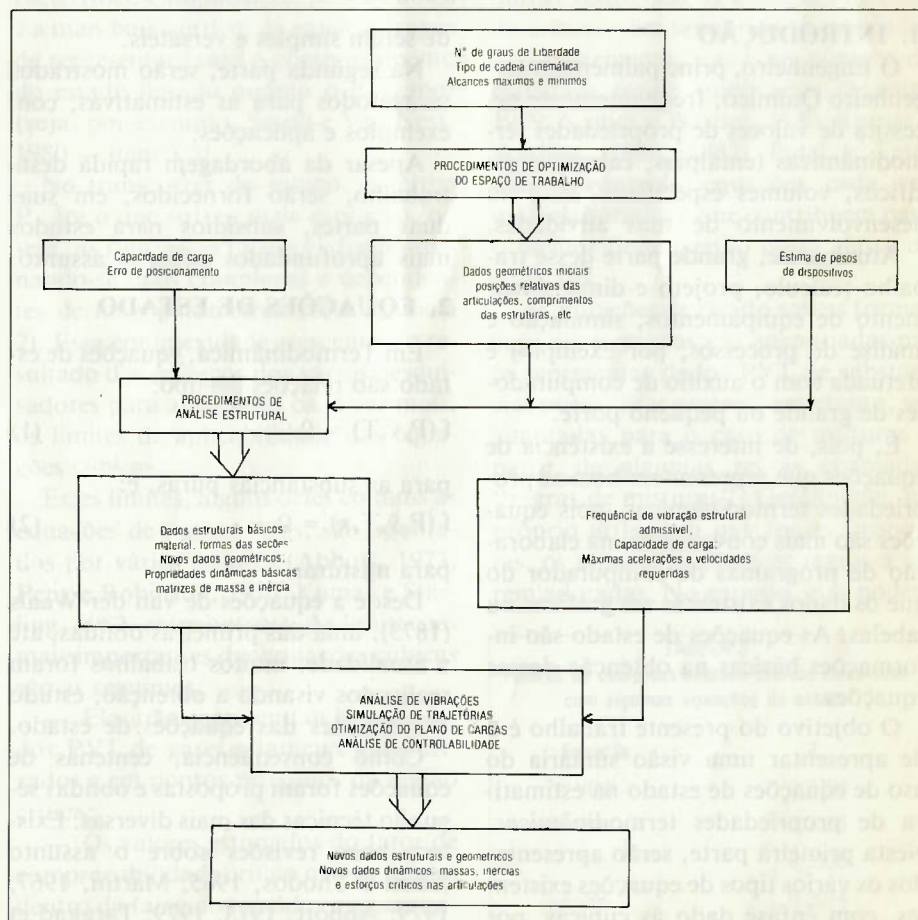


Figura 3 — Aplicação hierárquica de modelos matemáticos para projeto de robôs.