

CAPÍTULO 1

Corpos Rígidos e Mobilidade

Vamos conceituar mecanismo, no âmbito de projeto de máquinas, relacionando-o ao estudo dos diversos componentes mecânicos, tais como sistemas articulados, cames e excêntricos, catracas e sistemas intermitentes, trens rotativos envolvendo engrenagens, polias, correntes e correias, etc. Neste contexto, busca-se enfatizar, como ponto fundamental, a cinemática do movimento, contrastando com o projeto dinâmico estrutural que tem como base a obtenção de esforços internos e externos a partir da análise do mecanismo. Desta forma, a ciência dos mecanismos pode ser estudada de duas maneiras distintas, seja com base na obtenção das equações cinemáticas para um mecanismo já existente e de geometria definida, ou com base na determinação ou criação de um novo mecanismo que irá resolver um dado problema cinemático. O primeiro caso leva o nome específico de *análise*, ao passo que, no segundo caso, teríamos a *síntese* do mecanismo.

Embora a sua aplicação possa abranger todo o campo da mecânica técnica, o estudo dos mecanismos teve seu grande avanço a partir do surgimento da mecânica fina, particularmente no desenvolvimento de instrumentos de precisão, instrumentação e dos computadores analógicos. Atualmente, seu desenvolvimento tem-se acelerado bastante para suprir a demanda de aplicações voltadas à automação industrial e também à robótica.

Posto que os mecanismos são compostos de corpos rígidos interligados entre si, vamos dar início aos nossos estudos conceituando este elemento, bem como estendendo os conceitos de cinemática do ponto para os corpos rígidos.

Saiba mais

O termo “cinemático” envolve os conceitos de deslocamentos, velocidades e acelerações.

1.1. Corpo Rígido

Apesar de não existir no mundo real, podemos imaginar que um determinado corpo físico, espacial, não se deforme, linear ou angularmente, em nenhuma direção, quando submetido a um sistema de forças externas e/ou internas de qualquer natureza ou intensidade. A este corpo daremos o nome de corpo rígido, enfatizando aqui que apesar de se tratar de uma idealização, podemos utilizar este conceito na prática da engenharia para vários tipos de materiais, desde que os campos de forças envolvidos sejam tais que os deslocamentos se tornem desprezíveis em relação às geometrias envolvidas. Mesmo entendendo, nestes casos, que os corpos são elásticos e não rígidos, vamos considerá-los como corpos rígidos para efeito de análise cinemática de mecanismos.

Corpo Rígido e Barra

Na ciência dos mecanismos é comum nos referirmos a um corpo rígido pelo nome “barra”, e vice-versa, simplificando a notação, pois que, em nossos estudos iremos nos deparar com as cadeias cinemáticas, estudadas mais à frente, e os mecanismos, estes dois compostos exclusivamente por uma grande quantidade de corpos rígidos, os quais precisaremos expressar um por um, individualmente, tornando mais simples nos referirmos às “barras” do mecanismo ou da “cadeia”.

1.2. Movimentos Planos

Um corpo rígido qualquer pode se deslocar no espaço de tal modo que, ao tomarmos três pontos distintos deste, estes pontos estejam sempre sobre um plano imaginário para qualquer posição do corpo. Se este plano imaginário permanecer sempre paralelo a um outro plano de referência fixo e a uma distância invariável deste plano de referência, nós dizemos que este corpo tem movimento plano. Caso os movimentos de um corpo rígido não se enquadrem nesta situação, este será dito espacial.

Em função disto, algumas classificações de movimento inerentes aos corpos rígidos podem ser definidas.

Translação

Verifica-se quando um corpo rígido movimenta-se de tal forma que, tomados três pontos distintos sobre este, os mesmos manterão sempre uma distância fixa de um determinado plano de referência, nas diversas posições ocupadas.

Esta definição para a translação permite duas formas de movimentos distintos chamados de “translação retilínea” e “translação curvilínea”, como explicado a seguir:

- **Translação retilínea** – As trajetórias de dois pontos quaisquer do cor-

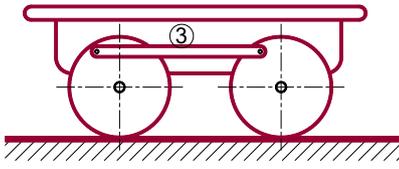


Figura 1.1 Exemplo de translação curvilínea para a peça nº 3 do carrinho.

Observe

De acordo com a definição dada, o movimento de translação, no plano, pode ser subdividido em dois tipos.

