

AULA 02

TRANSMISSÕES POR

ENGRENAGENS

SUMÁRIO

2. Transmissões por engrenagens (continuação)

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens

2.6. Leis do engrenamento

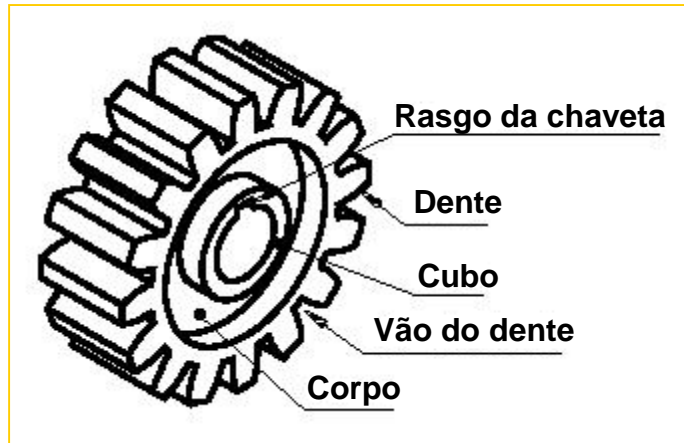
2.7. Cinemática do engrenamento

2.8. Geometria do engrenamento

2.9. Engrenagens cilíndricas helicoidais

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens

Partes de uma engrenagem



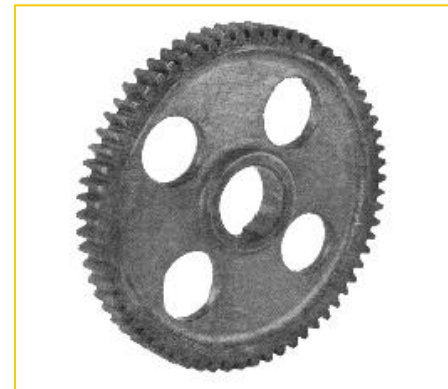
Diferentes tipos de corpos de engrenagem



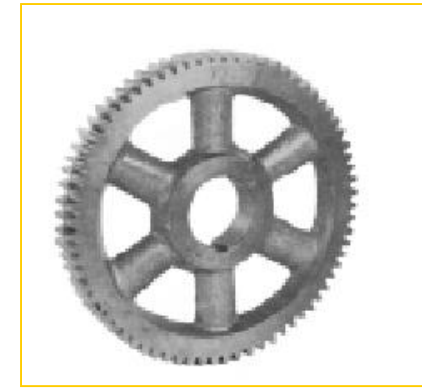
Corpo em forma de disco com furo central



Corpo em forma de disco com cubo e furo central

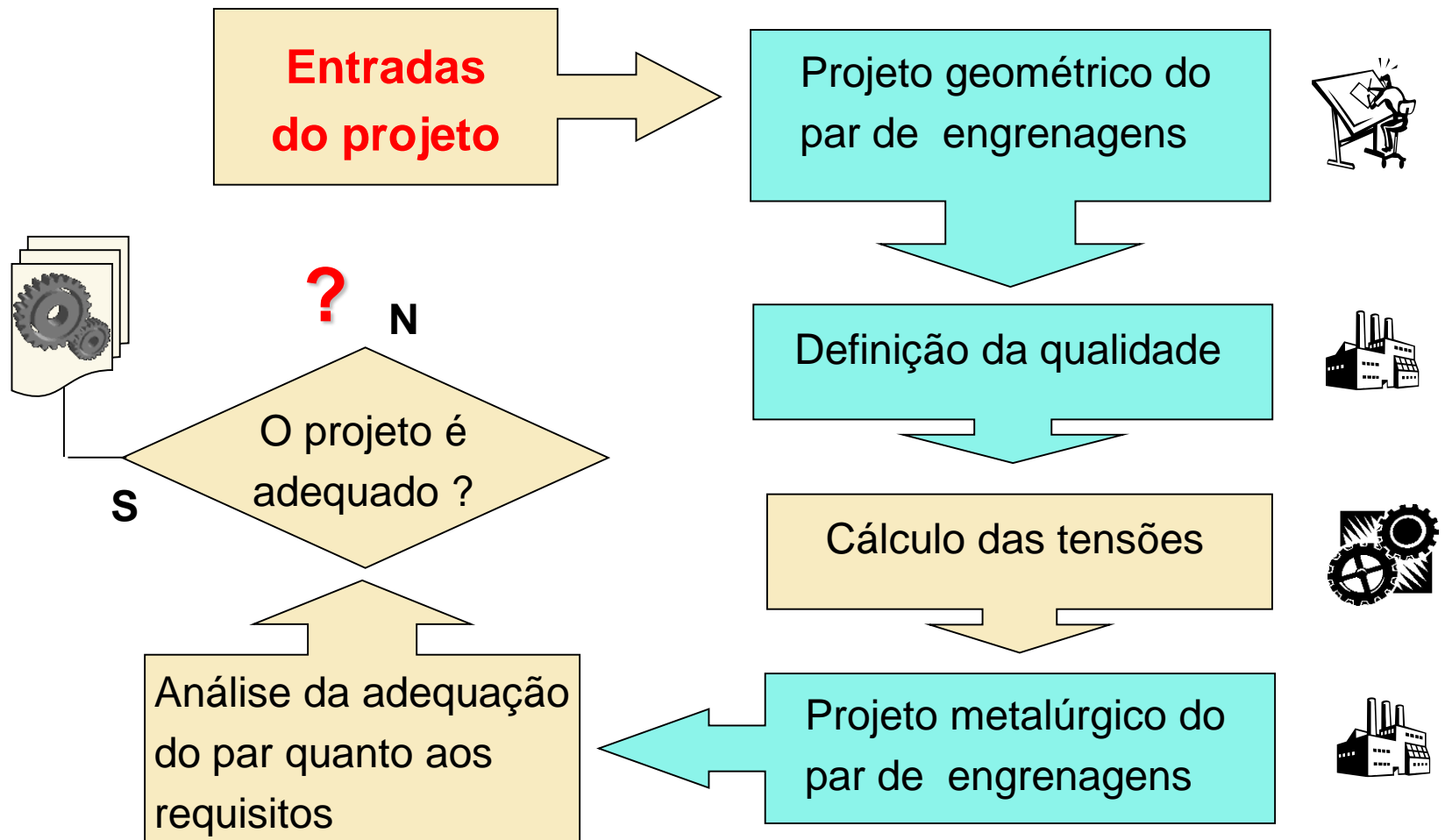


Corpo com 4 furos, cubo e furo central



Corpo com braços, cubo e furo central

Fluxo de projeto



Entradas (requisitos) do projeto

- Relação de transmissão: ampliação ou redução;
- Potência a transmitir;
- Restrições geométricas: distância entre centros, larguras, diâmetros máximos;
- Aplicação do par de engrenagens (veículo);
- Vida requerida na aplicação. Ex. 500.000Km;
- Nível de ruído e qualidade sonora.

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens

- ❑ Cilindro primitivo – cilindro que rola sem escorregar sobre o cilindro primitivo da outra engrenagem (Fig 1).
- ❑ Cilindro externo – é a superfície que coincide com os topos dos dentes de uma engrenagem cilíndrica externa (Fig 2).
- ❑ Cilindro de raiz – é uma superfície tangente ao fundo dos espaços entre dentes em uma engrenagem cilíndrica (Fig 2).

