



Mecanismos

Prof. Jorge Luiz Erthal
jorge.erthal@ufpr.br



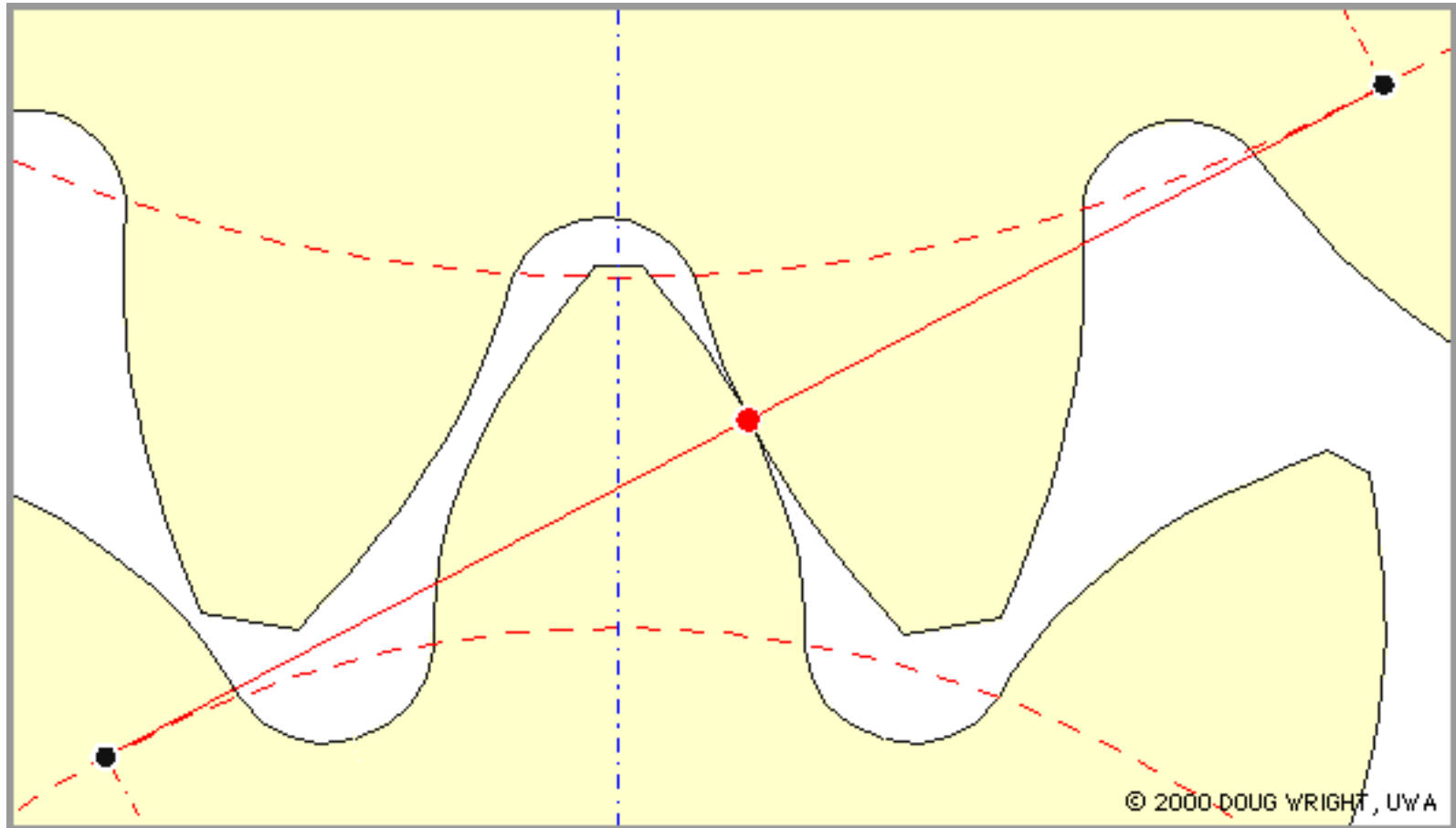
Engrenagens

Nesta aula

- Definição
- Classificação
- Processos de fabricação
- Lei fundamental do engrenamento
- Propriedades do perfil evolvental

Enfoque: geometria do movimento

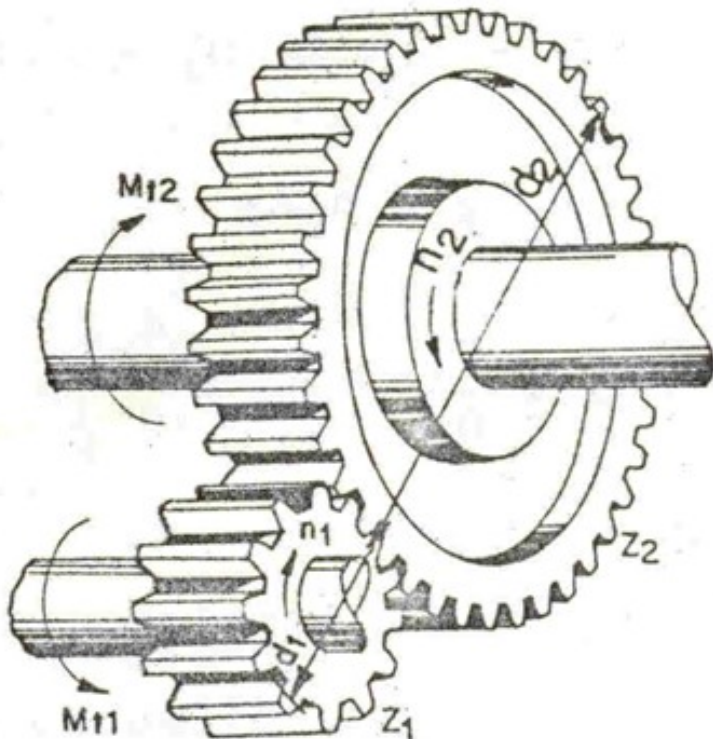
Geometria do movimento



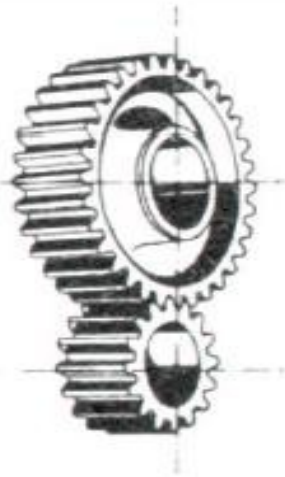
Definição

Engrenagens são pares de rodas com dentes padronizados que servem para transmitir movimento e força entre dois eixos.

ENGRENAGEM CILÍNDRICA DE DENTES RETOS

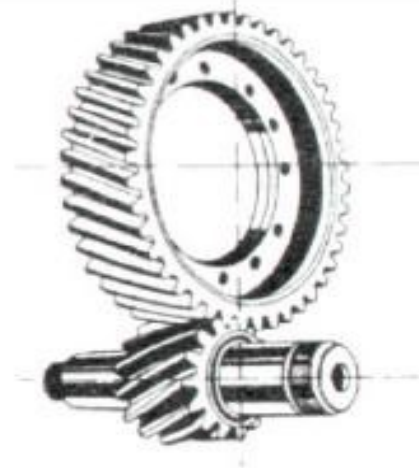


Classificação



Engrenagens cilíndricas de dentes retos

Engrenagens cilíndricas de dentes retos é muito utilizada na transmissão entre eixos paralelos. O dimensionamento, fabricação, montagem e manutenção desse engrenamento é mais simples, em relação às cônicas, helicoidais e hipoidais. O rendimento é alto, podendo chegar a 98-99%. Em altas velocidades apresenta problema de ruído. As cargas transmitidas aos eixos são apenas radiais. Exige, portanto, mancais que suportem apenas esse tipo de carregamento. Admitem grandes relações de transmissão.

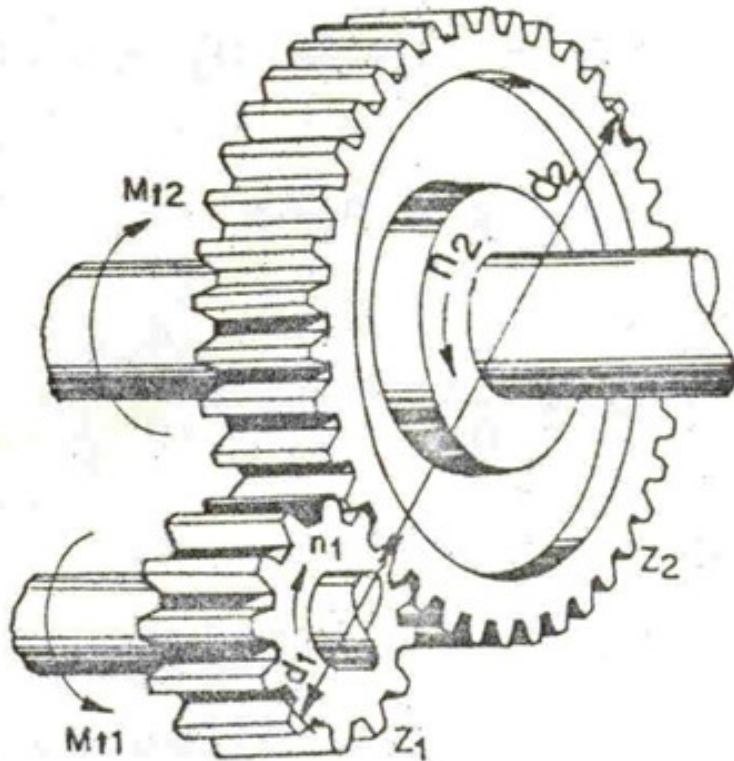


Engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais

Engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais é também muito utilizada na transmissão entre eixos paralelos. São apropriadas para cargas e velocidades elevadas. Trabalham de modo mais suave que as de dentes retos. Devido aos dentes helicoidais gera carregamentos axiais sobre os mancais além dos radiais. O rendimento desse tipo de engrenamento também é bastante alto, podendo ser utilizada para grandes relações de transmissão.

Engrenagens cilíndricas de dentes retos

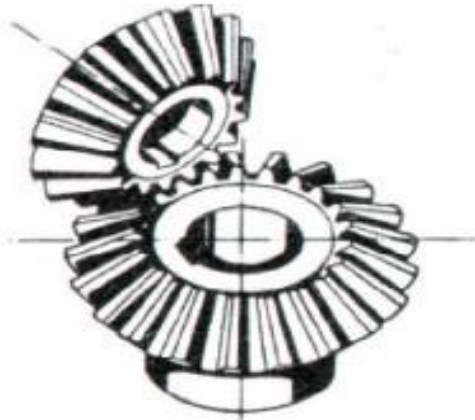
ENGRENAGEM CILÍNDRICA DE DENTES RETOS



Engrenagens cilíndricas de dentes inclinados

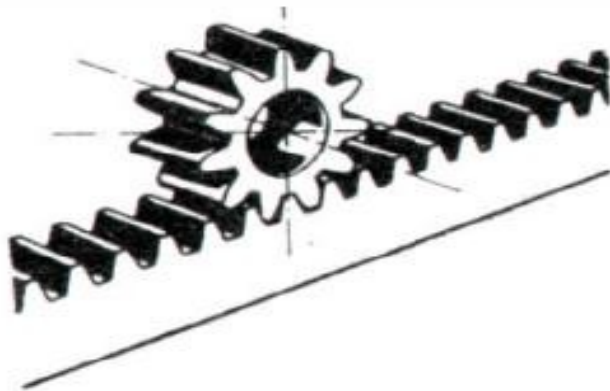


Classificação



Engrenagens cônicas

As engrenagens cônicas, são usadas para transmissão entre eixos ortogonais ou concorrentes com distintos ângulos entre eles. A transmissão por engrenagem cônica exige precisão na montagem. Os dentes podem ser oblíquos ou retos, neste caso, as velocidades são restritas. A relação de transmissão é limitada .



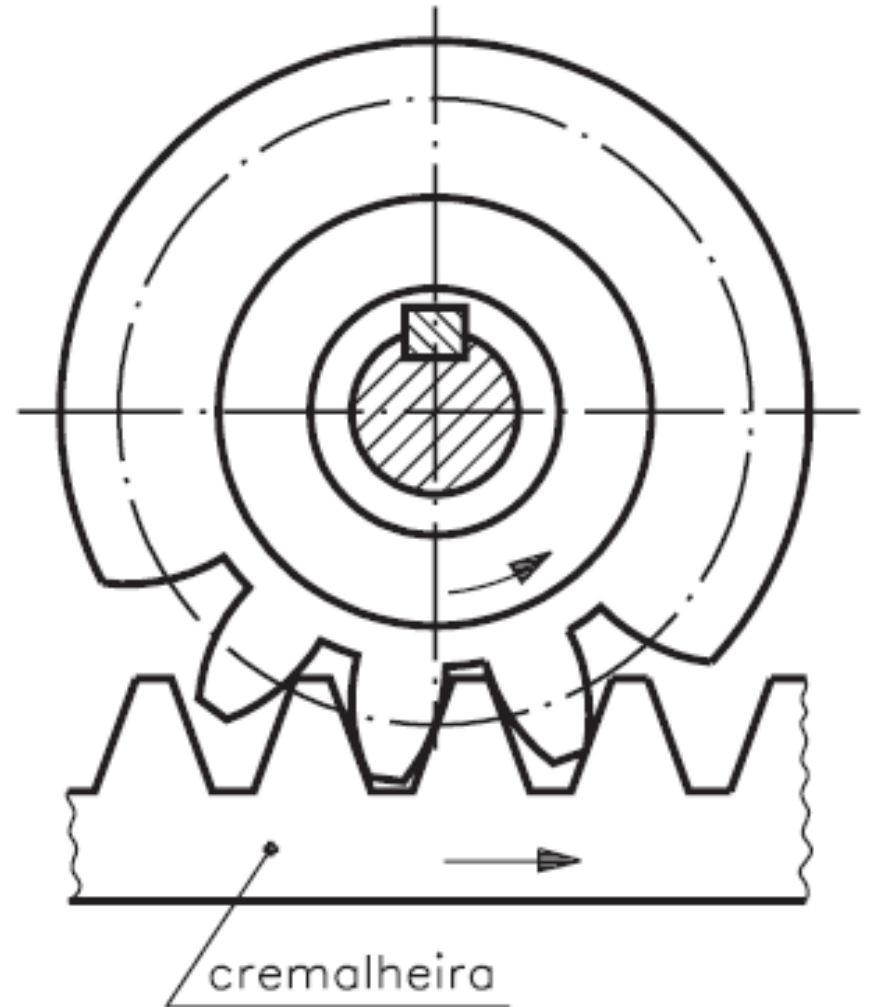
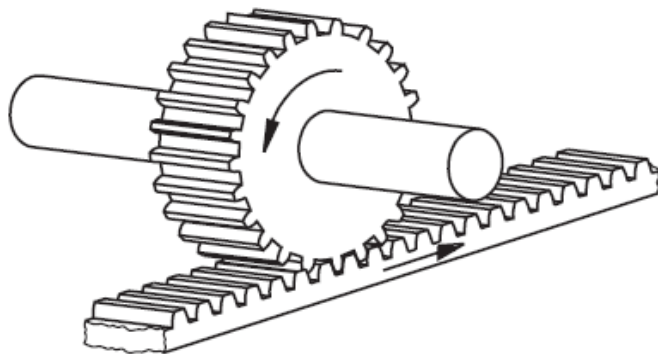
Cremalheira de dentes retos

A cremalheira é usada para transformar um movimento de rotação num de translação e pode ser de dentes retos ou de dentes helicoidais. É de fácil fabricação. É utilizada como ferramenta de corte para gerar engrenagens pelo processo de geração MAAG.