Rotação

Cada ponto do corpo rígido movimenta-se de tal forma que a sua distância a um eixo fixo, não necessariamente pertencente ao corpo, normal ao plano de movimento, permanece constante; também pode-se dizer que segmentos de reta pertencentes ao corpo e perpendiculares ao plano de referência descrevem cascas cilíndricas concêntricas. É o caso da barra 2 da figura 1.2.

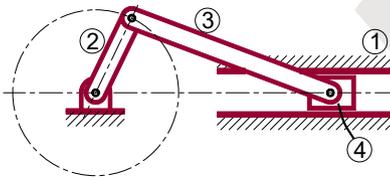


Figura 1.2 Exemplos de rotação, translação retilínea e movimento combinado.

Movimento Combinado

Um ponto qualquer, pertencente ao corpo ou não, porém invariável geometricamente em relação a este, terá movimento de translação, retilínea ou curvilínea, enquanto o próprio corpo terá movimento local, de rotação em relação a este ponto. Um exemplo clássico se verifica para a biela (barra 3 da figura 1.2) nos mecanismos biela manivela.

1.3. Movimentos Espaciais

Quando não temos a possibilidade do corpo rígido transladar paralelamente à um plano de referência, fixo, mantendo uma distância invariável deste, classificamos o corpo em movimento espacial. Apesar desta situação consistir no caso mais geral, temos apenas três casos distintos possíveis, que discutiremos a seguir.

Movimento Helicoidal

Ocorre quando todos os pontos movem-se simultaneamente com rotação e translação relativos a um eixo fixo, de tal forma que estes dois movimentos tenham uma relação funcional definida, ou seja, um dependerá do outro sempre. É a caso de uma porca, quando rotacionada em torno de um parafuso fixo ou do parafuso rotacionado em torno da porca fixa, veja a figura 1.3 a seguir. A referência para descrição do movimento seria um eixo e um plano perpendiculares.

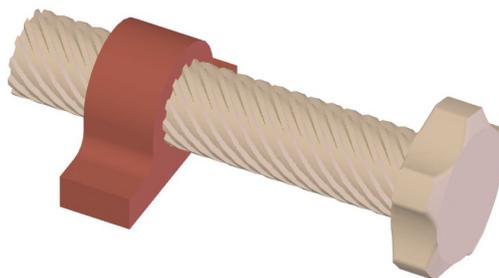


Figura 1.3 Movimento helicoidal do parafuso com base na porca fixa.

Saiba mais

No movimento helicoidal, há uma rotação em torno de um eixo que se desloca axialmente, havendo uma correlação funcional entre este deslocamento e rotação ($\text{desloc. axial} = f(\alpha)$).

Movimento Esférico

Ocorre quando cada ponto do corpo rígido mantém-se a uma distância constante de um ponto fixo. Um exemplo clássico são as rótulas esferoidais, como é o caso da conexão do espelho com a caixa fixa na figura 1.4 abaixo ou ainda das cruzetas nas juntas cardan utilizadas na transmissão de automóveis. Para este caso, podemos tomar um sistema cartesiano espacial e fixar o seu centro com referência para o movimento.

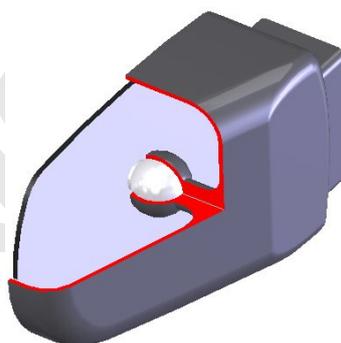


Figura 1.4 Alguns automóveis têm movimento esférico para o espelho retrovisor.

Movimento Espacial Geral

Este tipo de movimento apresenta características que não se enquadram em nenhum dos casos estudados até o momento, todavia, em muitas situações, estes poderão ser correlacionados com os movimentos planos ou espaciais helicoidais e esféricos. Para isto, considera-se que o plano ou sistema de referência, fixo para estes casos, estará agora em movimento, fazendo parte de um sistema local com posições bem definidas, o que irá facilitar em muito a sua análise cinemática.