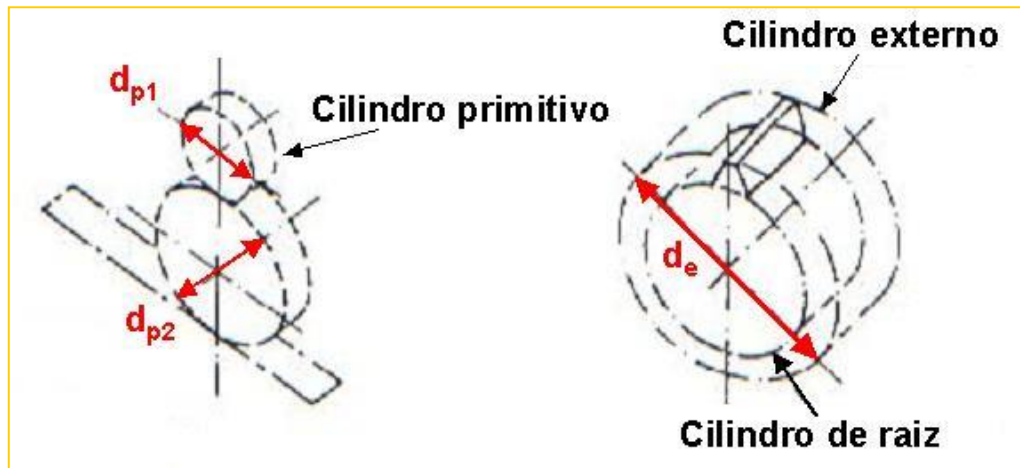


FIGURA 1

FIGURA 2

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Diâmetro interno (ou de raiz) = d_i – diâmetro do cilindro de raiz da engrenagem.
- ❑ Diâmetro primitivo = d_p – diâmetro do cilindro primitivo da engrenagem.
- ❑ Diâmetro externo (ou de topo) = d_e – diâmetro do cilindro externo da engrenagem.

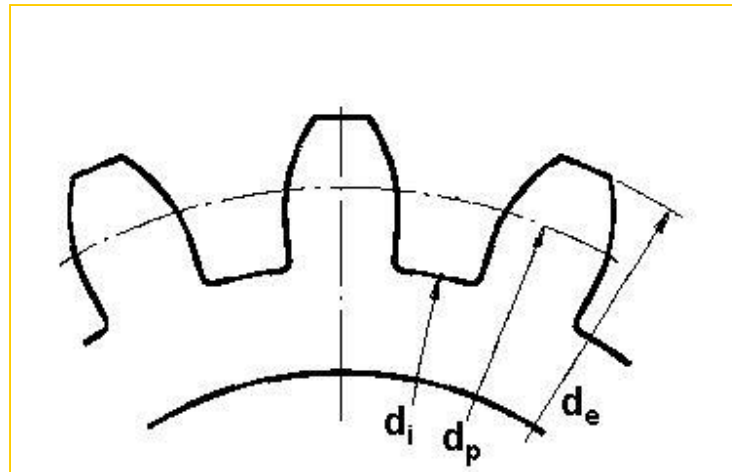


FIGURA 3. Detalhe da engrenagem: dentes

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ **Pinhão** – nome dado à engrenagem menor do par (Fig 4).
- ❑ **Coroa** – nome dado à engrenagem maior do par (Fig 4).
- ❑ **Engrenagem motora** – engrenagem do par pela qual a potência mecânica entra (Fig 5).
- ❑ **Engrenagem movida** – engrenagem do par pela qual a potência mecânica sai (Fig 5).
- ❑ **Cremalheira** – engrenagem com diâmetro primitivo infinito (Fig 6).

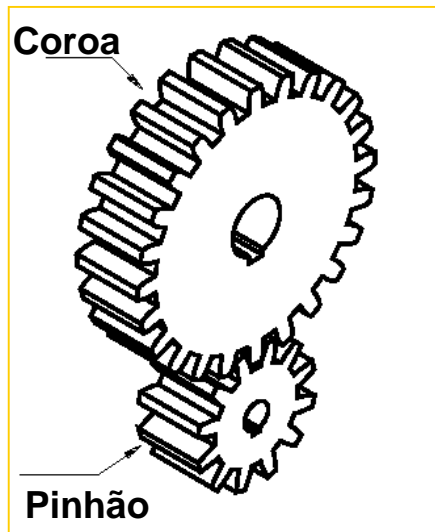


FIGURA 4

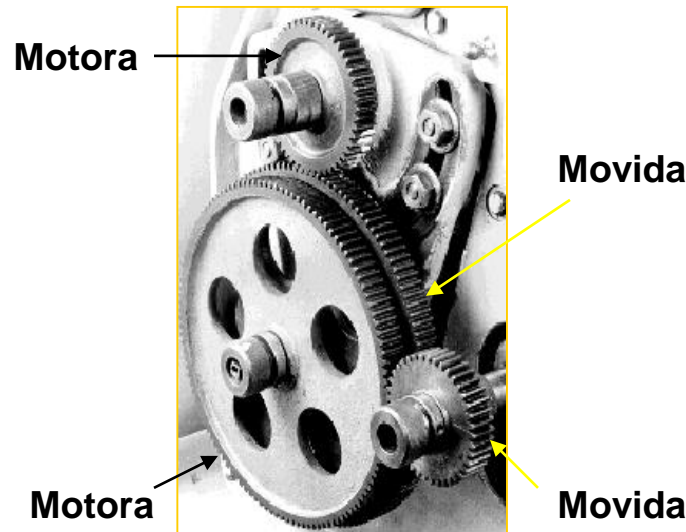


FIGURA 5

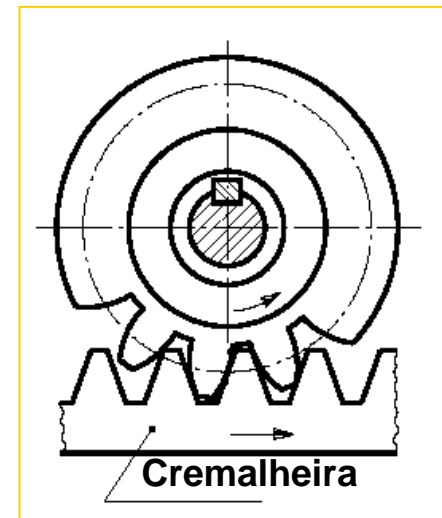


FIGURA 6

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Adendo – é a distância radial entre o círculo primitivo e o círculo externo (Fig 7 e 8, a).
- ❑ Dedendo – é a distância radial entre o círculo primitivo e o círculo de raiz (Fig 7 e 8, b).
- ❑ Altura Total – adendo + dedendo (Fig 8, h).
- ❑ Folga de fundo (*clearance*) – semidiferença entre os diâmetros das circunferências de folga e de raiz (Fig 7, c).

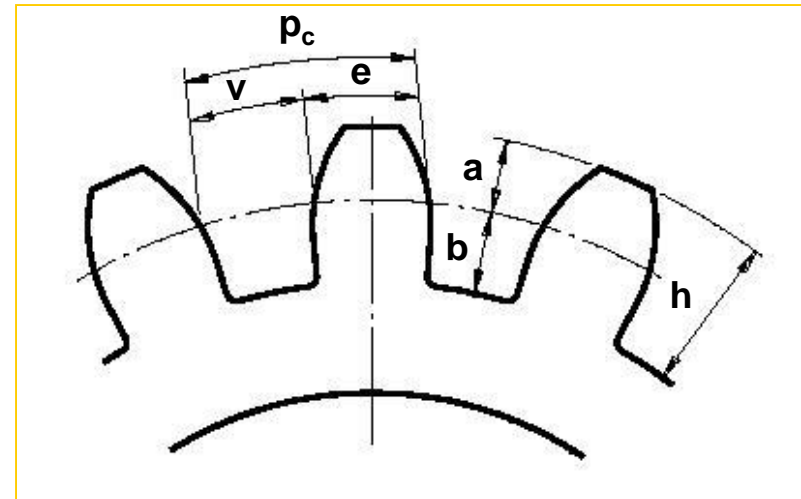
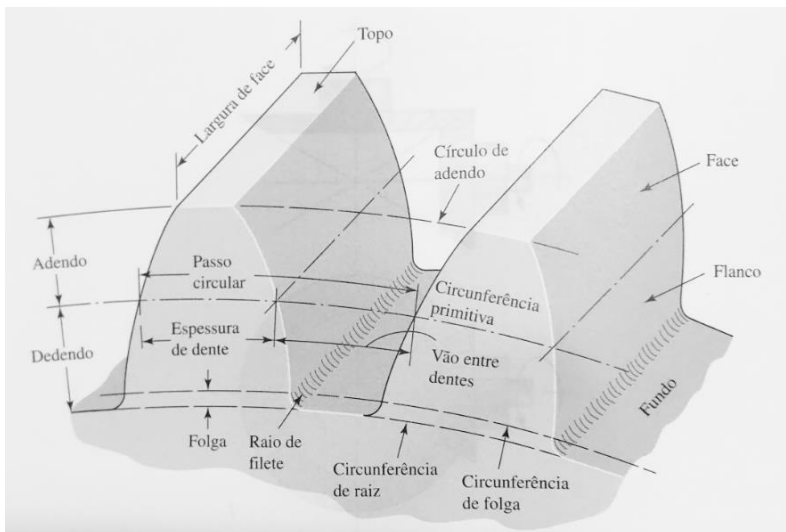


FIGURA 8

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ **Passo circular** – é a distância medida sobre o círculo primitivo, entre pontos correspondentes de dentes adjacentes (Fig 7 e 8, $p_c = v + e$).
- ❑ **Espessura circular dos dentes** – é a medida do arco limitada pelo dente sobre a circunferência primitiva (Fig 7 e 8, e).
- ❑ **Vão entre dentes** – é o vazio que fica entre dois dentes consecutivos também delimitados por um arco do diâmetro primitivo (Fig 7 e 8, v).