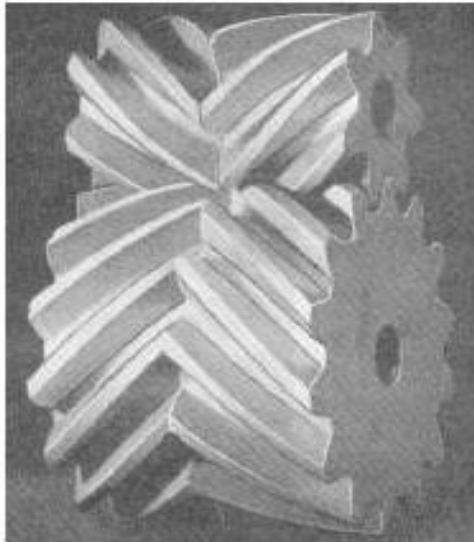
Engrenagens cônicas



Pinhão e cremalheira



Classificação

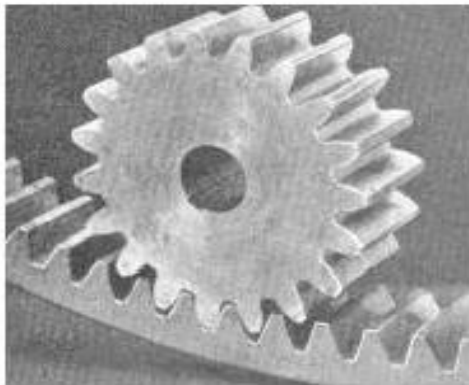


Engrenagens helicoidais duplas

A transmissão por engrenagem com helicóide dupla tem a vantagem de transmitir grandes carregamentos sem gerar carga axial sobre os mancais, dado que a hélice tem direção oposta. Este efeito também pode ser conseguido através da montagem de duas engrenagens helicoidais, montadas com a hélice oposta uma em relação a outra.

Necessita de precisão de montagem e **recomenda-se alta rigidez para o eixo e mancais.**

Estas engrenagens exigem máquinas especiais para sua fabricação. Há engrenagens helicoidais duplas com dentes não contínuos, o que facilita a saída da ferramenta e, por sua vez, a fabricação.



Engrenagens cilíndricas de dentes internos

Engrenagens cilíndricas de dentes internos são usadas onde há restrição de espaço ou quando se quer proteger os dentes da engrenagem. Os dois eixos possuem o mesmo sentido de rotação.

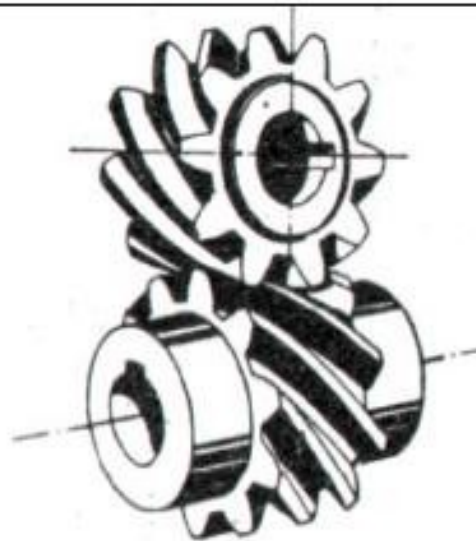
Este é um recurso utilizado para redutores planetários. Obtém-se boa relação de transmissão em espaços muito pequenos.

Classificação



Coroa e parafuso-sem-fim

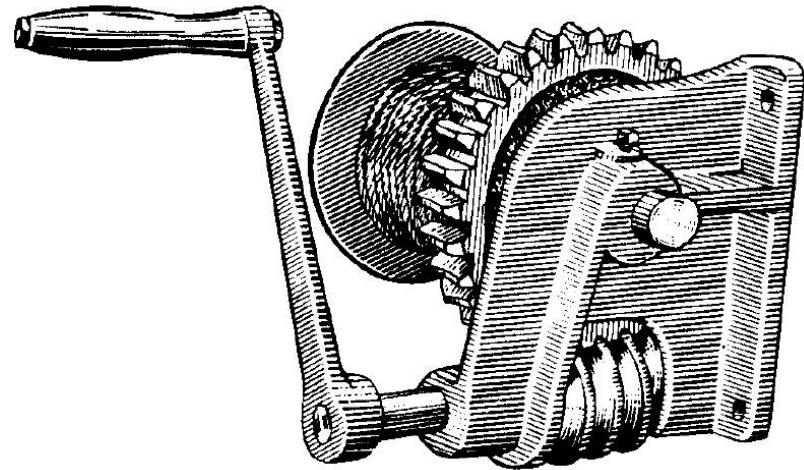
O conjunto coroa-parafuso-sem-fim, é utilizado na transmissão de potência ou para o controle do movimento e, principalmente, como redutor de velocidade, na transmissão de certa potência. O rendimento é baixo e a capacidade de amortecer vibrações é maior que de todos os outros tipos. O parafuso é de aço e a coroa deve ser de um material com dureza menor do que a do parafuso.



Engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais entre eixos concorrentes

Esta transmissão é utilizada para fazer mudança de direção de movimento. Neste caso a relação de transmissão é um. As hélices são projetadas para proporcionar mudança de direção de movimento em 90° .

Coroa e parafuso sem-fim



Fabricação de Engrenagens

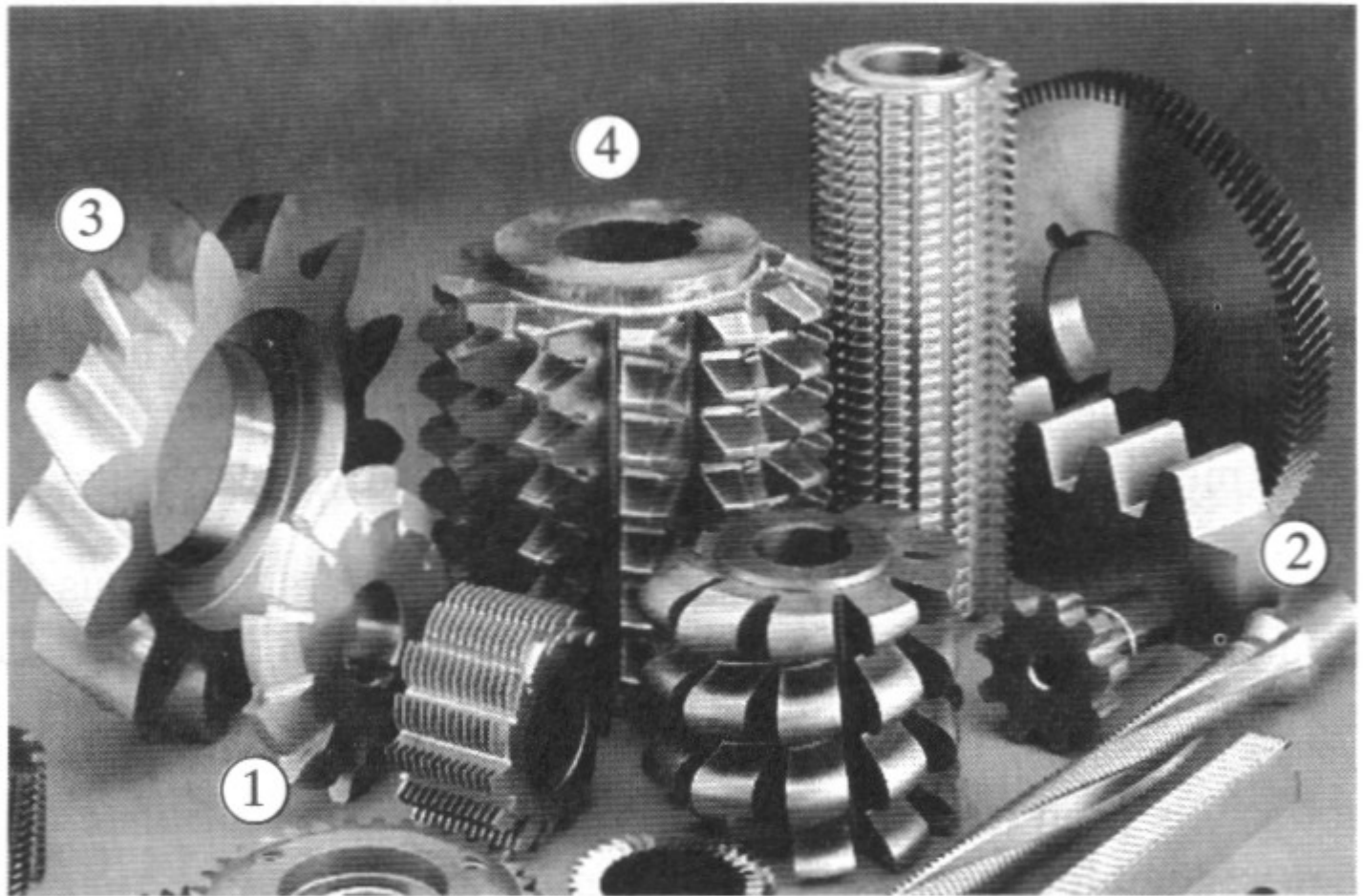


FIGURE 11-17

A Collection of Gear-Cutting Tools: 1—Milling Cutter, 2—Rack Cutter, 3—Shaper Cutter, 4—Hob. Courtesy of Pfauter-Maag Cutting Tools Limited Partnership, Loves Park, Ill..

Fabricação de Engrenagens

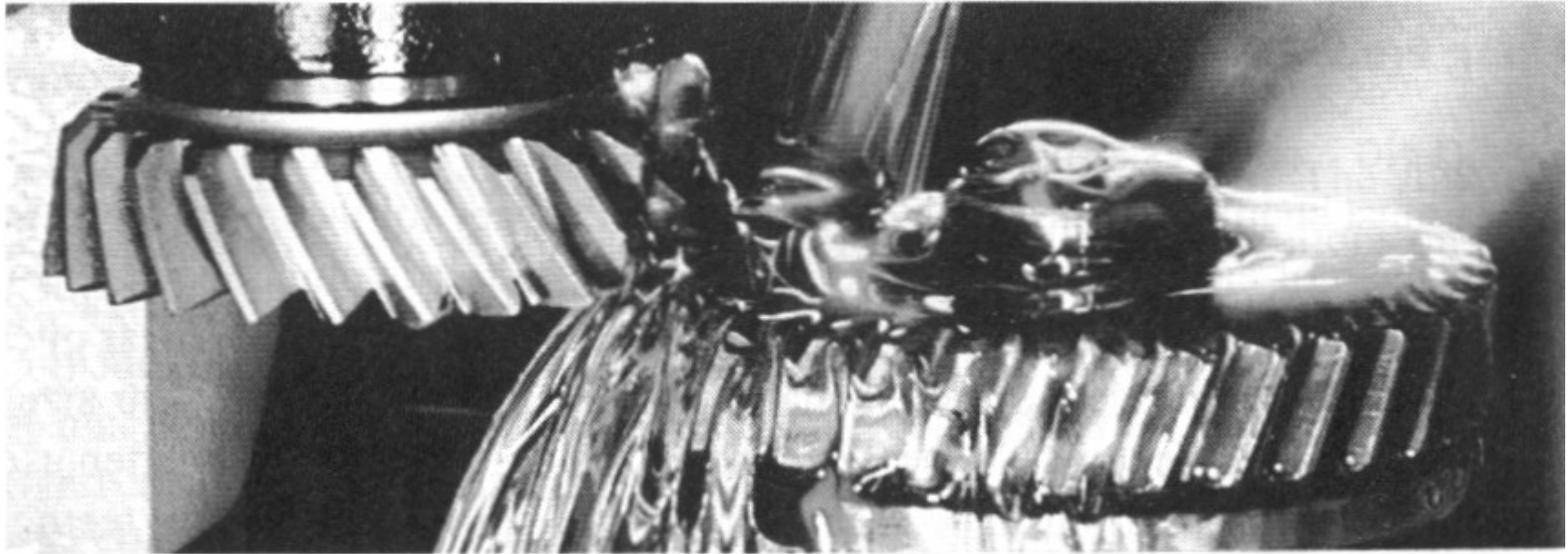
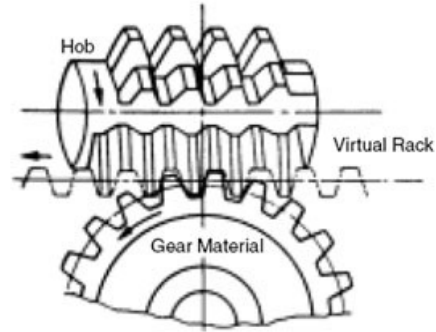
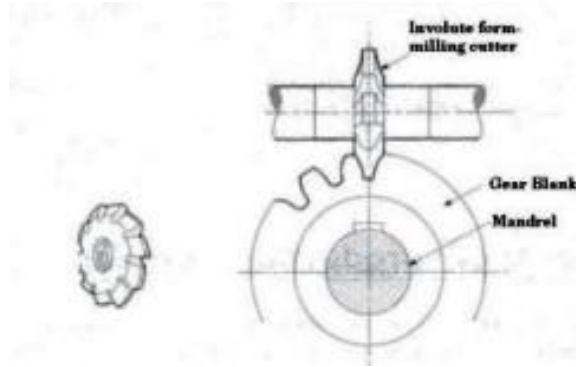