1.4. Mecanismo e Máquina

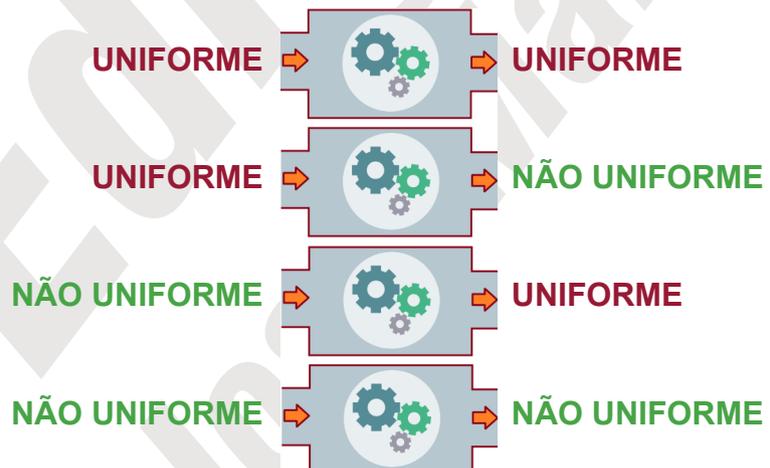
Conceituação Inicial para Mecanismo

Em uma primeira abordagem, vamos definir mecanismo como sendo uma combinação de corpos rígidos e resistentes que podem efetuar movimentos relativos entre si, dispostos de tal forma que possibilitem a transformação de um movimento em outro.

Observe

Posteriormente, este conceito inicial de mecanismo será formalizado de uma maneira mais rígida, quando alguns conceitos tiverem sido absorvidos.

No que concerne à transformação do movimento, o esquema de “caixa preta” abaixo ilustra as quatro possibilidades possíveis:



O primeiro caso envolve as engrenagens circulares, cremalheiras, correntes, correias, etc. Para a transformação “uniforme” em “não-uniforme”, para o segundo caso, podem-se citar as engrenagens não circulares, as cames, catracas, compressores e os mecanismos articulados, dentre outros. A transformação mostrada no terceiro caso tem como um exemplo clássico os motores de combustão interna e o último caso encontra muitos exemplos nos mecanismos de barras.

Máquina

Conjunto de mecanismos destinado a transmitir força/momento de uma fonte de potência contra uma resistência a ser superada. Classicamente utilizada, esta conceituação, devida a Franz Reuleaux, é apenas uma das várias tentativas de se conceituar máquina. Como exemplos clássicos, podemos citar as máquinas operatrizes em geral, as prensas mecânicas ou hidráulicas e os motores de combustão interna utilizados em veículos automotivos. Como já

foi dito, o presente estudo limita-se à síntese e à análise de mecanismos e, como consequência as máquinas em geral não serão objeto deste estudo.

1.5. Classificação dos Mecanismos

Quanto ao Tipo

Apesar dos muitos esforços neste sentido, não se tem ainda uma classificação completamente unificada e geral para os diversos tipos de mecanismos. Uma das classificações que tem mais aceitação estabelece seis categorias básicas:

- Mecanismos de parafuso;
- Mecanismos de barras;
- Mecanismos de roda, incluindo as engrenagens;
- Mecanismos de cames;
- Mecanismos de catraca ou intermitentes;
- Órgãos de tração/compressão – partes contendo rigidez em um único sentido.

Pelo conceito de máquina, fica claro que a mesma pode ser vista como um agrupamento destas diversas partes interligadas de alguma forma.

Saiba mais

Esta é a classificação mais aceita pela comunidade técnica e científica e foi inicialmente apresentada pelo alemão Franz Reuleaux.

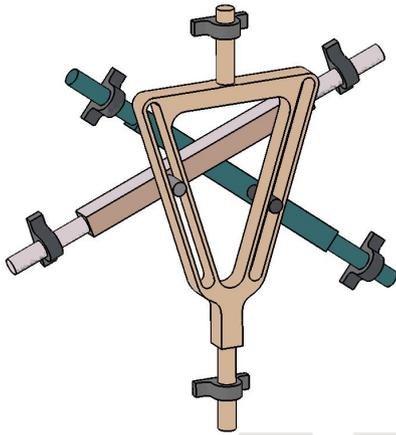


Figura 1.5 Mecanismo de barras onde todas as barras têm movimento plano.

Quanto à Geometria

Do ponto de vista geométrico, tomando-se como base as possibilidades de movimento no espaço dos elementos que compõem o mecanismo, estes podem ainda ser subdivididos em:

- Planos;
- Esféricos;
- Espaciais.

Mecanismos Planos

Todas as partes envolvidas no mecanismo terão movimento plano, necessariamente com o mesmo plano de referência – plano de referência paralelo e fixo comum a todas as partes, ver item 1.2.

A figura 1.5 mostra um exemplo com um mecanismo de quatro barras, onde a barra que está mais à frente, ao se movimentar, conduz as outras duas com movimentos característicos em planos paralelos.