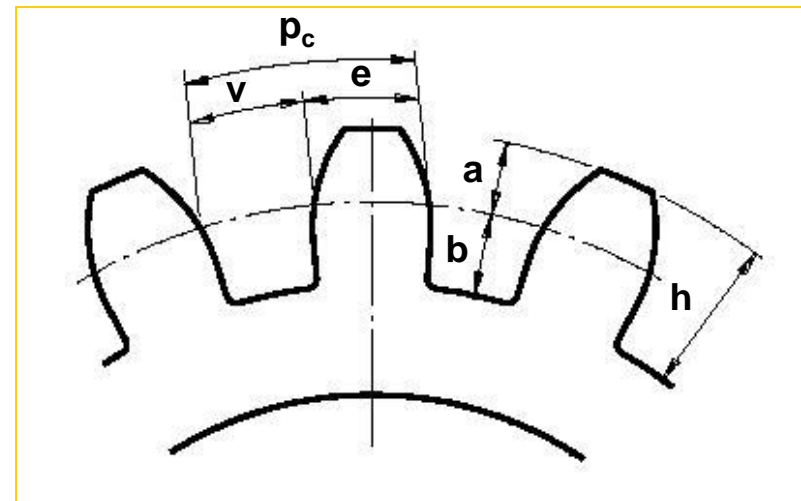
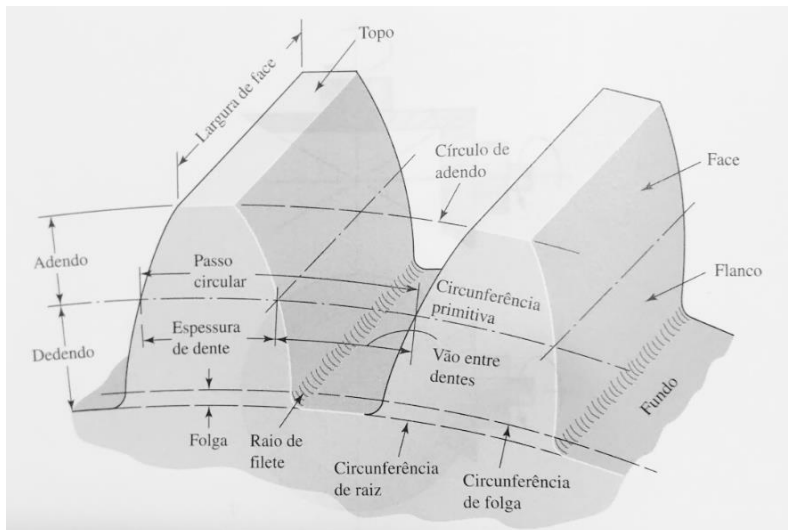
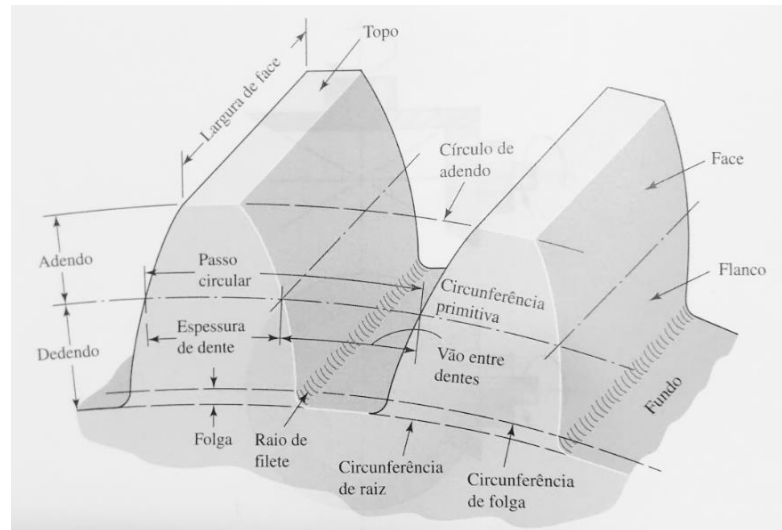
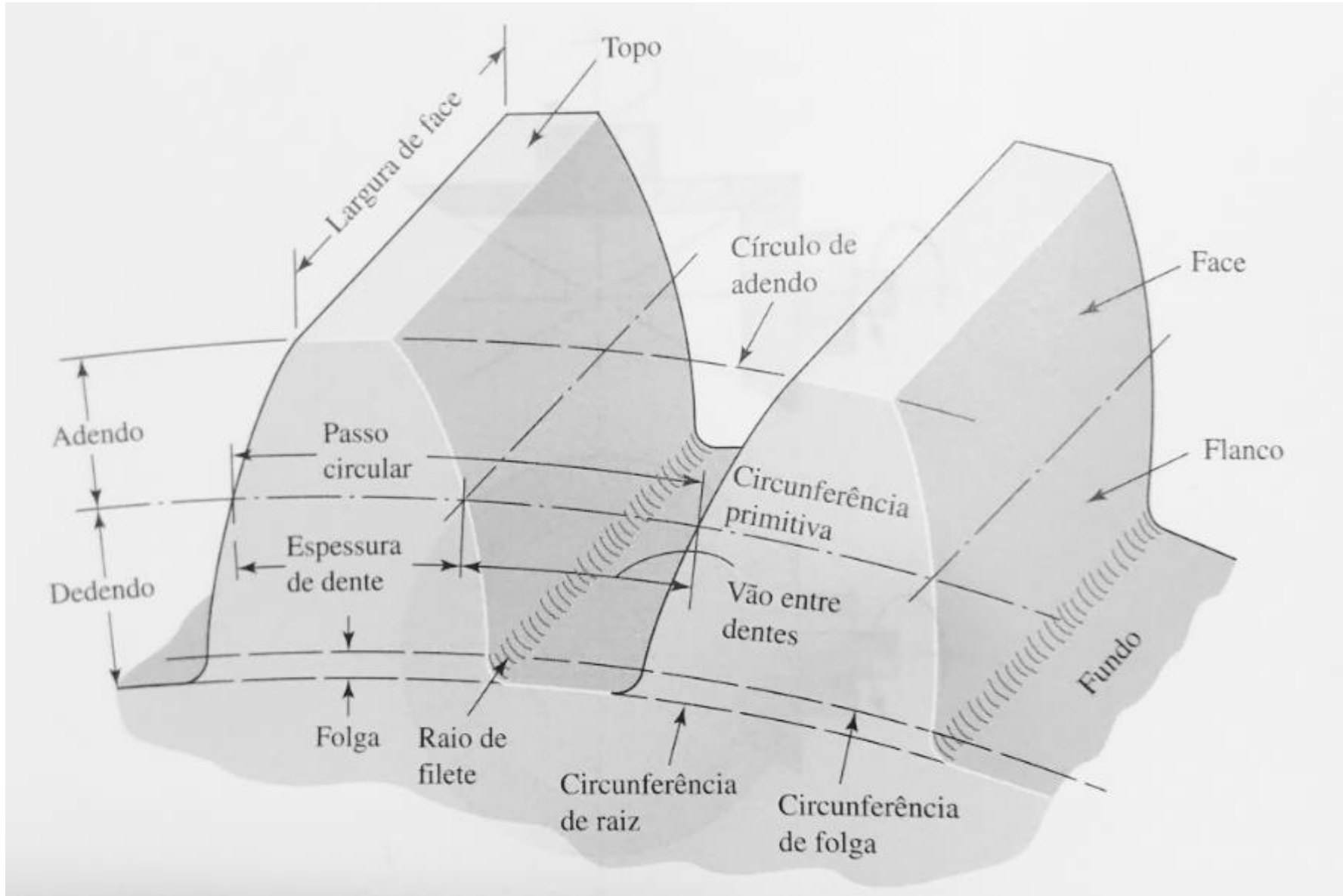