FIGURE 11-18

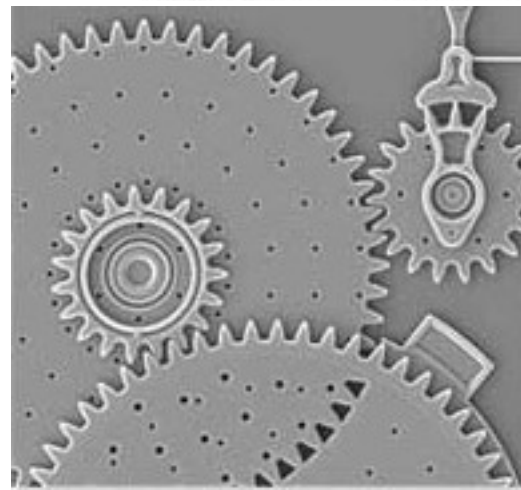
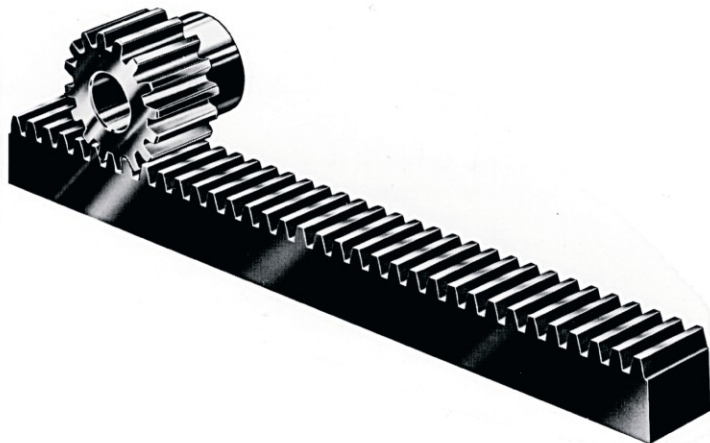
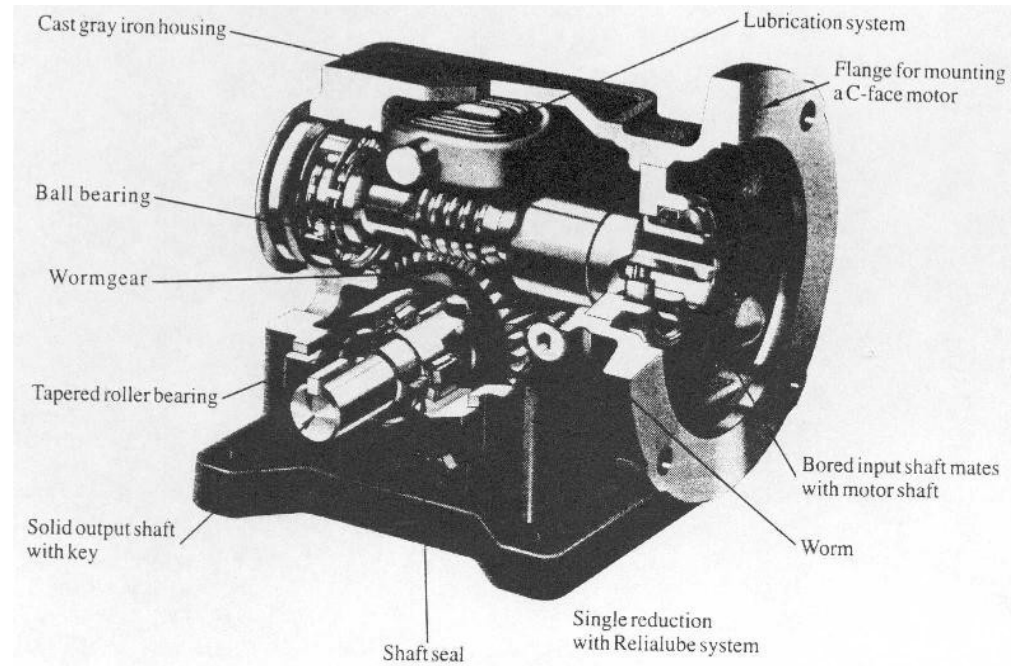
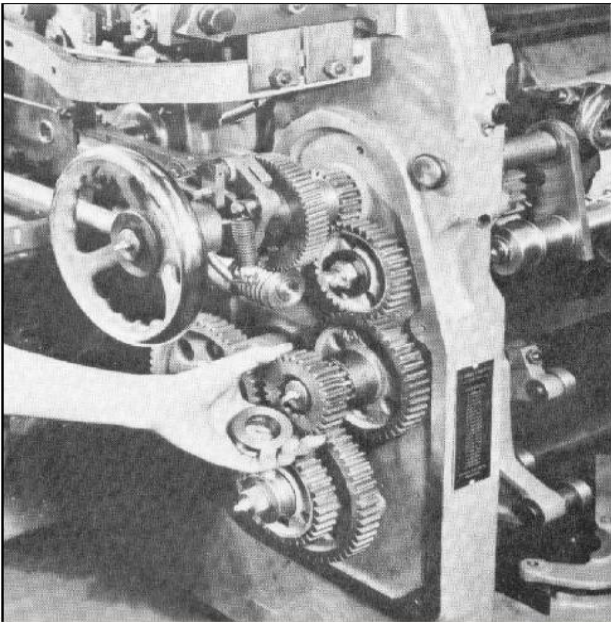
A Gear Shaper Cutting a Helical Gear *Courtesy of Pfauter-Maag Cutting Tools, Ltd Prtship, Loves Park,*

https://www.youtube.com/watch?NR=1&v=_j6KQ96YZM0&feature=endscreen

Fabricação de Engrenagens



Aplicações



Aplicações

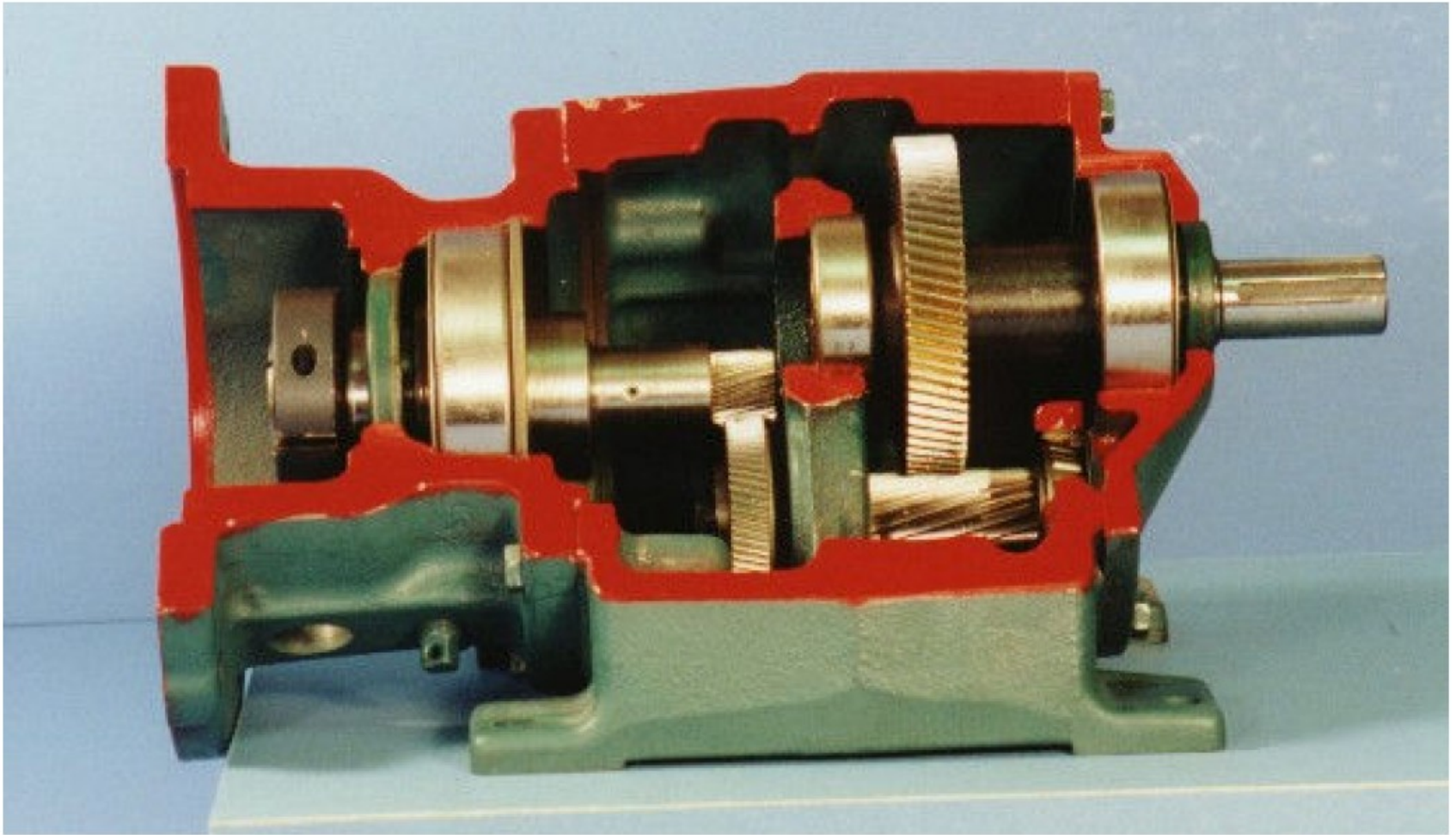


Figura 3 - Redutor de Dupla Redução com Engrenagens Helicoidais

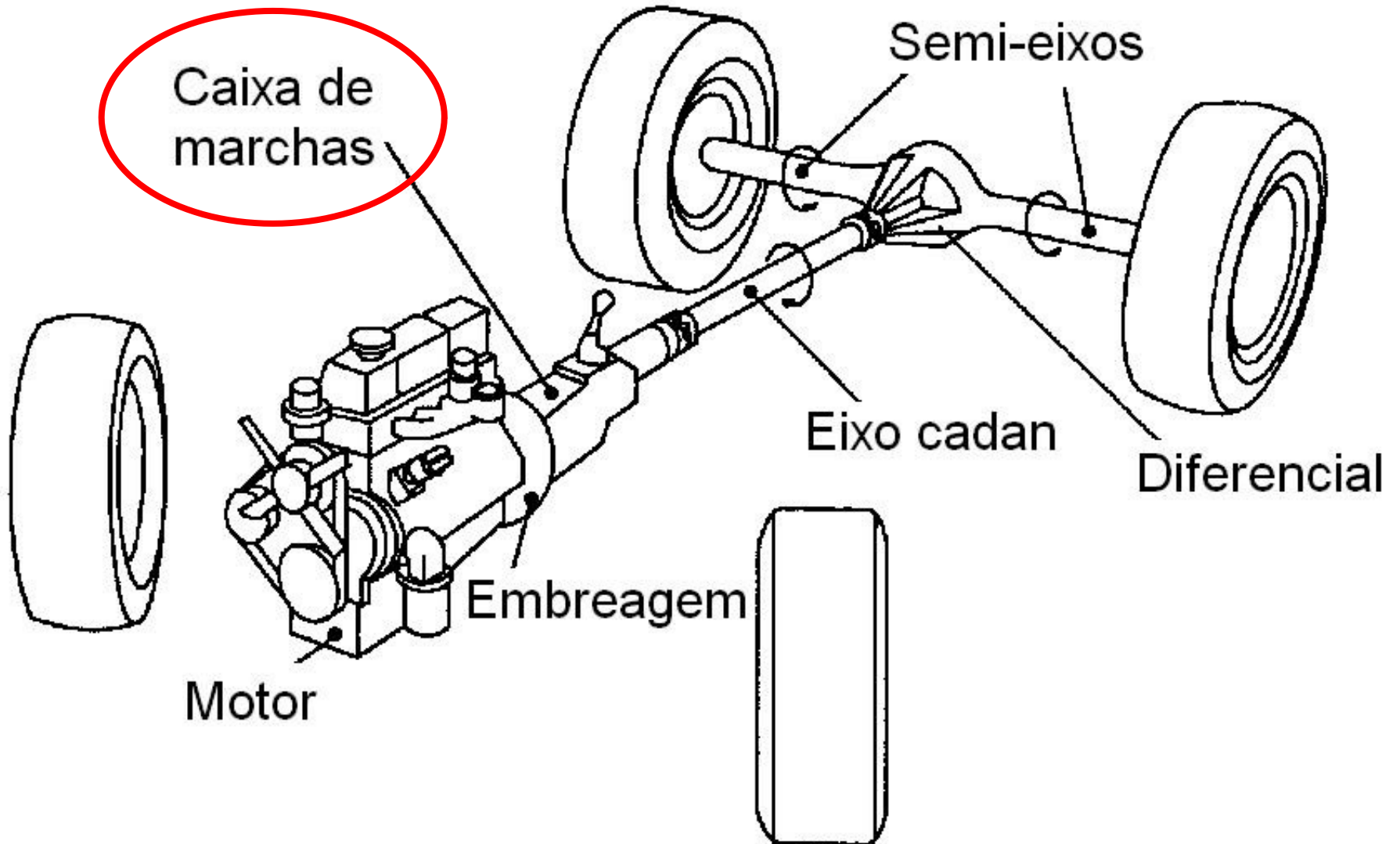
Aplicações



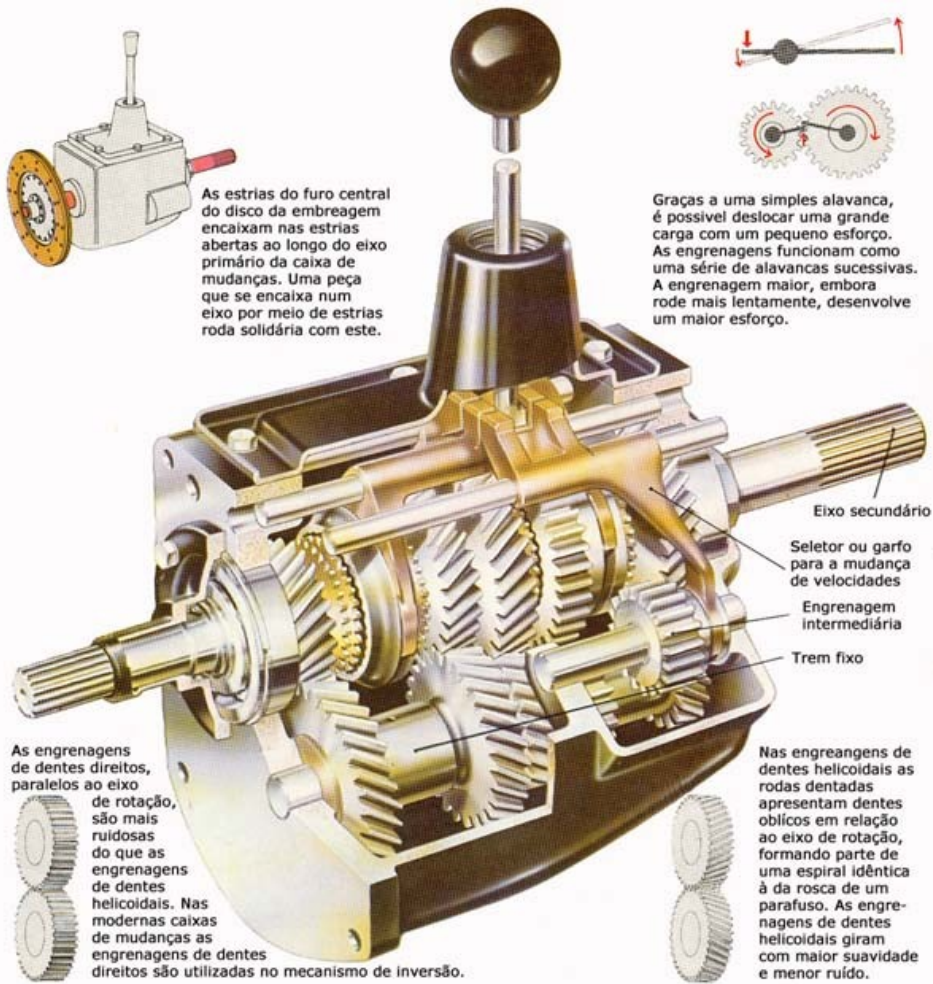
Aplicações



Aplicações



Aplicações



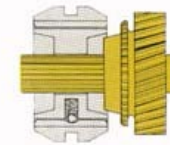
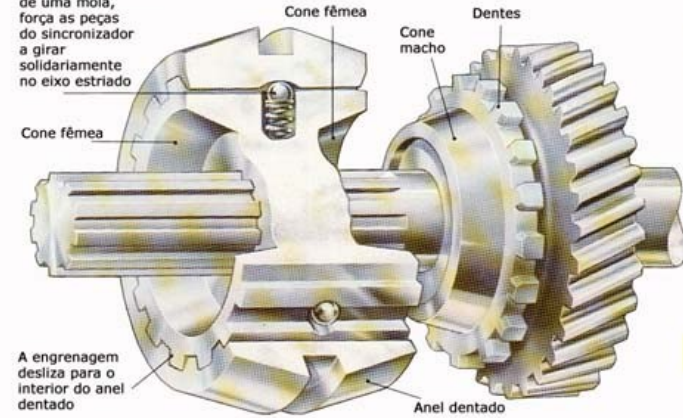
O sincronizador utiliza o atrito entre as superfícies cônicas correspondentes de dois elementos para alterar a velocidade de um deles