Considerando-se que mais de noventa por cento dos mecanismos existentes e de uso prático são do tipo plano e que a grande maioria dos mecanismos espaciais, incluindo os robôs baseados em braços mecânicos, podem ser

subdivididos em grupos de mecanismos planos, então nosso estudo, especificamente para mecanismos de barras, vai se concentrar neste tipo de mecanismo.

Mecanismos Esféricos

Todas as partes envolvidas terão movimentos esféricos concêntricos (veja movimento esférico no item 1.2) como, por exemplo, a junta cardan da figura 1.6. Note que apesar da definição de movimento esférico generalizar as possibilidades geométricas, na prática, os mecanismos esféricos terão cada uma de suas barras tendo movimento de rotação local e em planos fixos, o que permitirá uma análise bastante facilitada do movimento e também do mecanismo.



Figura 1.6 A junta cardan se constitui num mecanismo esférico pelo fato de o movimento da cruzeta ser esférico.

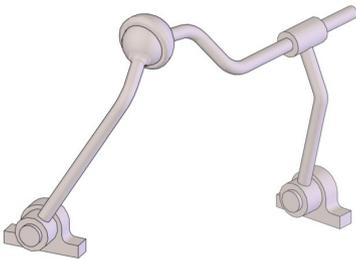


Figura 1.7 Exemplo de mecanismo espacial.

Mecanismos Espaciais

Caracterizam-se pela liberdade de deslocamento de um ou mais de seus componentes em três dimensões, isto é, as suas barras têm necessariamente movimentos espaciais puros. Exemplo na figura 1.7.

Faz-se necessário enfatizar que os órgãos de tração/compressão descritos na classificação de Reuleaux não se enquadram nesta classificação geométrica, tendo em vista o fato de serem constituídos por um misto de corpos rígidos e flexíveis, o que impossibilita a descrição exata de trajetória de pontos em suas partes flexíveis.

1.6. Exercícios

1. Cite pelo menos três exemplos de movimento plano geral, movimento helicoidal e movimento esférico.
2. Quais as possíveis críticas que podem ser feitas ao conceito de mecanismo como foi dado neste capítulo?
3. Qual é o tipo de movimento efetivado pelos rolos, nos rolamentos de rolos cilíndricos?
4. Como você designaria um sistema de freio a disco (sapatas e disco de freio), utilizando os conceitos de mecanismo, máquina e a classificação de Reuleaux?
5. Classifique os mecanismos abaixo, com relação à geometria:
 - Par de engrenagens helicoidais reversas;
 - Par de engrenagens cônicas de dentes retos;
 - Mecanismo de Geneva, figura 1.8-5;
 - Amortecedor de automóvel;
 - Sistema de correia e polias com eixos reversos.

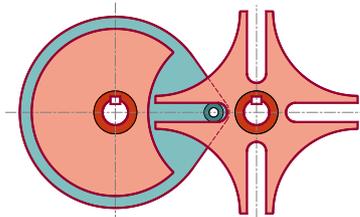


Figura 1.8-5 Classificação do mecanismo de geneva

6. Dê exemplos de mecanismos que constituam órgãos de tração/compressão na classificação de Reuleaux.
7. Para os robôs mostrados na figura, determine o tipo de movimento para cada braço relativamente ao seu apoio e globalmente à base que deve ser considerada fixa.

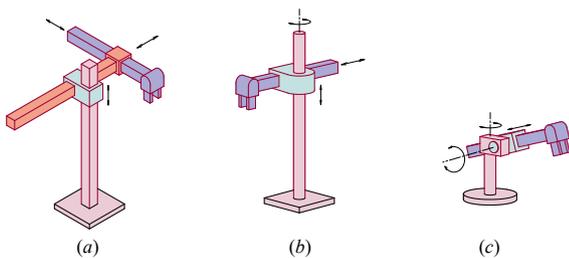


Figura 1.9-7 Robôs com movimentos específicos para os braços.

Referências Bibliográficas

NORTON, R. L. Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines. Fourth Edition. McGraw-Hill, 2007.

SHARMA, C. S.; PUROHIT, K. Theory of Mechanisms and Machines. New Delhi: Prentice-Hall, 2006.

SHIGLEY, J. E.; UICKER J. J. Theory of Machines and Mechanisms. Second Edition. McGraw-Hill, 1995.

SHIGLEY, J. E. Cinemática dos Mecanismos. Ed. Edgard Blücher, 1970.

Em Edição
Prof. José Maria