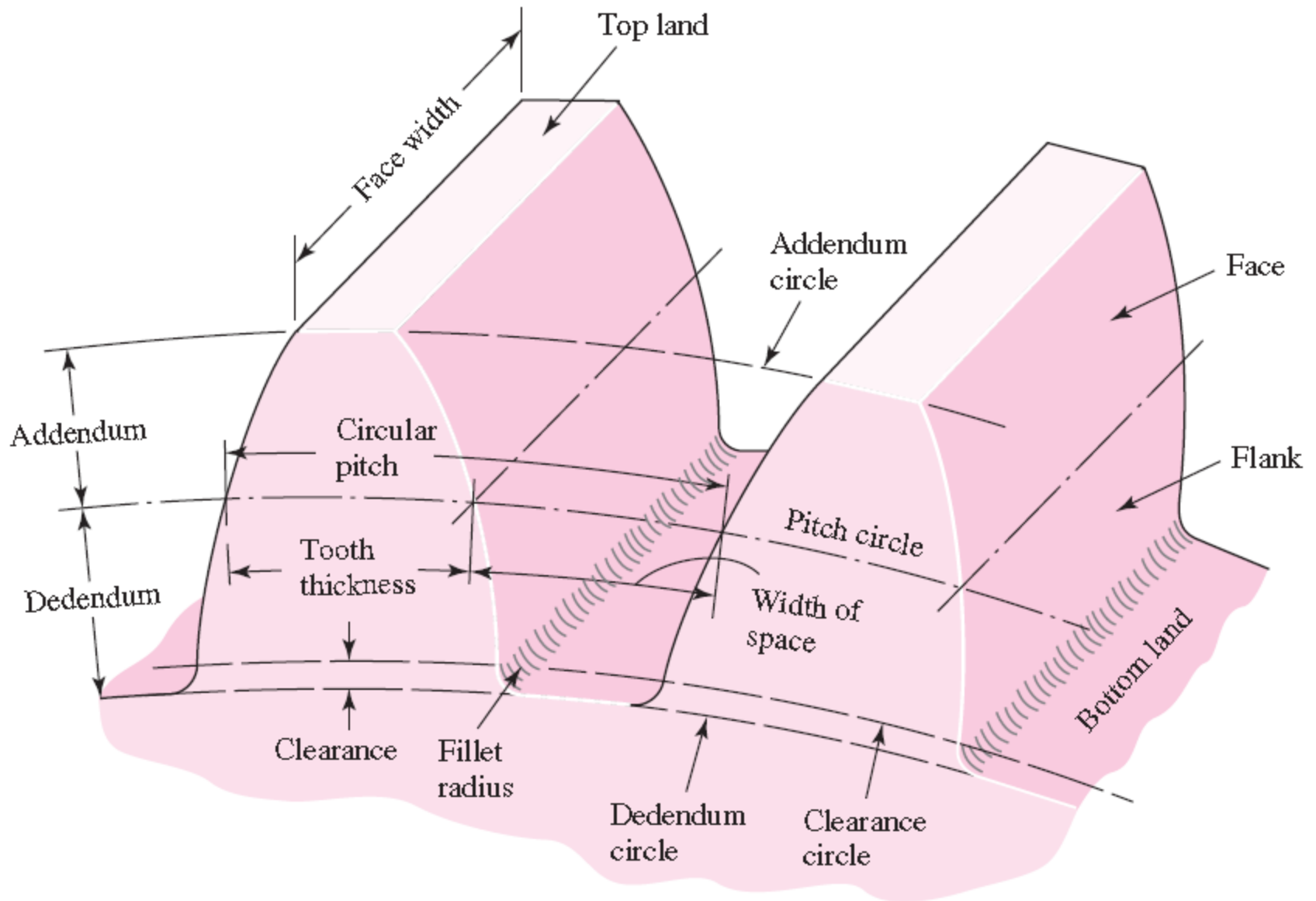
FIGURA 8

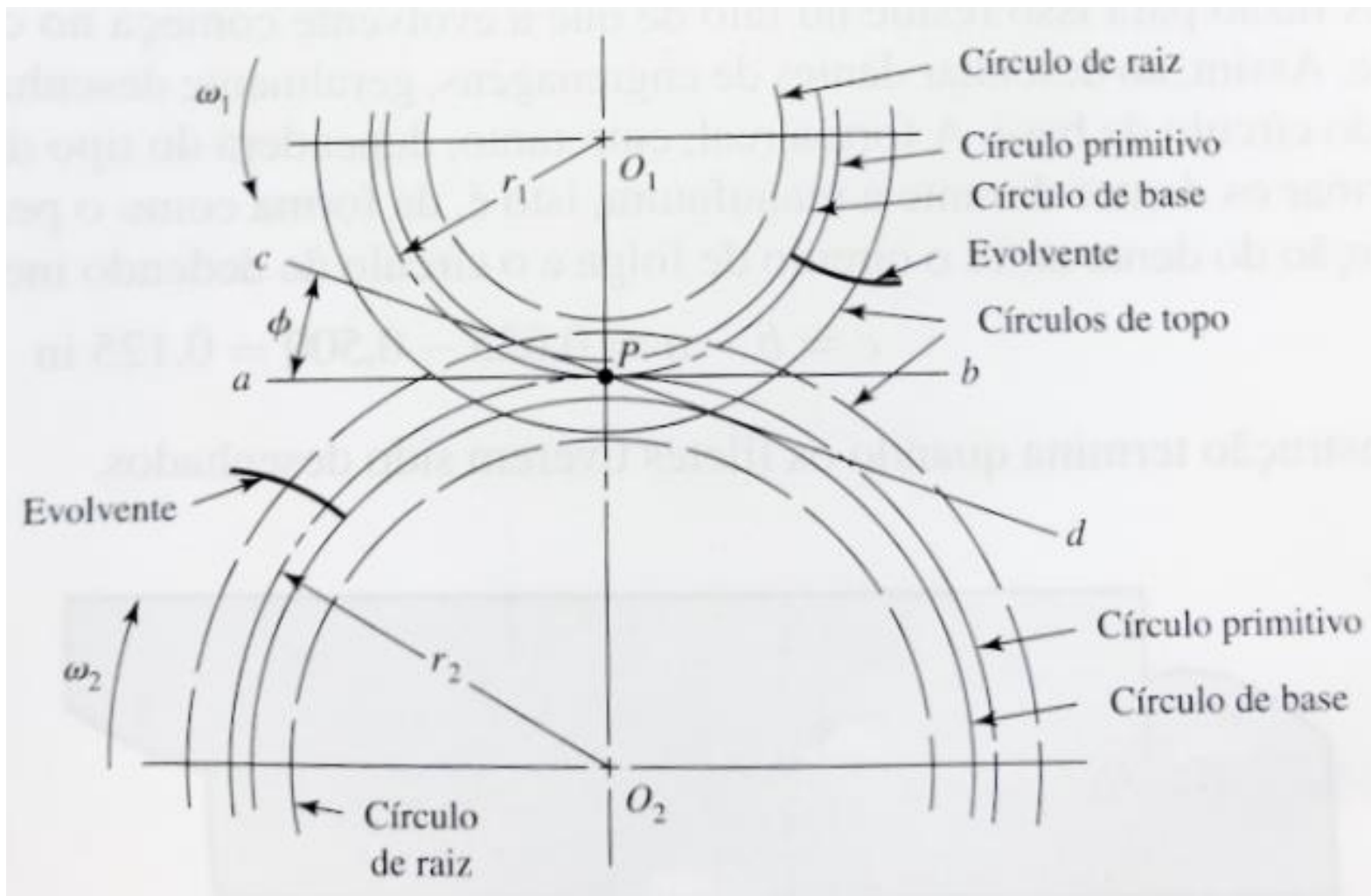
2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Raio do filete – raio da superfície de concordância entre o flanco e a superfície de raiz (r_f).
- ❑ Circunferência de folga - circunferência passando pelo ponto externo do raio do filete.
- ❑ Folga radial de engrenamento – é igual ao dedendo – adendo (f).
- ❑ Folga circunferencial de trabalho “*backlash*” – é igual a espessura circular – vão (B).
- ❑ Número de dentes (z).
- ❑ Largura dos dentes (l).