Quando as superfícies cônicas do sincronizador e da roda livre entram em contato, o atrito reduz ou acelera a velocidade da engrenagem

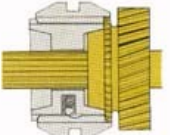
Quando as peças rodam à mesma velocidade, o anel do sincronizador é empido para a frente, por ação das molas, e os dentes engatam

A esfera, sob pressão de uma mola, força as peças do sincronizador a girar solidariamente no eixo estriado

A engrenagem desliza para o interior do anel dentado

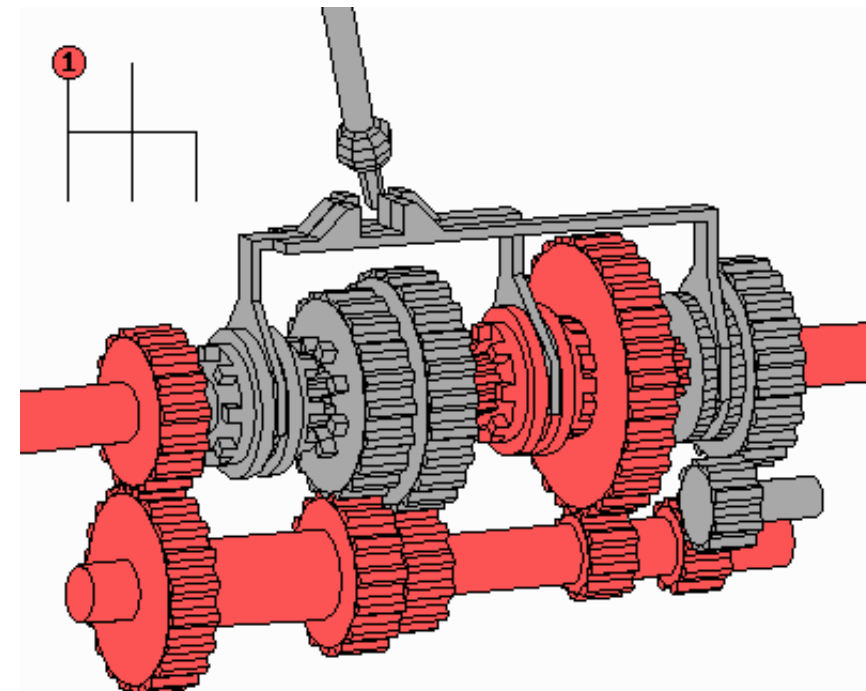
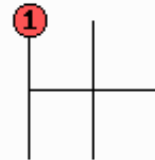


Cada esfera, sob pressão de uma mola, mantém o sincronizador unido



A pressão exercida sobre a alavanca de mudanças faz com que o anel dentado exterior deslize até engatar

O sincronizador é constituído por duas peças principais: um anel com a superfície exterior dentada e, no interior deste, uma engrenagem com cones fêmeas que se ajustam aos cones machos.



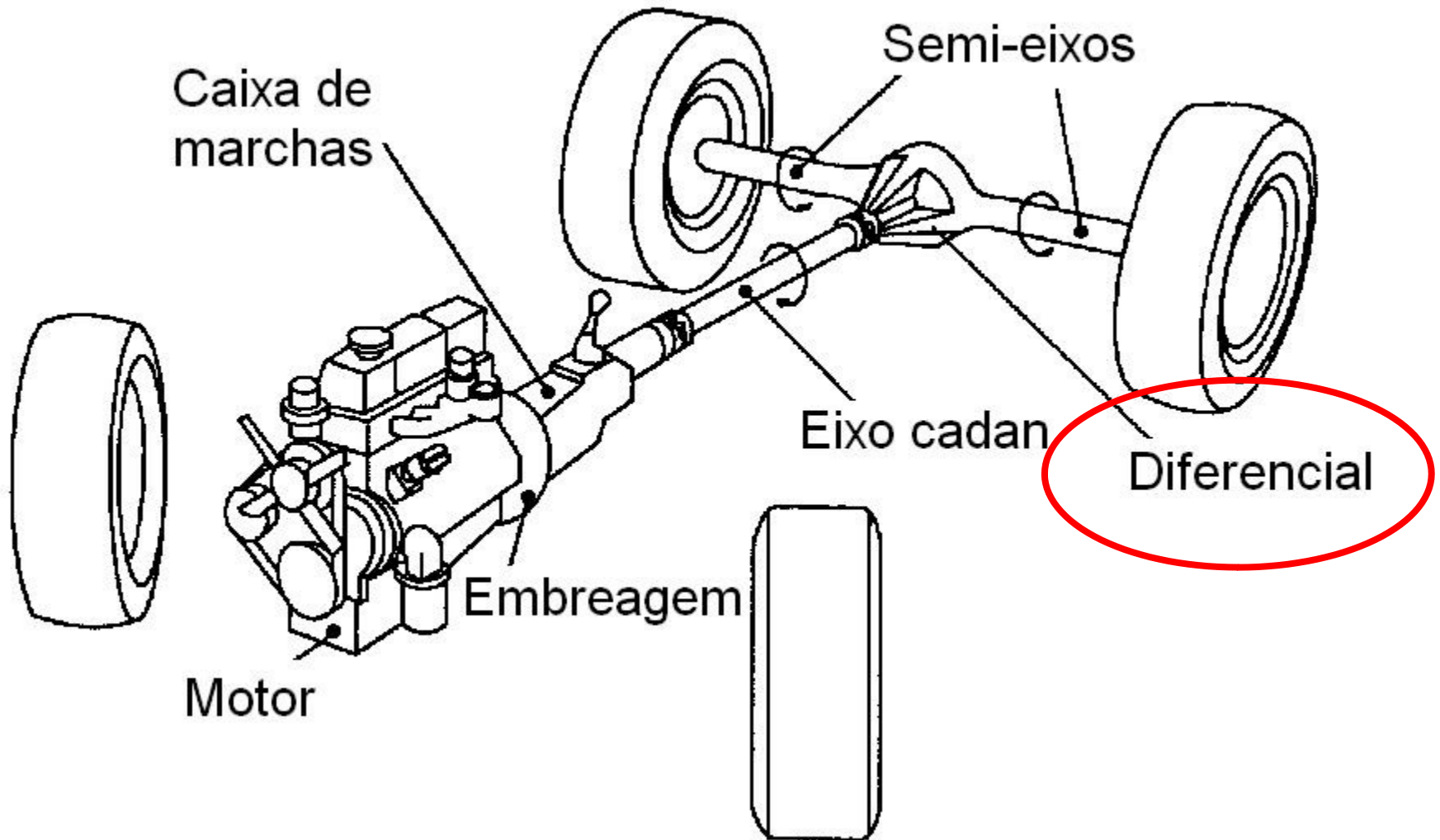
How Manual Transmissions Work!
 (Animation) [clique aqui](#)

Aplicações



Mesma distância entre centros.

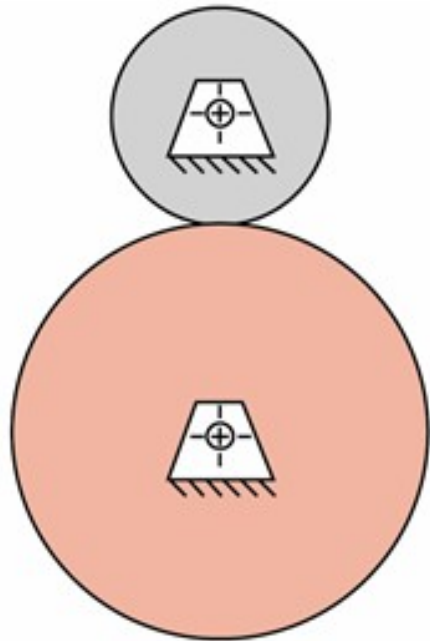
Aplicações



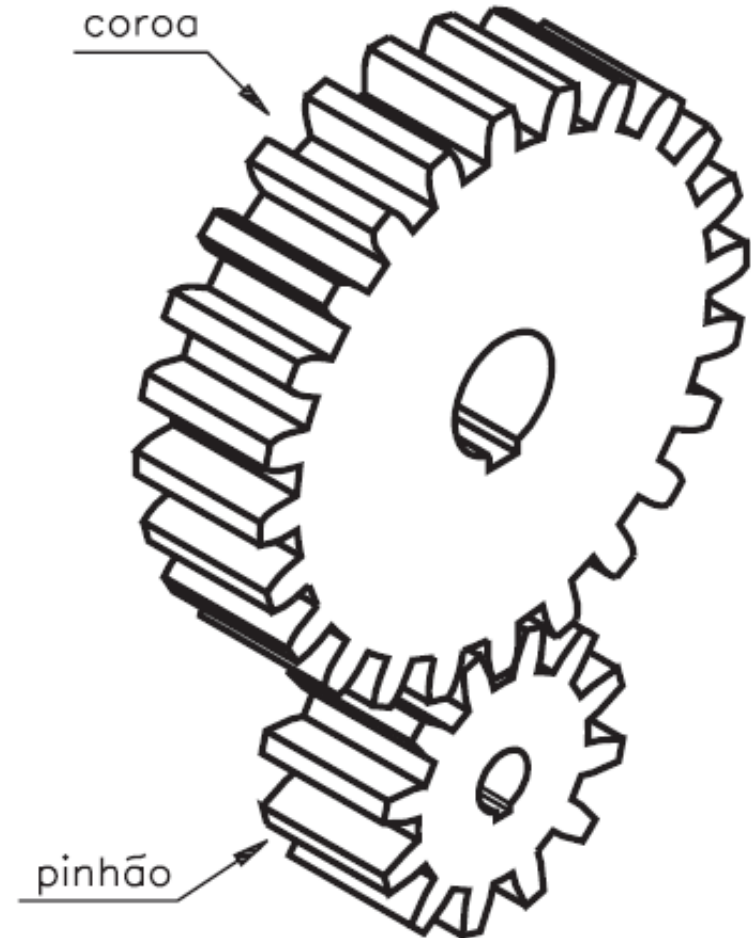
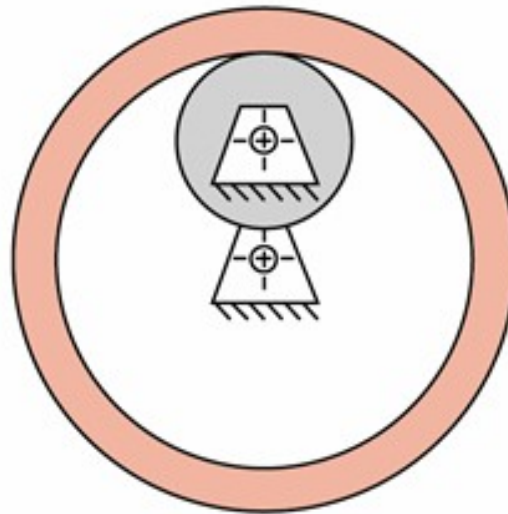
[Funcionamento de um diferencial](#)

Montagem

engrenamento externo



engrenamento interno



Engrenamento interno

Transmissão planetária

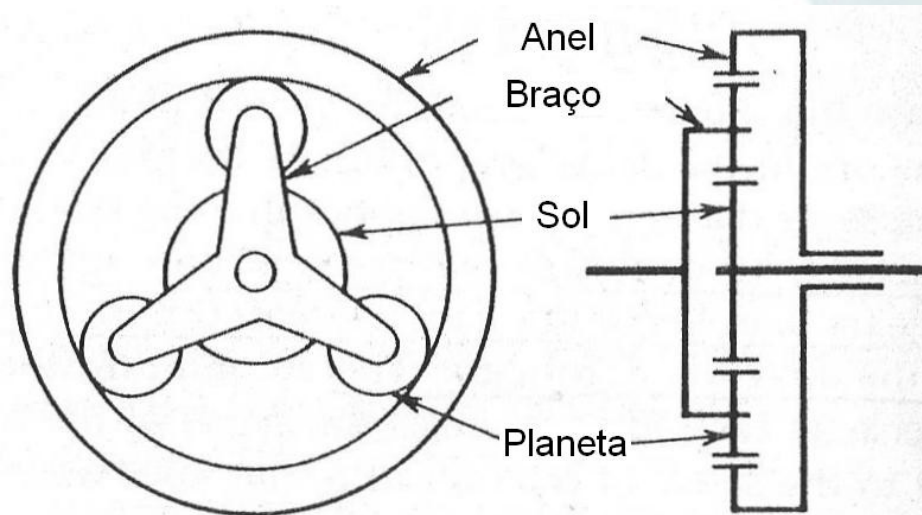
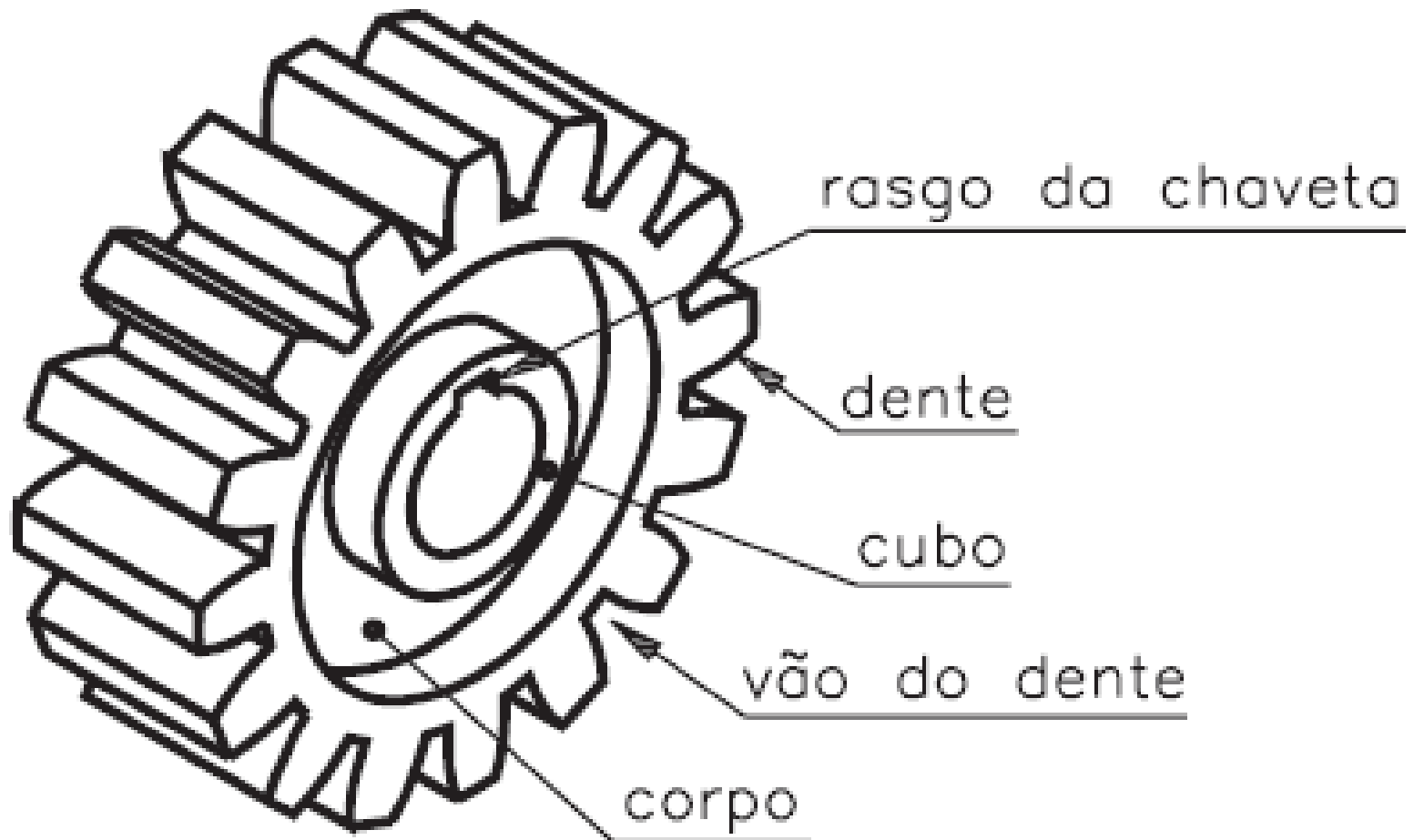


FIGURE 5.16 Simple Planetary Train



Partes de uma engrenagem



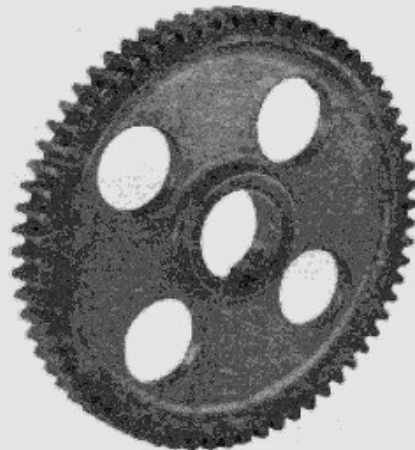
Corpos



corpo em forma de disco
com furo central



corpo em forma de disco
com cubo e furo central

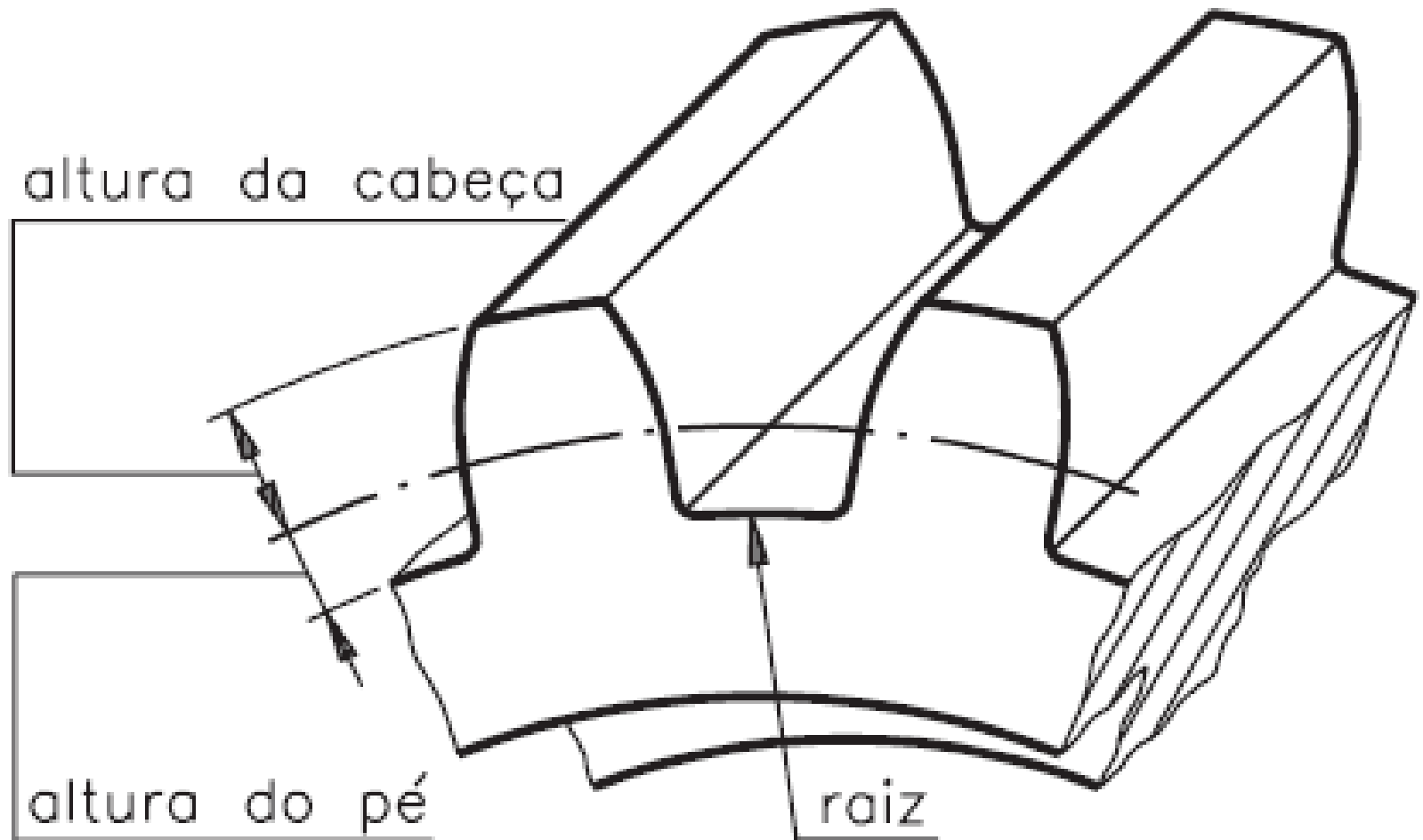


corpo com 4 furos,
cubo e furo central



corpo com braços,
cubo e furo central

Dentes



Princípio Básico do Engrenamento

$$R_1 \cos \varphi + (R_2 + W) \sin A + D \cos A - C = 0$$

$$R_1 \sin \varphi + (R_2 + W) \cos A - D \sin A = 0$$

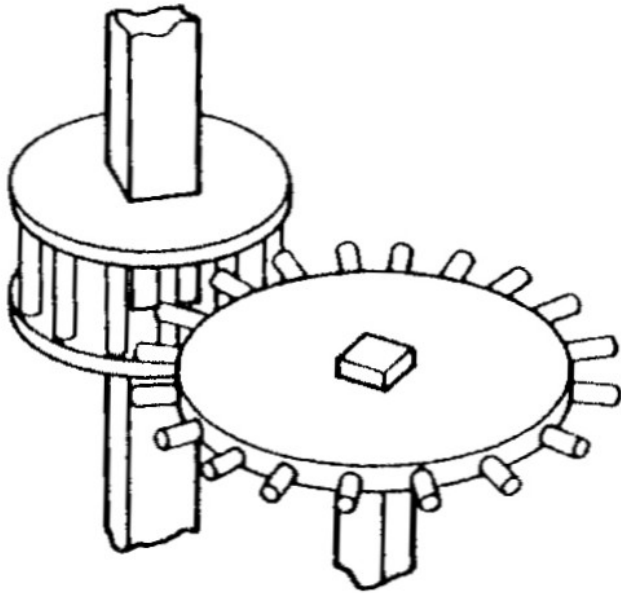
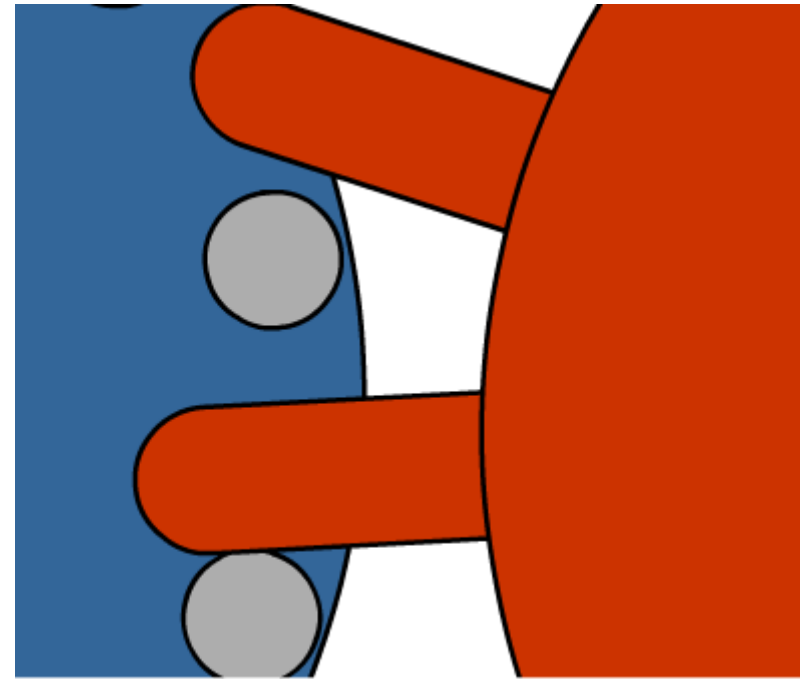


FIGURE 5.1 Medieval Lantern and Spoked Gears in Mesh



©2000 How Stuff Works

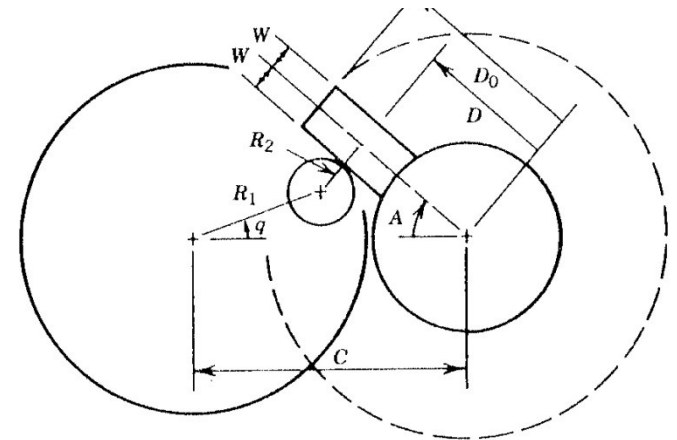


FIGURE 5.2 Schematic Diagram for Lantern and Spoked Gears

Princípio Básico

$$R_1 \cos q + (R_2 + W) \sin A + D \cos A - C = 0$$

$$R_1 \sin q + (R_2 + W) \cos A - D \sin A = 0$$

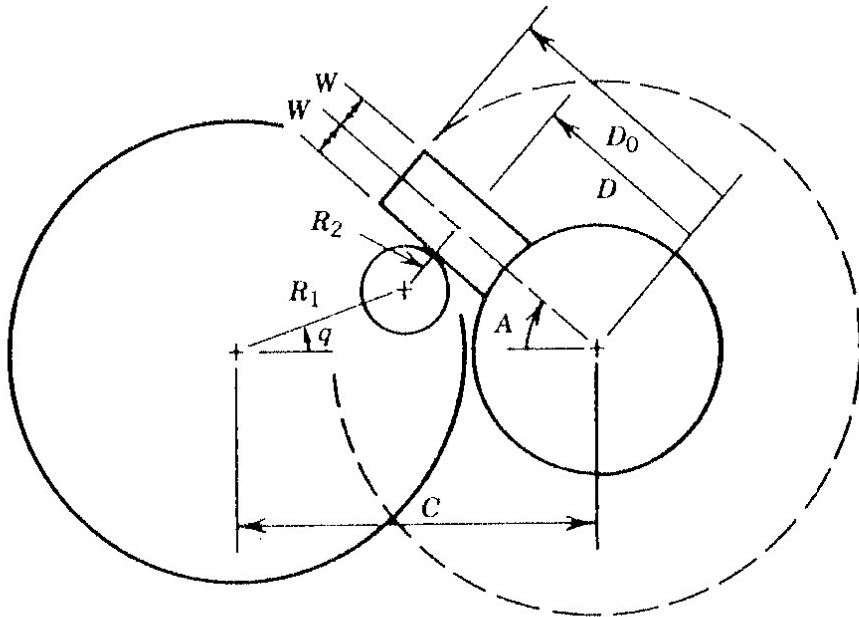


FIGURE 5.2 Schematic Diagram for Lantern and Spoked Gears

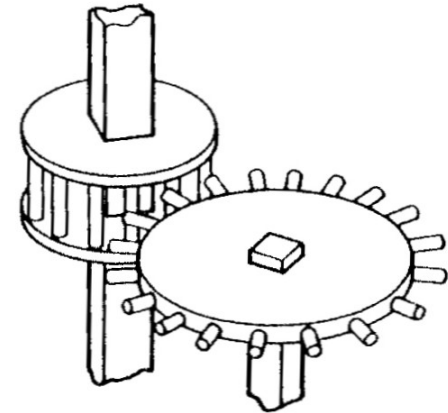
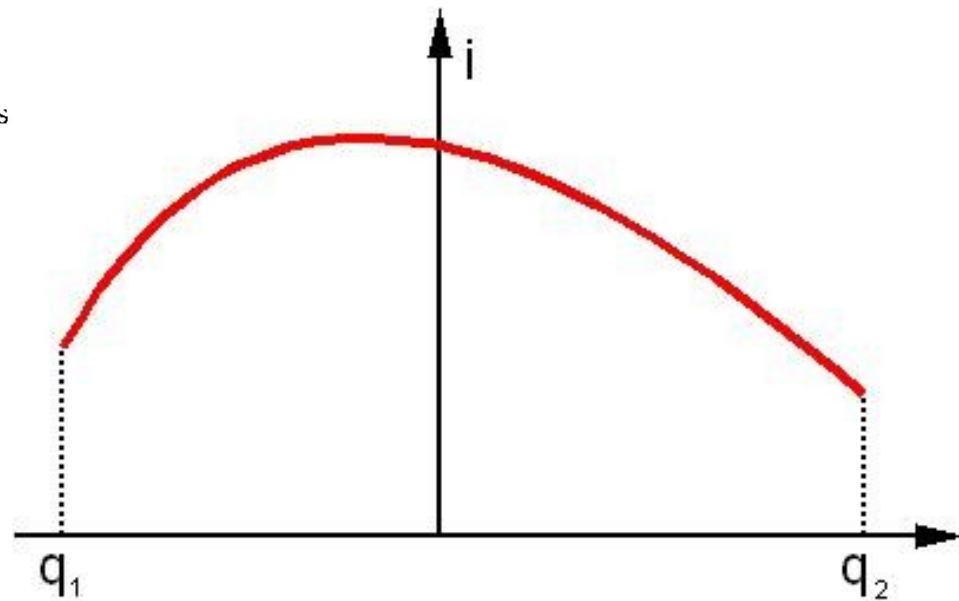
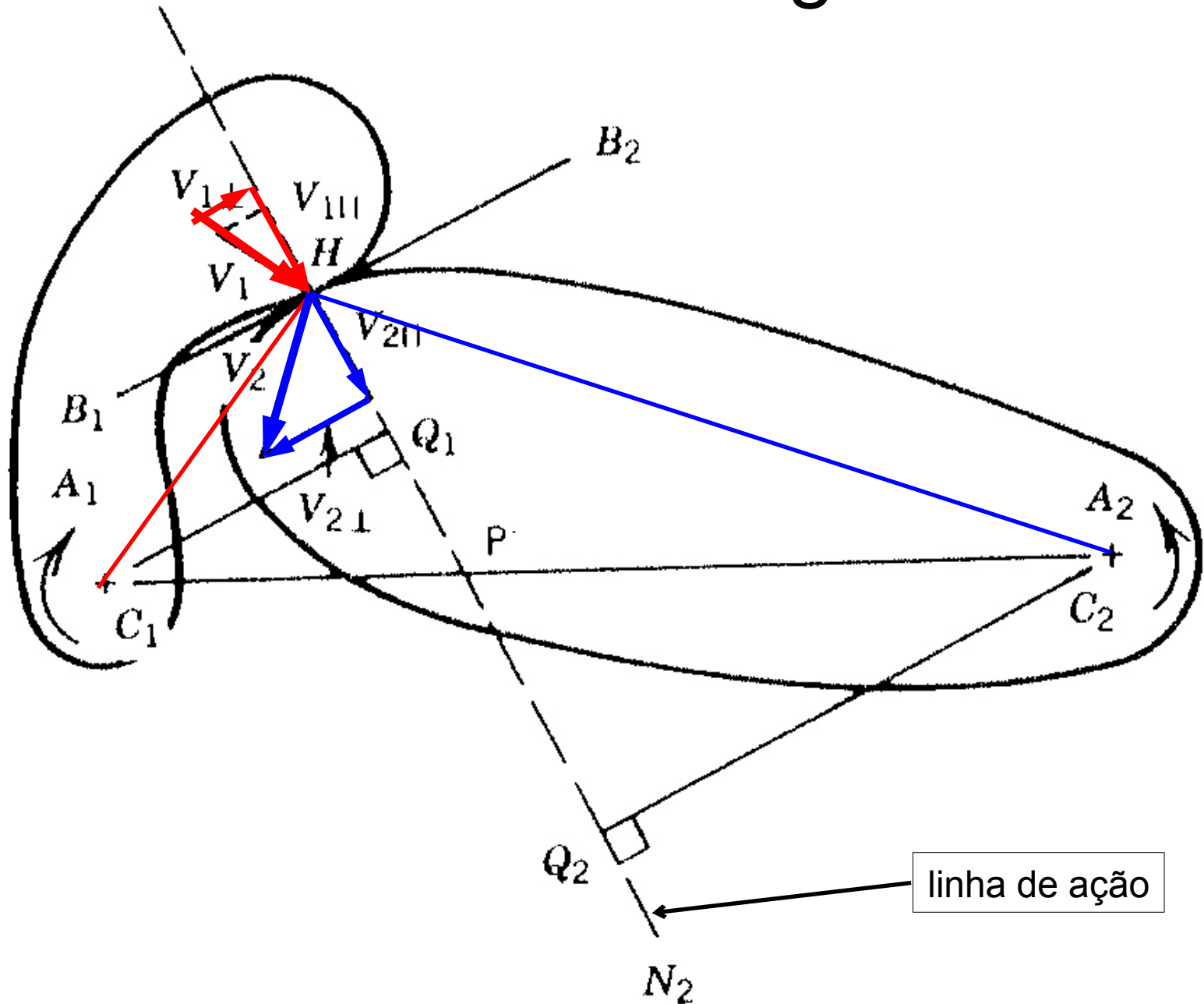