2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ **Linha de Ação** – é a trajetória de contato em engrenagens com perfil evolventes. É uma linha reta passando pelo ponto primitivo e tangente às circunferências de base (ver definição adiante).
- ❑ **Ângulo de pressão** – ângulo entre o perfil do dente e a normal ao círculo primitivo (α).

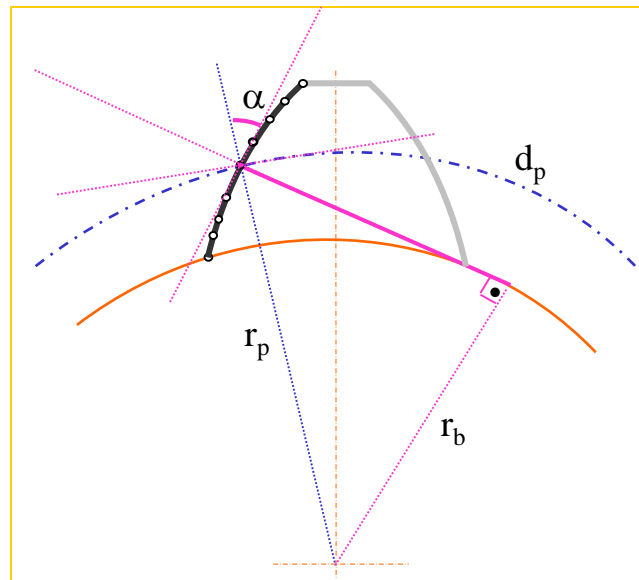


FIGURA 10

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

❑ **Evolvente ou Involuta (definição I):** Trajetória gerada por um ponto de um fio que é desenrolado de um cilindro chamado CILINDRO BASE. AT é normal à evolvente em T. \overline{AT} = valor instantâneo do raio de curvatura (Fig 11).

❑ **Evolvente (definição II):** é a curva que se obtém como trajetória de um ponto fixo em uma reta a qual rola sem escorregar sobre uma circunferência chamada CIRCUNFERÊNCIA DE BASE (Fig 12).

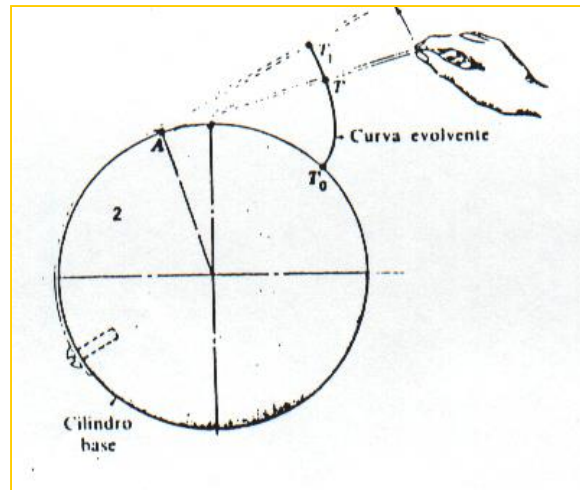
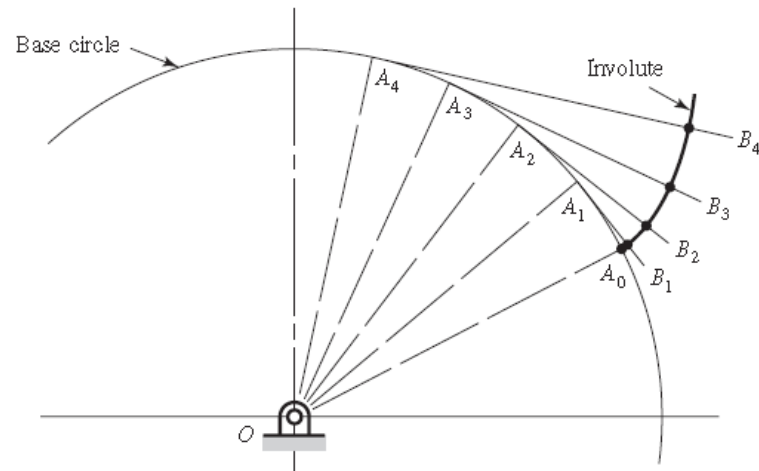


FIGURA 11



2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

□ Perfis conjugados

Seja um fio enrolado, no sentido horário, em torno do cilindro-base da engrenagem 2, esticado entre os pontos A e B, e enrolado no sentido anti-horário em torno do cilindro-base da engrenagem 3. Se os cilindros-base girarem em sentidos diferentes, de forma a manter o fio esticado, um ponto T traçará as evolventes CD sobre a engrenagem 2, e EF sobre a 3. As evolventes CD e EF são chamadas de perfis conjugados (Fig 13). A linha AB é a própria linha de ação e os perfis conjugados são os dentes engrenados (Fig 14).