FIGURE 5.1 Medieval Lantern and Spoked Gears in Mesh

**A RELAÇÃO DE
TRANSMISSÃO NÃO
É CONSTANTE**



Lei Fundamental do Engrenamento

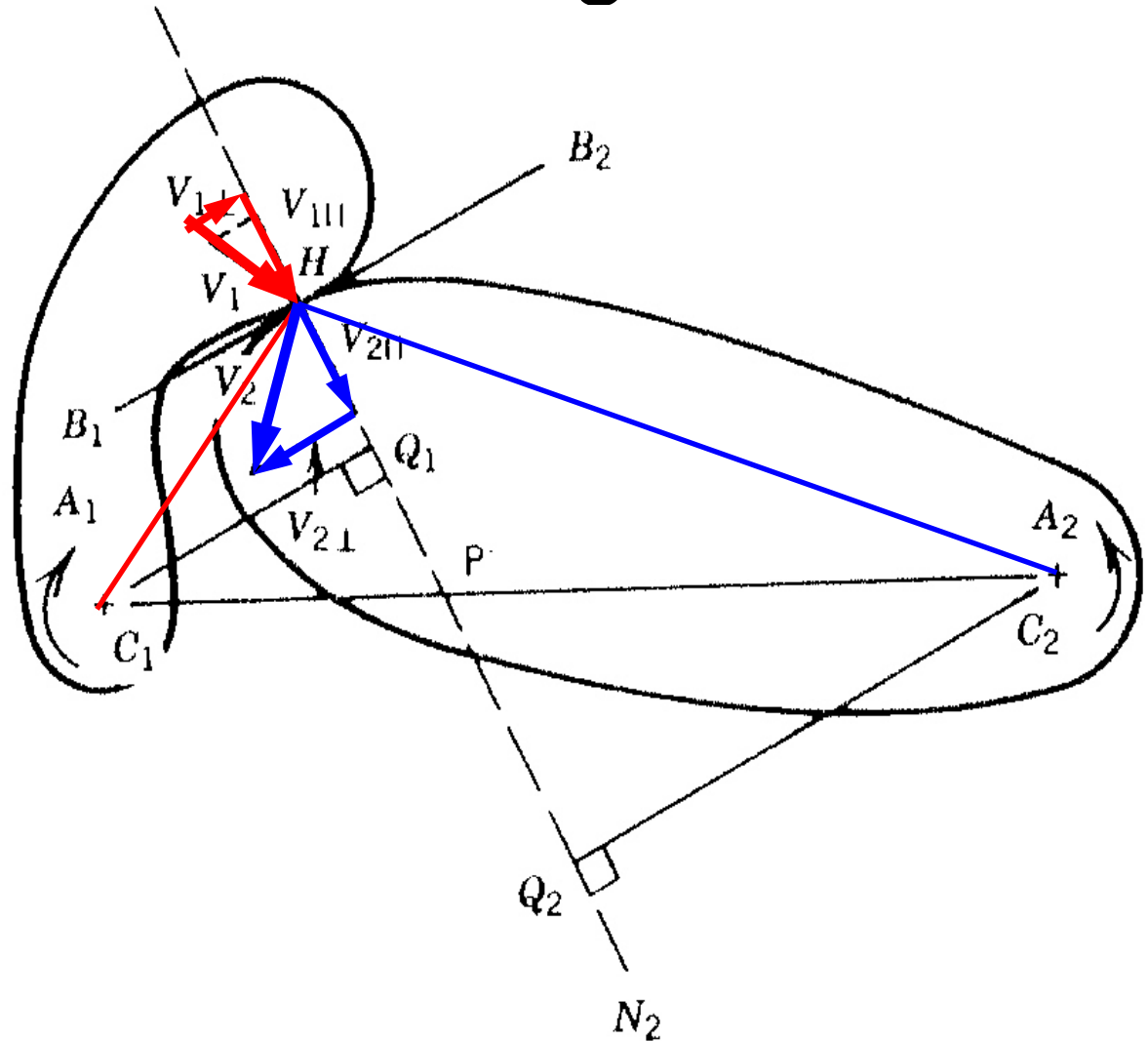


Lei Fundamental do Engrenamento

$$V_{1''} = \dot{A}_1 \cdot \overline{C_1 Q_1}$$

$$V_{2''} = \dot{A}_2 \cdot \overline{C_2 Q_2}$$

$$\frac{\dot{A}_2}{\dot{A}_1} = \frac{\overline{C_1 Q_1}}{\overline{C_2 Q_2}}$$



$$\frac{\dot{A}_2}{\dot{A}_1} = \frac{\overline{C_1 P}}{\overline{C_2 P}}$$

LEI FUNDAMENTAL DO ENGRENAMENTO:
Para que a relação de transmissão permaneça constante, o Ponto Primitivo (P) deve ser estacionário.

Deslizamento no ponto de contato

$$V_{1'}^2 = |V_1|^2 - V_{1''}^2$$

$$V_{1'}^2 = \dot{A}_1^2 \cdot \overline{C_1 H}^2 - \dot{A}_1^2 \cdot \overline{C_1 Q_1}^2$$

$$V_{1'} = \dot{A}_1 \cdot \overline{Q_1 H}$$

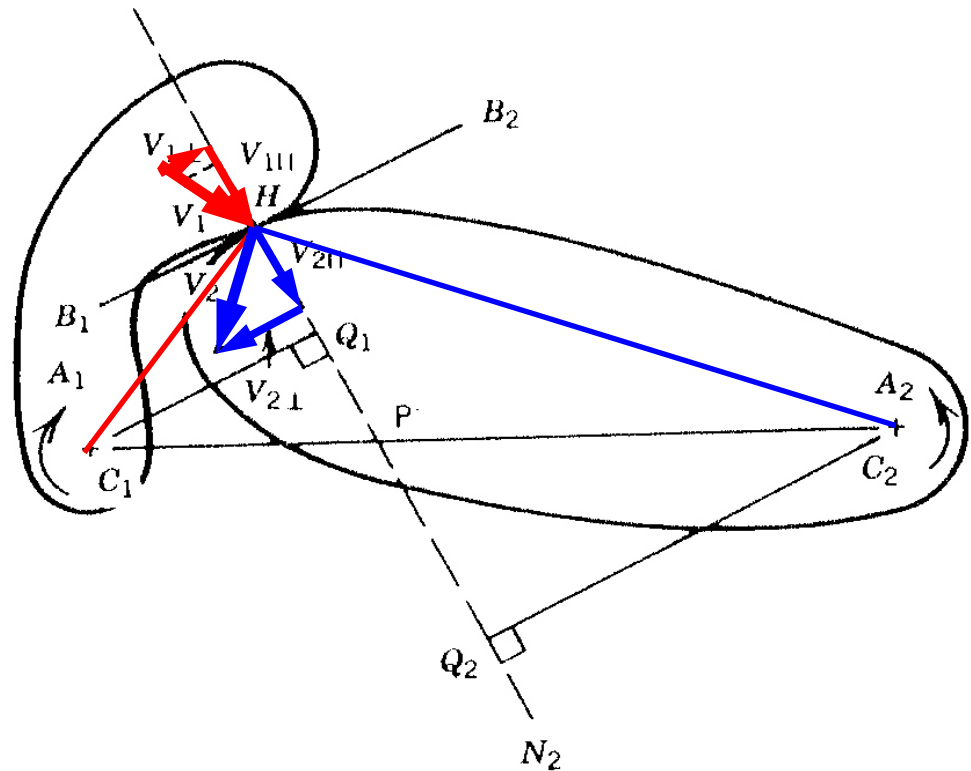
$$V_{2'} = \dot{A}_2 \cdot \overline{Q_2 H}$$

$$V_S = V_{1'} + V_{2'}$$

$$V_S = \dot{A}_1 \cdot \overline{Q_1 H} + \dot{A}_2 \cdot \overline{Q_2 H}$$

...

$$V_S = \overline{PH} \cdot (\dot{A}_1 + \dot{A}_2)$$



A velocidade de deslizamento é proporcional à distância entre o ponto de contato e o ponto primitivo e também à soma das velocidades dos dois corpos.

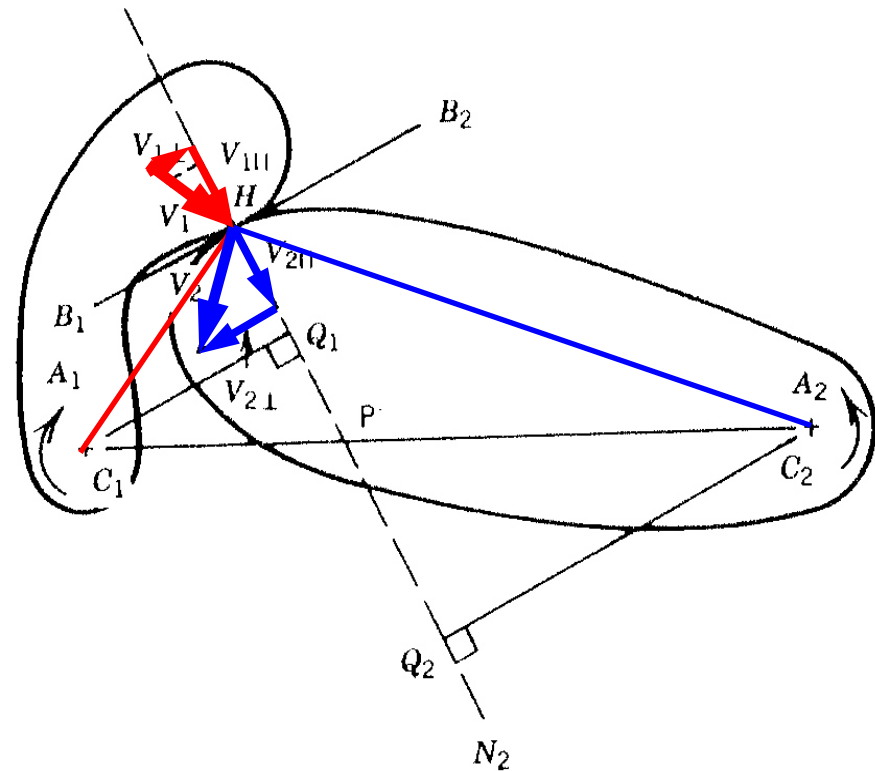
Resumo

Lei Fundamental do Engrenamento

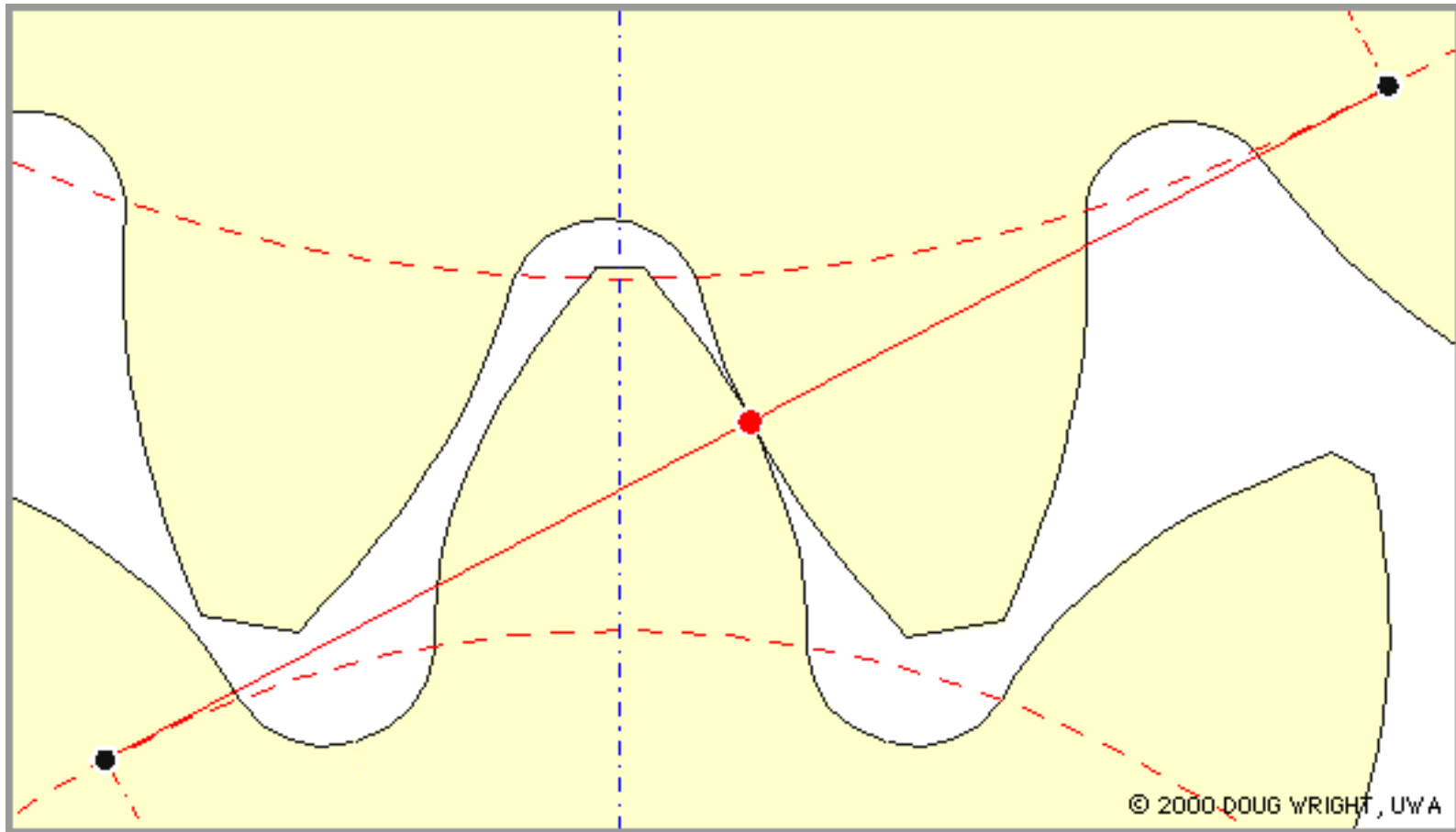
$$\frac{\dot{A}_2}{\dot{A}_1} = \frac{\overline{C_1P}}{\overline{C_2P}}$$

Velocidade de Deslizamento

$$V_s = \overline{PH} \cdot (\dot{A}_1 + \dot{A}_2)$$



Pergunta que não quer calar:



Quais os pares de perfis em contato que seguem a Lei Fundamental do Engrenamento?

Perfis conjugados

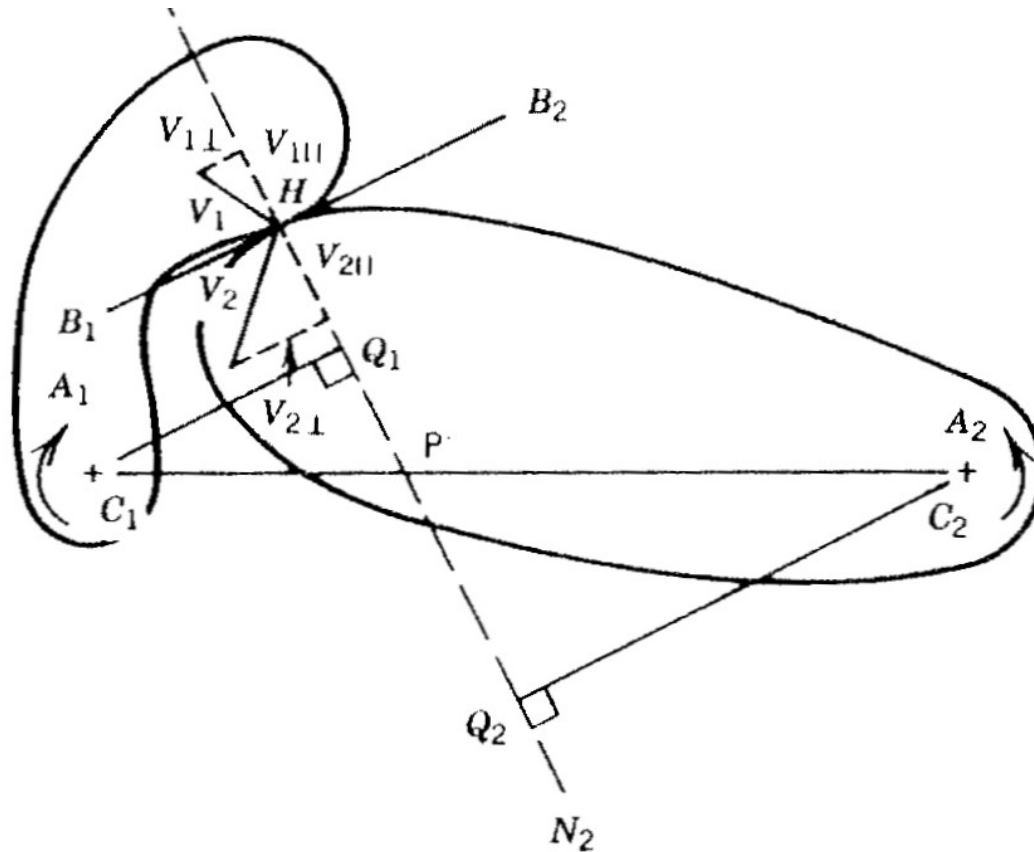


FIGURE 5.4 Two Cams Representing Teeth on Two Gears

São pares de perfis que obedecem a Lei Fundamental do Engrenamento

Propriedades da Evolvente

$$P = R_b \cdot (B + A_f)$$
$$= R_b \cdot \tan A_f$$

$$B = \tan A_f - A_f$$

$$B = ev(A_f)$$

Função Evolvente : $ev(x) = \tan x - x$

$$\cos A_f = \frac{R_b}{R}$$

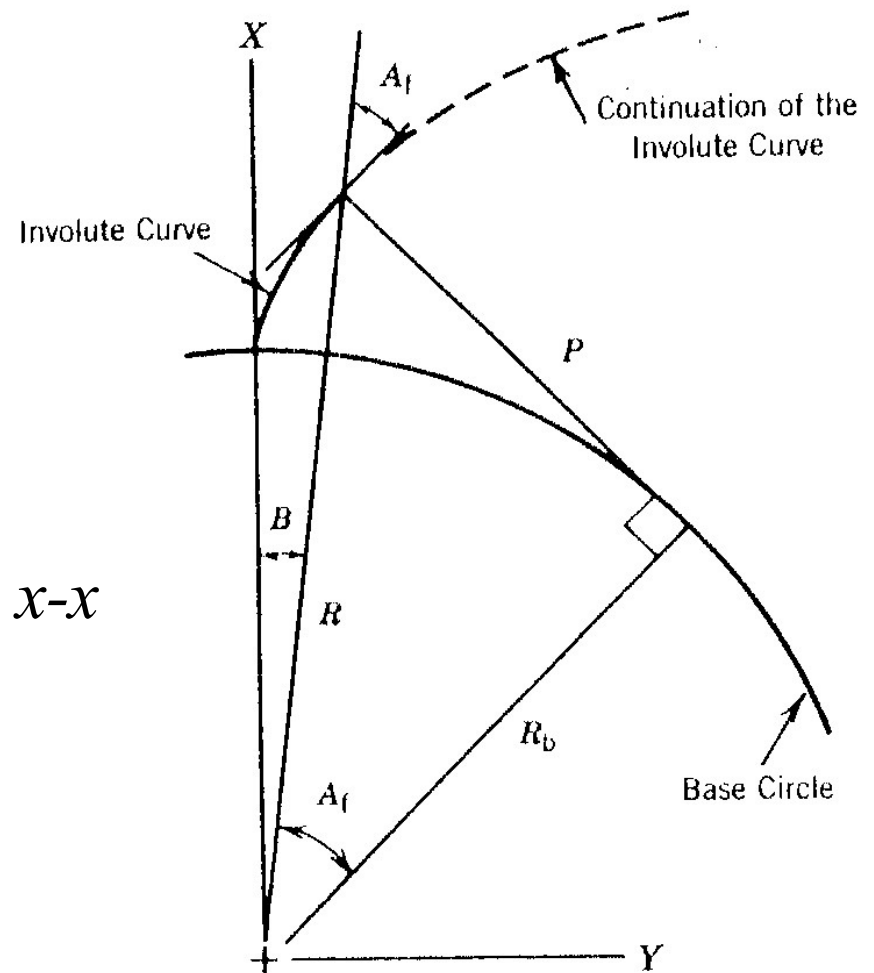
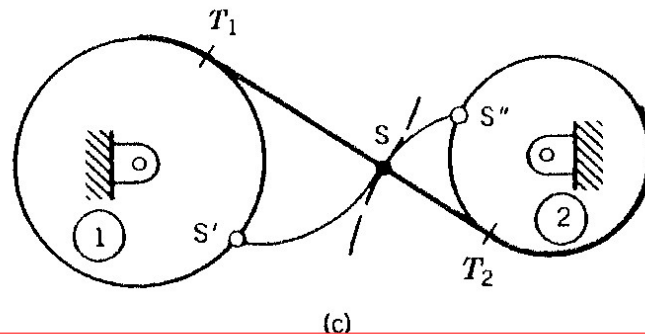
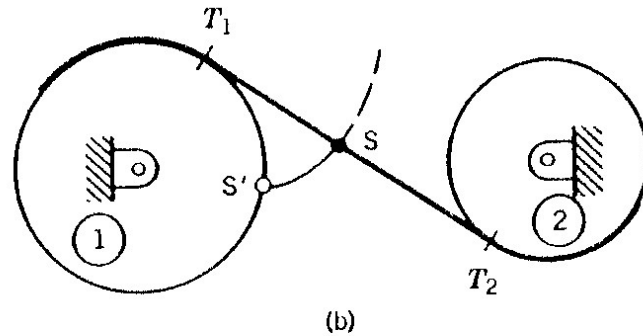
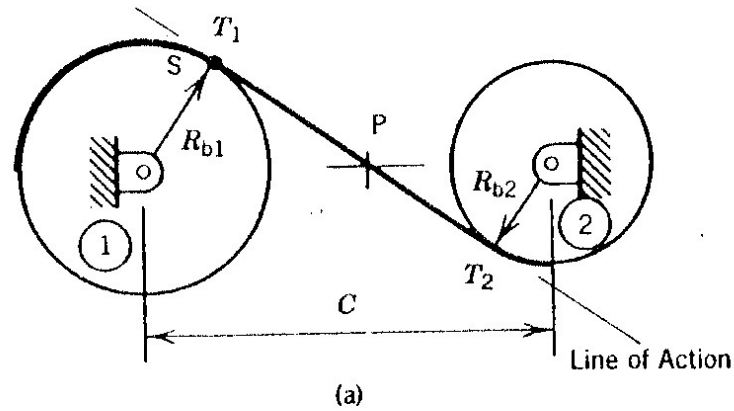


FIGURE 5.5 Geometry of the Involute Curve

Ver arquivo Matlab: evolvente.m

Evolute na engrenagem



Fellows Gear shaper the art of Generating Gears (Part 2/4)
<https://youtu.be/A3X8cuJKyns>