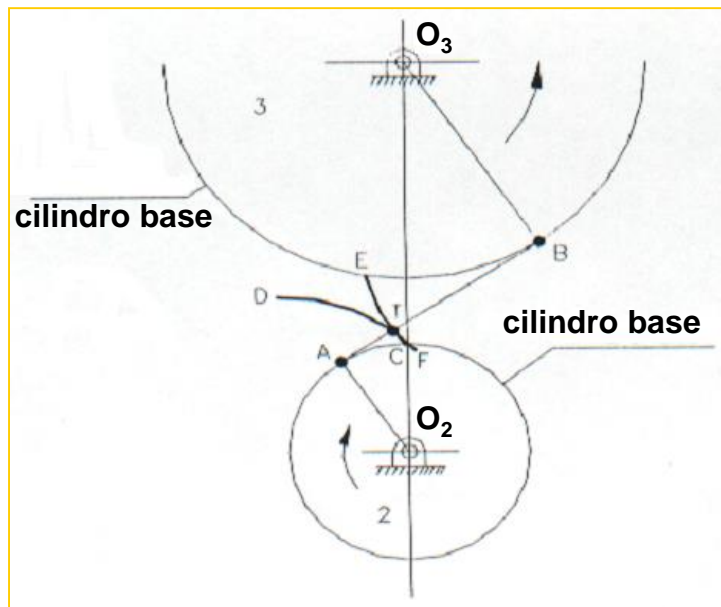


FIGURA 13

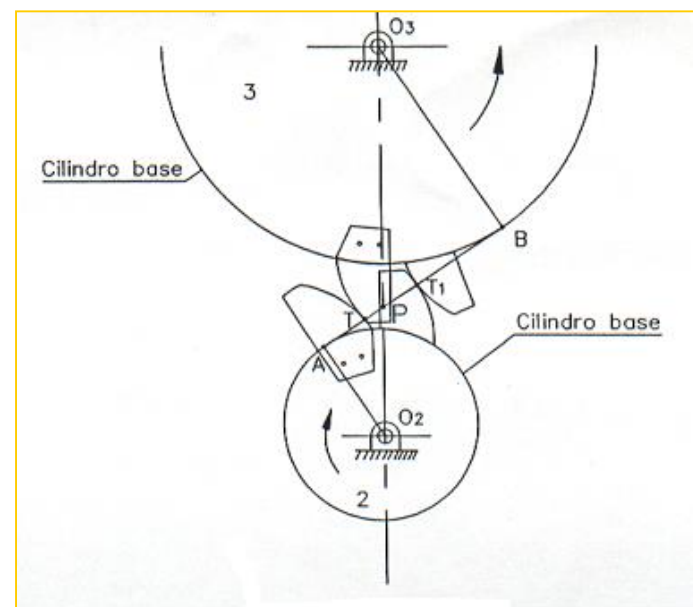
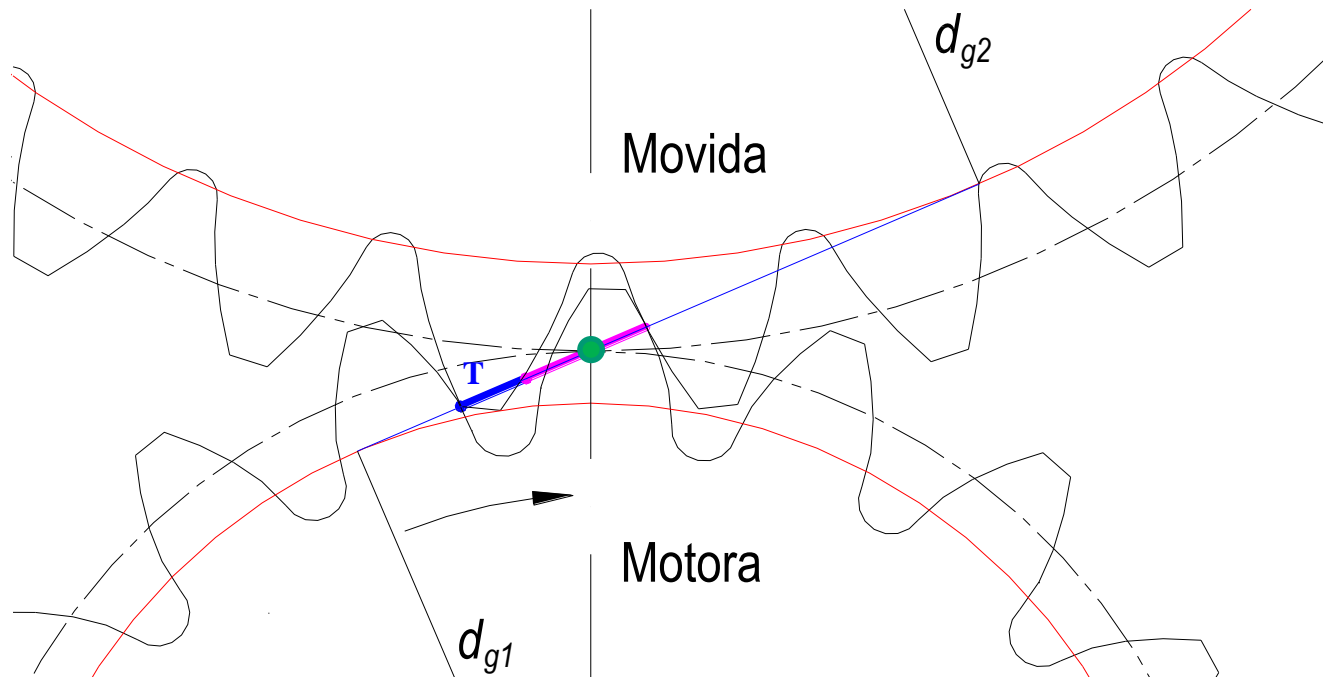


FIGURA 14

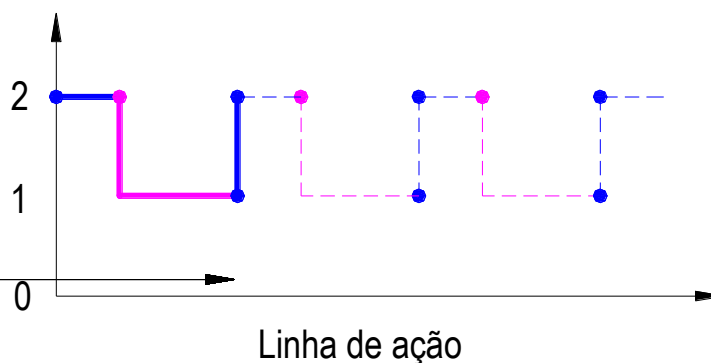
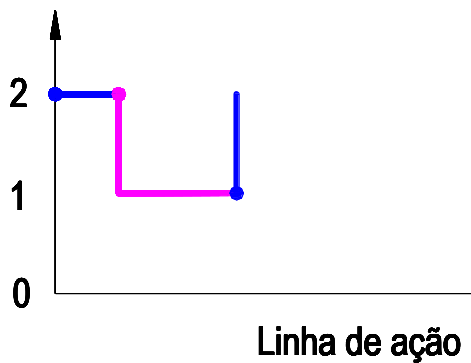


Pares de dentes em contato



Pares de dentes em contato

Pares de dentes em contato



2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- Relação de transmissão – Razão entre os diâmetros primitivos ou de engrenamento .
($i = d_{p2} / d_{p1}$). Valem também as relações :

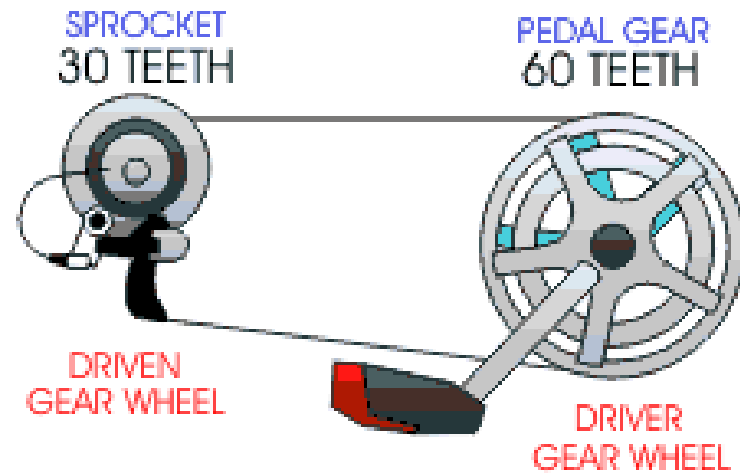
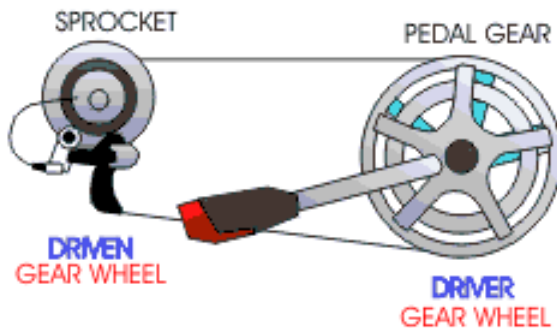
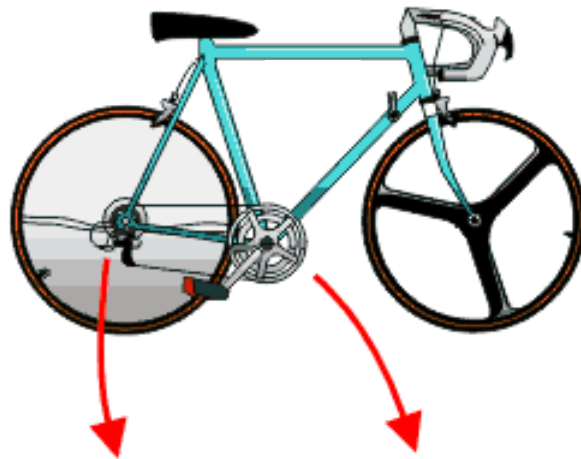
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}}$$

vê-se que $i > 1$ para reduções de velocidade e $i < 1$ para ampliações. Alguns autores definem:

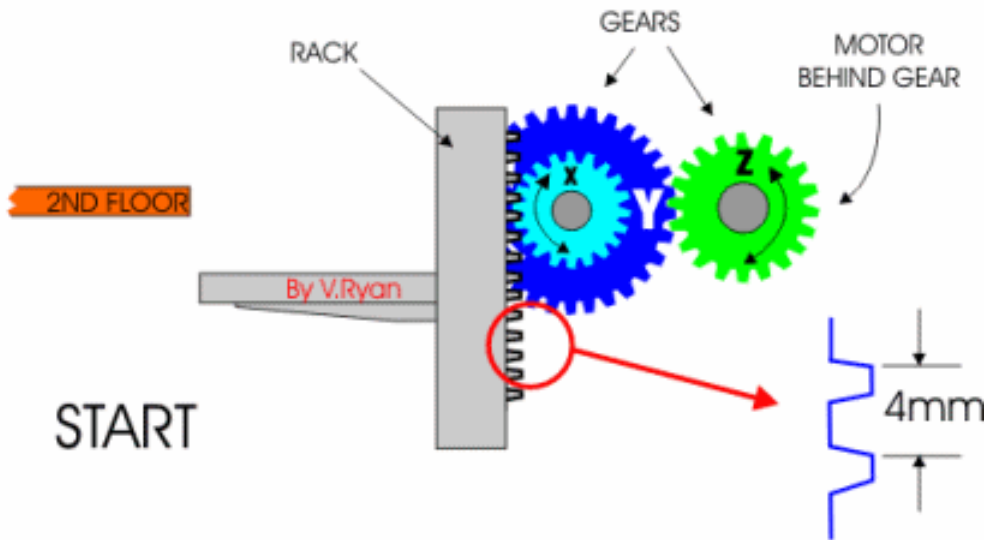
- Relação de engrenamento – $r = 1 / i = d_{p1} / d_{p2}$

vê-se que $r < 1$ para reduções de velocidade e $r > 1$ para ampliações.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}}$$



Exemplo: Considere a plataforma de elevação da figura:



N. de dentes: $X = 15$; $Y=45$; $Z=15$

Rotação em Z (motora): 240 rpm

Verificar :

- rotações;
- elevação em 2 min

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

□ Sistemas “módulo” e “pitch”

Engrenagem com z dentes:

$$\pi d_p = z p_c \quad (a)$$

$$\Rightarrow d_p = \frac{p_c}{\pi} z$$

No Sistema Módulo –

$$\frac{p_c}{\pi} = m \rightarrow \text{MÓDULO}$$

→ dimensão : [mm] ⇒

$$d_p = m \cdot z$$

No Sistema Pitch –Dividindo (a) por p_c , vem:

$$\frac{\pi}{p_c} d_p = z$$

Faz-se então

$$\frac{\pi}{p_c} = P \rightarrow$$

PASSO DIAMETRAL (Diametral *Pitch* ou “pitch”) → dimensão:

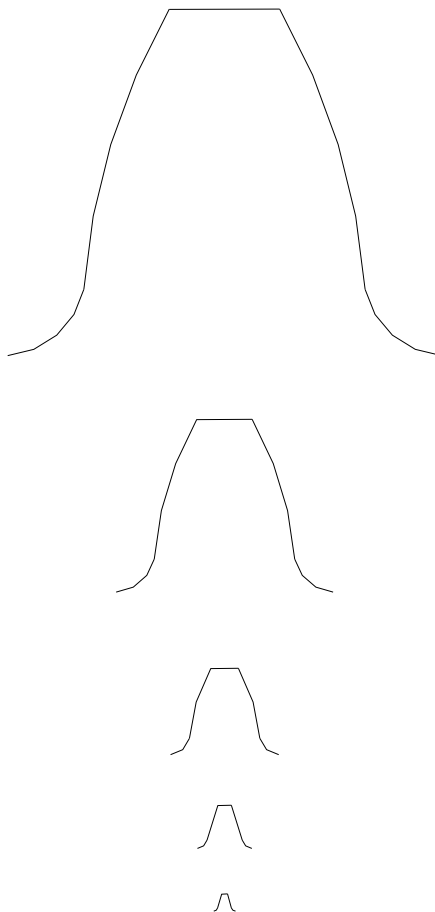
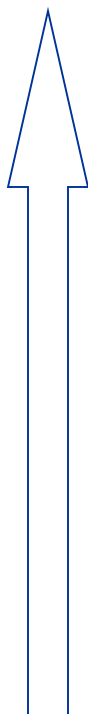
$$[\text{in}^{-1}]$$

Sistema “pitch” → desaparecer.

$$d_p = \frac{z}{P}$$



Módulo



Módulos usados em transmissões

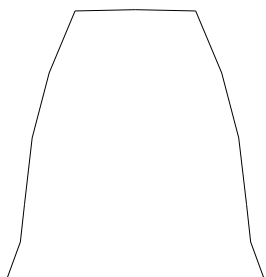
1,5 a 5 mm



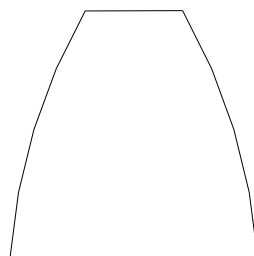
Ângulo de pressão:

Valores usados em transmissões:

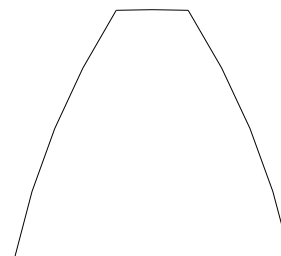
$14^{\circ}30'$ - 16° - 20° - $22^{\circ}30'$ - 25°



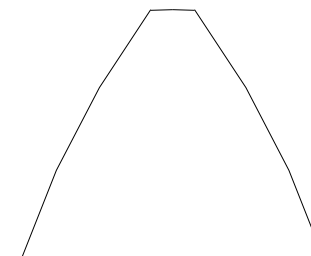
$14^{\circ}30'$



20°



25°



30°

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

❑ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO

☑ MÓDULOS NORMAIS PADRONIZADOS Norma DIN 7800 [mm]

- são os módulos normais (m_n) dos cortadores :

0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6 – 0,7 – 0,8 – 0,9 – 1,0

1,25 – 1,50 – 1,75 – 2,00- 2,25 – 2,50 – 2,75 -3,0 – 3,25 – 3,50 – 3,75 – 4,00

4,5 – 5,0 – 5,5 - 6,0 – 6,5 – 7,0

8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17

18 – 20 – 22 – 24

27 – 30 – 33 – 36 – 39 – 42 – 45 -50 – 55 – 60 – 65 – 70 – 75

☑ ÂNGULO DE PRESSÃO DO ENGRENAMENTO:

- (= ângulo de pressão do CORTADOR)

14,5° - 17,5° - 20° - 22,5° - 25°

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

❑ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO (continuação)

☑ ADENDO [mm]

$a = 0,8 \cdot m_n$ – norma americana ASA – dente *stub*

$a = m_n$ – todas as outras normas

☑ DEDENDO [mm] (ver a Tabela 21.5, Niemann)

$b = 7/6 m_n = 1,167 m_n$ – Dudley

$b = 1,175 m_n$ – norma ASA

$b = 1,0 m_n$ – norma ASA dente *stub*

$b = 1,25$ a $1,44 m_n$ – norma ASA

$b = 1,1$ a $1,3 m_n$ – norma DIN 867

☑ FOLGA DE FUNDO [mm]

$c = 0,250 m_n$

☑ FOLGA RADIAL DE ENGRENAMENTO [mm] = $b - a$

- depende da norma adotada para o dedendo.

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

□ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO (continuação)

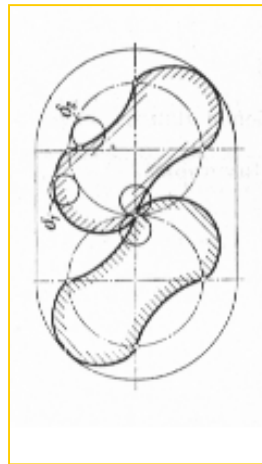
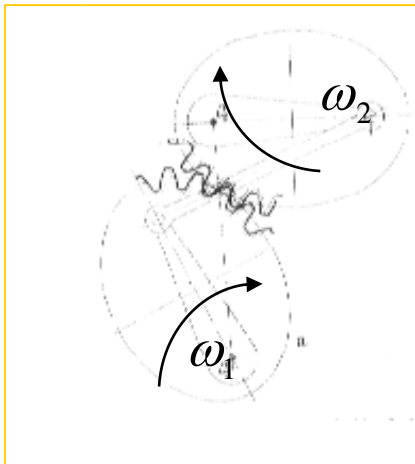
NB.:

- ☑ Um mesmo cortador pode cortar dentes segundo normas diferentes
- ☑ Neste curso adotaremos $a = m_n$ e $b = 7/6 \cdot m_n$
- ☑ De acordo com o dedendo adotado: $f = m_n / 6 = b - a$

2.6. Leis do engrenamento

Lei do engrenamento I: para que duas engrenagens possam “engrenar”, é necessário que o passo circular de ambas, seja o mesmo.

- se isto é desobedecido, acontece deslizamento, separação ou ruptura do par.