Evolute na engrenagem

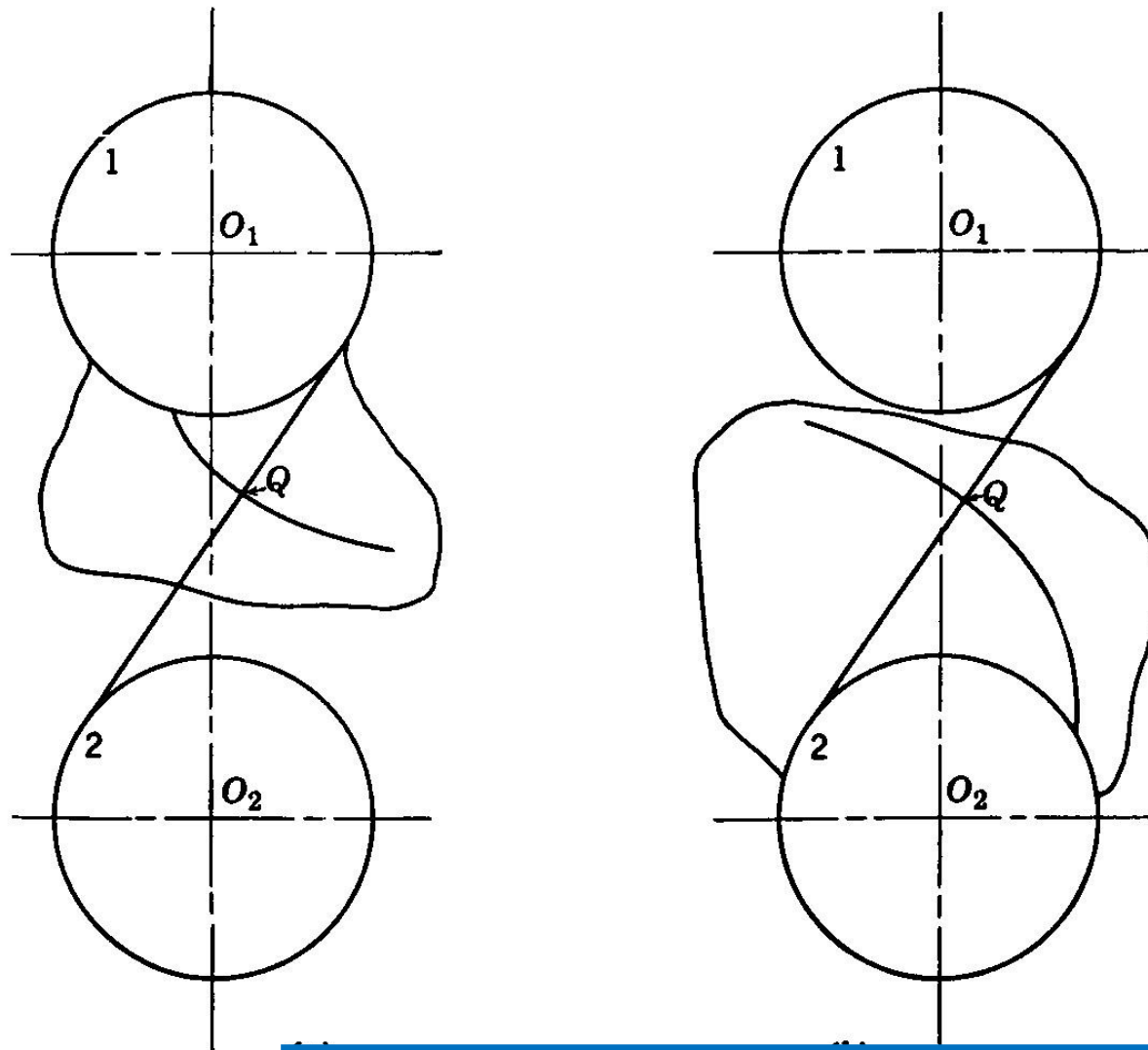


FIGURE 4.3

Evolute na engrenagem

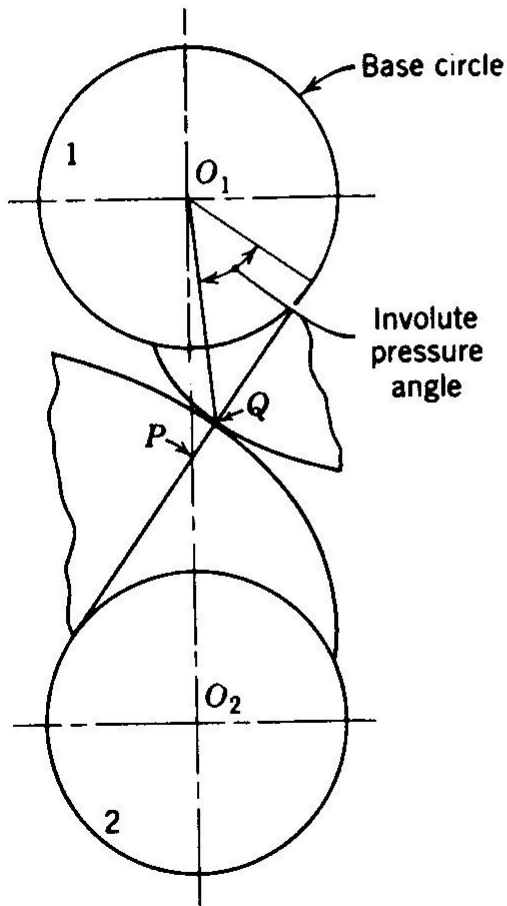


FIGURE 4.4

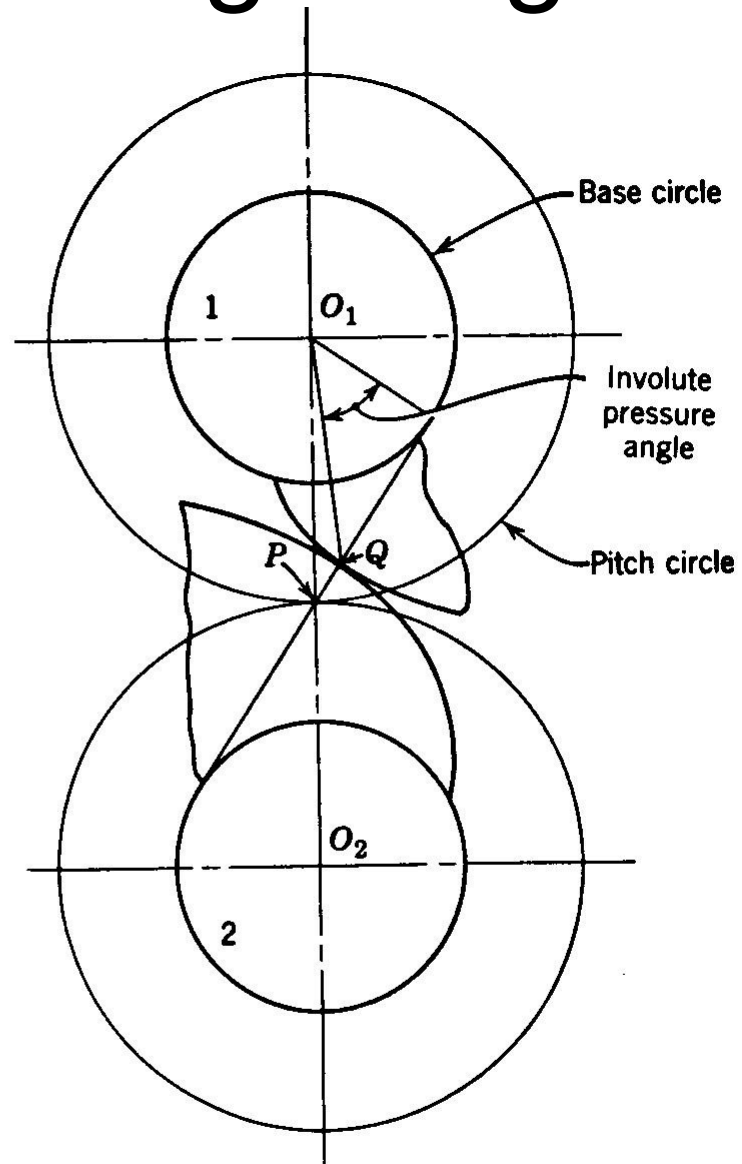
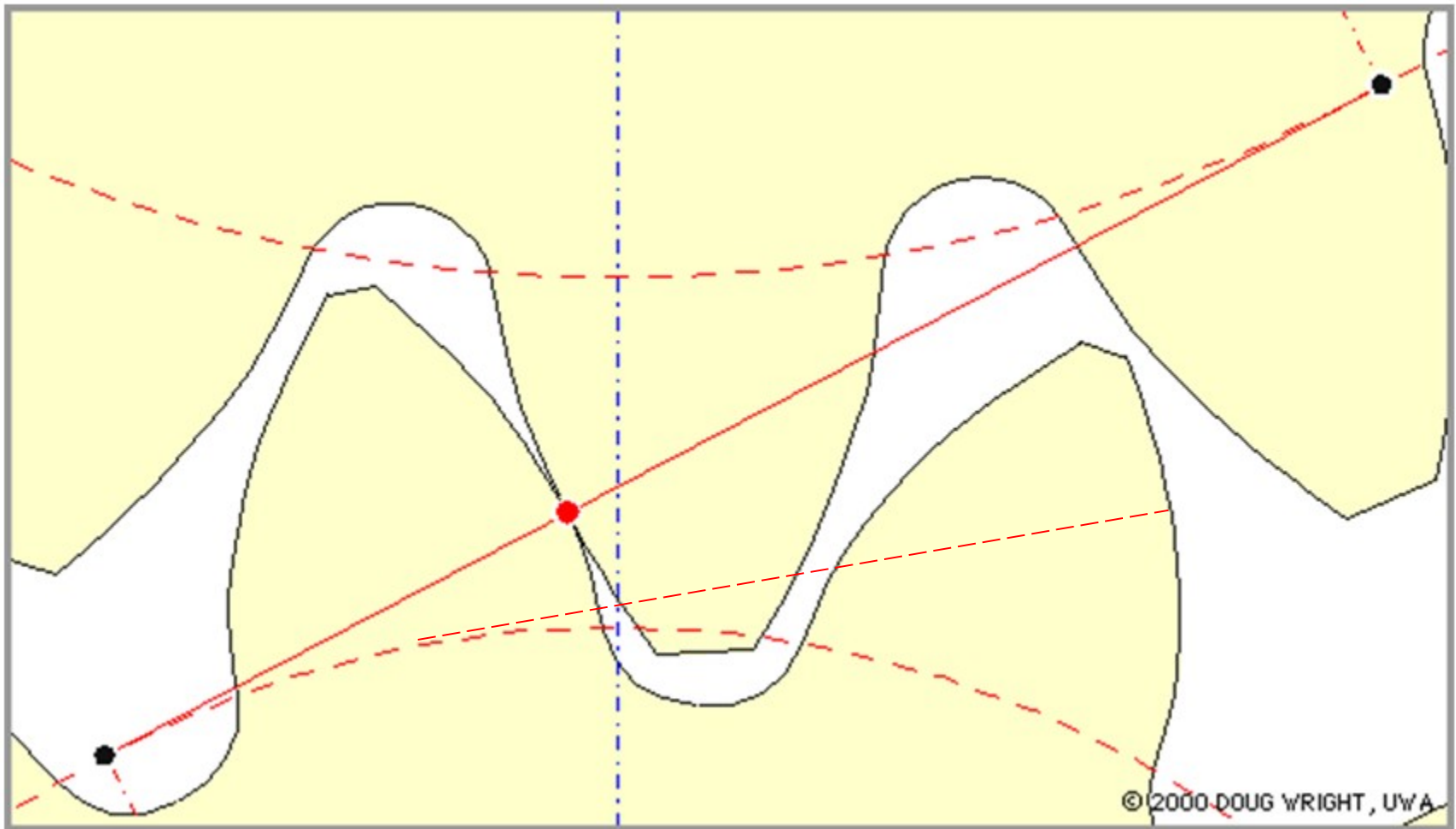


FIGURE 4.5

Evolute na engrenagem



Ângulo de Pressão

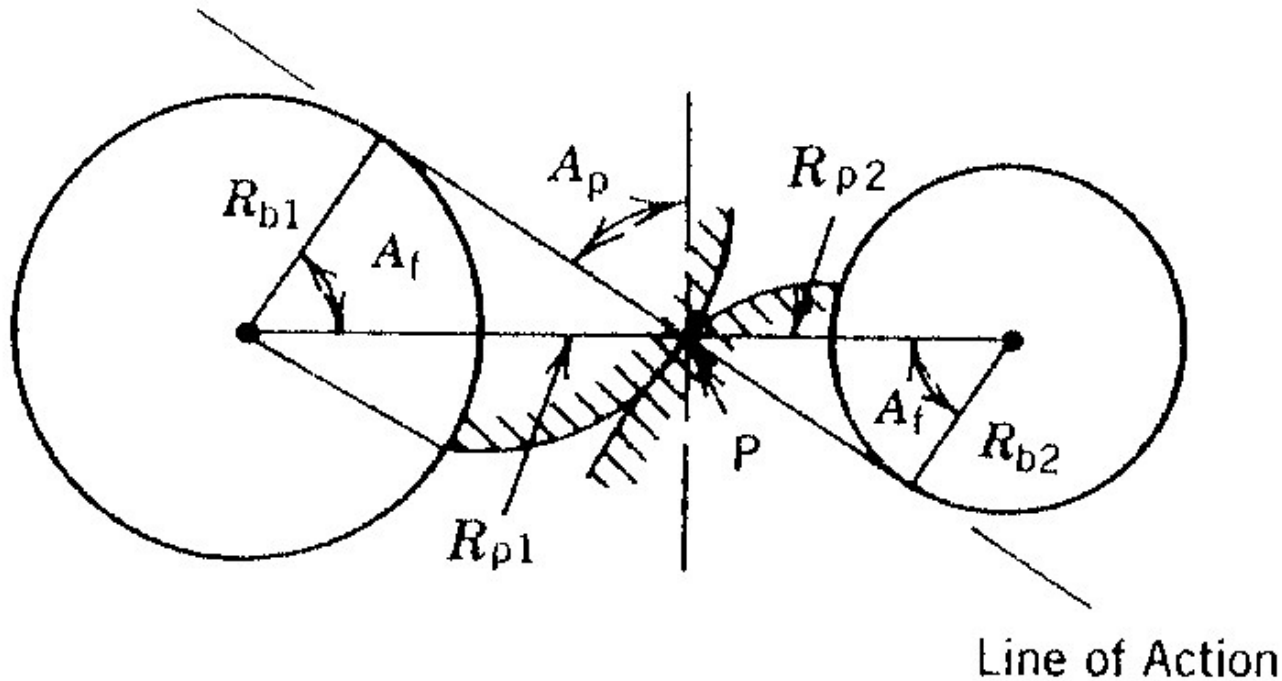
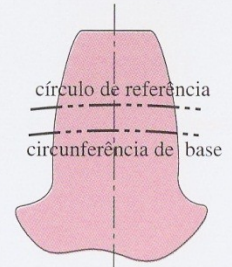


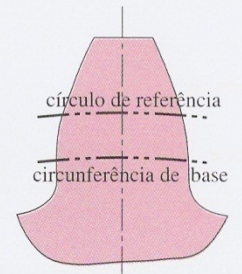
FIGURE 5.8 Definition of the Pressure Angle

Fellows Gear shaper the art of Generating Gears (Part 2/4)

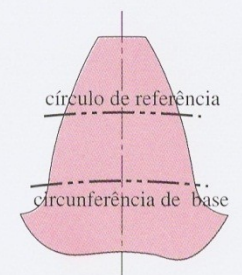
<http://www.youtube.com/watch?v=A3X8cuJKyns>



(a) $\phi = 14,5^\circ$



(b) $\phi = 20^\circ$



(c) $\phi = 25^\circ$

FIGURA 11-9

Perfis de dente AGMA de profundidade completa para três ângulos de pressão.

Relações

$$R_{b1} \cdot A_1 = R_{b2} \cdot A_2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{R_{b1}}{R_{b2}}$$

$$R_b = R_p \cdot \cos A_p$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{R_{p1}}{R_{p2}}$$

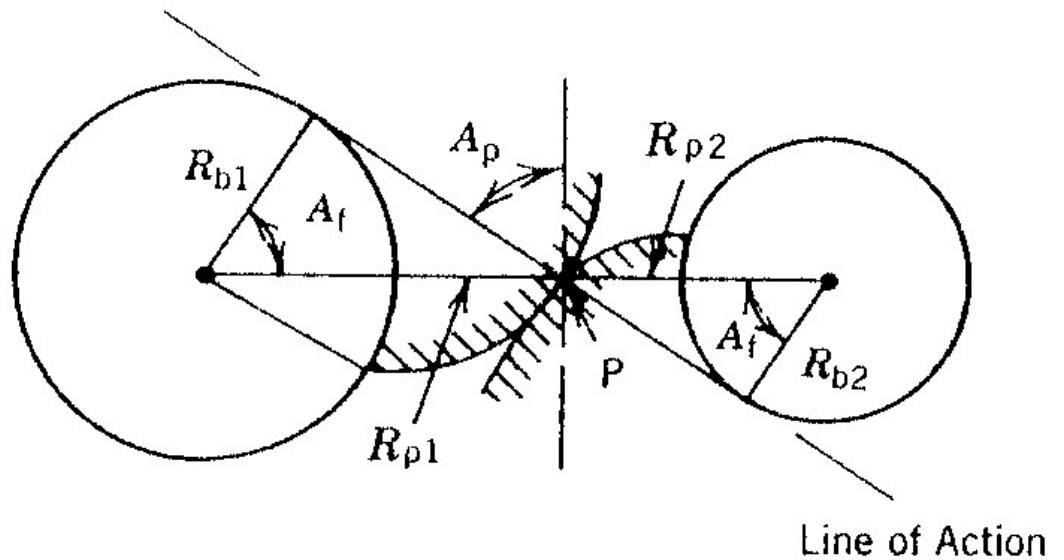


FIGURE 5.8 Definition of the Pressure Angle

Mudança da distância entre centros

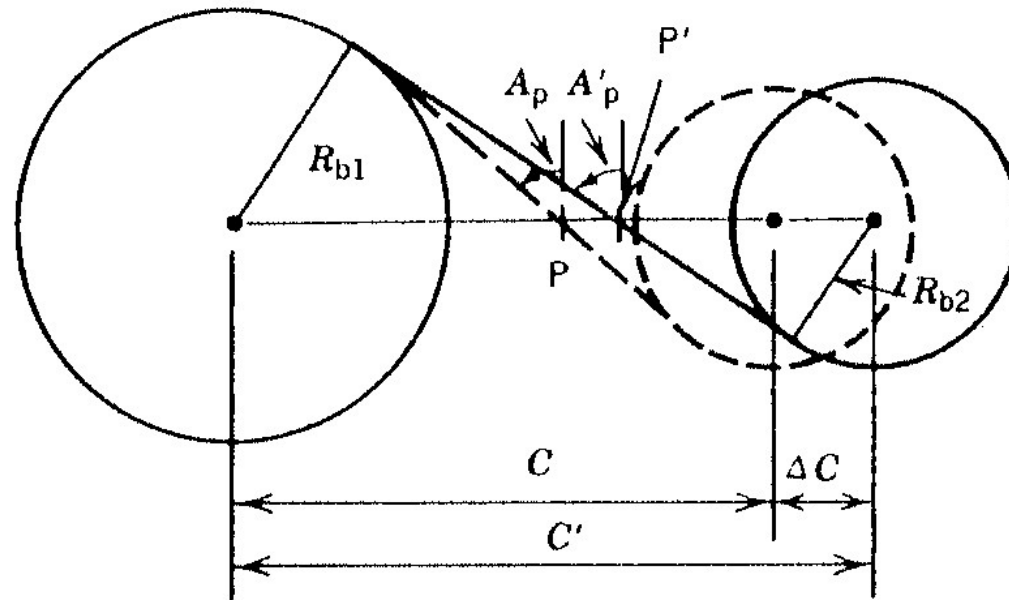


FIGURE 5.9 Effect of Changing Center Distance

A ação conjugada é preservada e a relação de transmissão não se altera.

Referência

Doughty, S.. **Mechanics of Machines**. New York: John Wiley, 1988. Capítulo 5

Norton, R. L.. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. Porto Alegre: Bookman, 2010. Capítulo 9

The transmission Bilbe

http://www.carbibles.com/transmission_bible.html

Ever-Power Transmission Group

<http://www.ever-power.biz/Planetary-Gearboxes.htm>

Alpha Bulletin Board

<http://www.alfabb.com/bb/forums/giulia-gta-gta-1300-jr-gtam-1965-1975/151279-sequential-gearbox-3.html>

MGC Systems

http://www.mgcsystems.com/GBOXES_GHIRRI_Worm_MRV.html