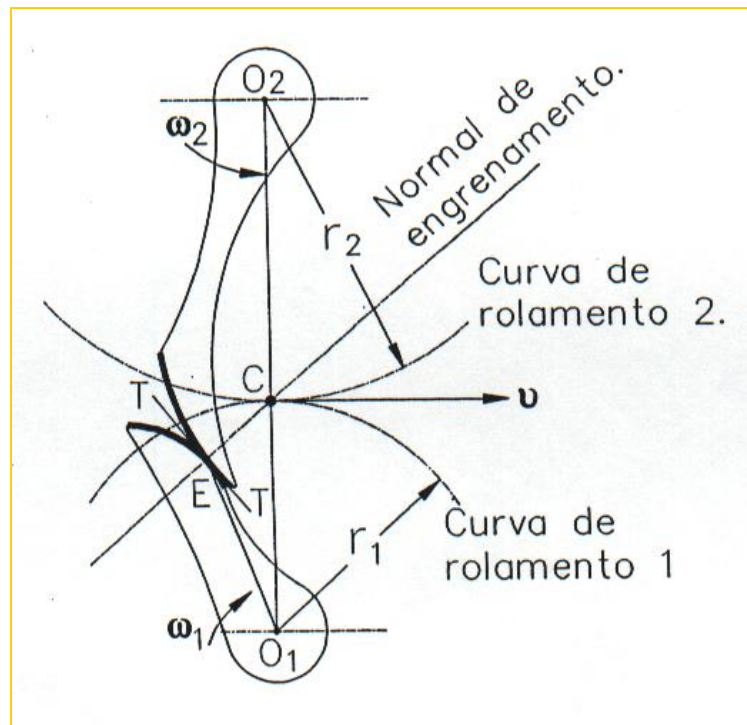
ω_1 constante produz ω_2 variável

- se o passo é o mesmo, perfis quaisquer podem engrenar, mas produzir flutuação da velocidade e de torque como acima.

2.6. Leis do engrenamento (continuação)

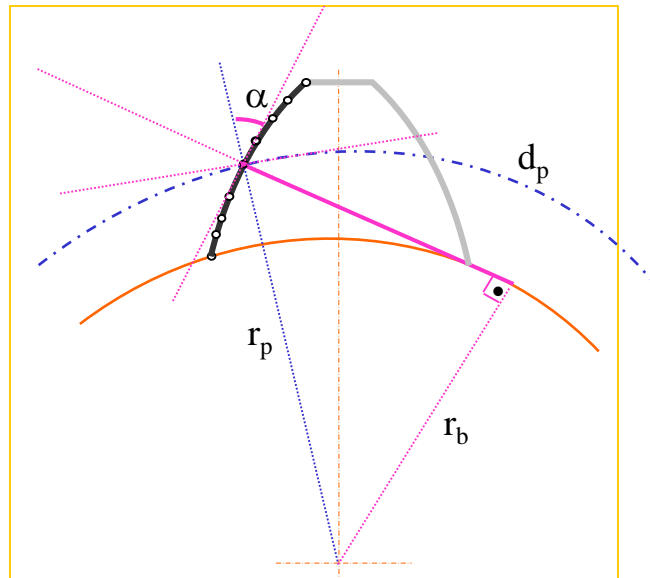
- em que condições isto não ocorre ? \Rightarrow Lei do engrenamento II
- a relação de transmissão deve ser constante durante uma rotação do par engrenado. Isto implica em :

Lei do engrenamento II: o ponto primitivo deve permanecer fixo sobre a linha de centros \Rightarrow todas as linhas de ação devem passar pelo ponto primitivo.



2.6. Leis do engrenamento (continuação)

- Além das duas leis de engrenamento, deve-se considerar para o perfil de engrenamento:
 - ⇒ problema prático da reprodução em grande escala dessas curvas, em aço ou outros materiais.
 - ⇒ existem variações das distâncias entre os centros dos eixos devidas ao desalinhamento e esforços. As variações não podem prejudicar o engrenamento.
 - ⇒ necessidade de um perfil que possa se fabricado economicamente.
 - ⇒ **SOLUÇÃO : Perfil EVOLVENTE.**



2.6. Leis do engrenamento (continuação)

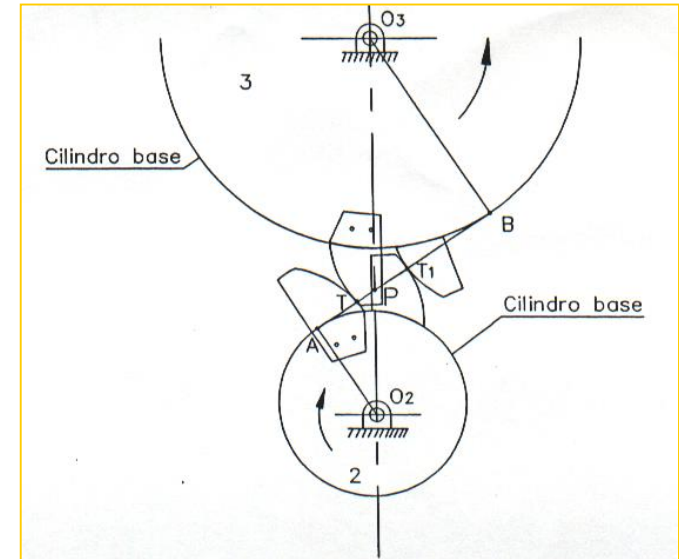
O Perfil evolvente satisfaz as leis de engrenamento ?

- **Lei do engrenamento I** : basta que as duas engrenagens com perfil evolvente tenham o mesmo módulo.

- **Lei do engrenamento II** :

Como já visto anteriormente, o perfil evolvente tem as propriedades :

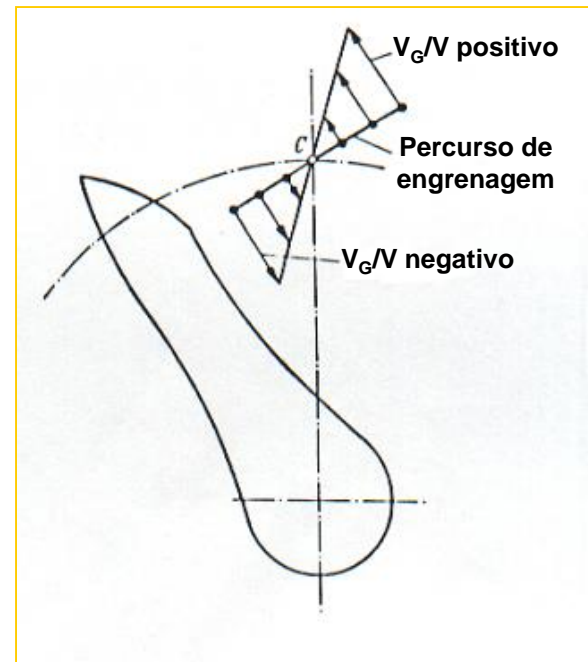
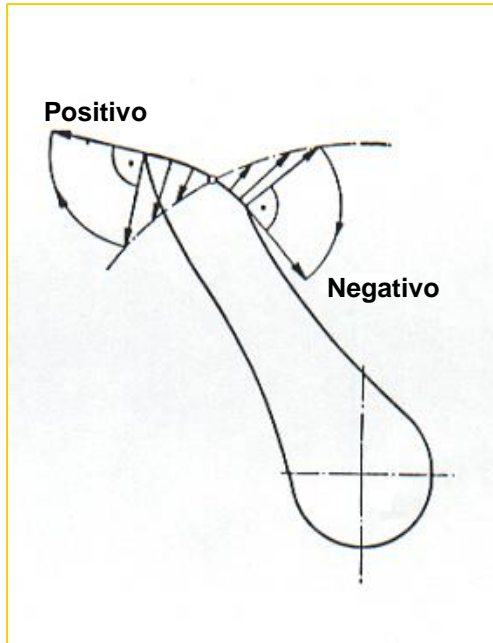
- **AB = Linha de AÇÃO (ou de PRESSÃO)**
- **Modificando a distância entre centros → não altera evolventes.**
- **Lugar geométrico pontos contato: linha AB**
- **AB é perpendicular aos perfis em todos os pontos de contato.**
- **AB tangente aos cilindros-base.**
- **Ponto P ⇒ ponto primitivo fixo sobre a linha de centros ⇒ razão de velocidades e de torque é constante e satisfaz a Lei de engrenamento II.**



2.6a. Cinemática do engrenamento

□ Velocidade de escorregamento

- Transmissão do movimento \Rightarrow rolamento + escorregamento.
- Velocidade de escorregamento $V_G \Rightarrow$ Valores maiores no início e no fim do engrenamento: nula sobre o ponto primitivo (só aqui tem rolamento puro) e invertendo o sentido.



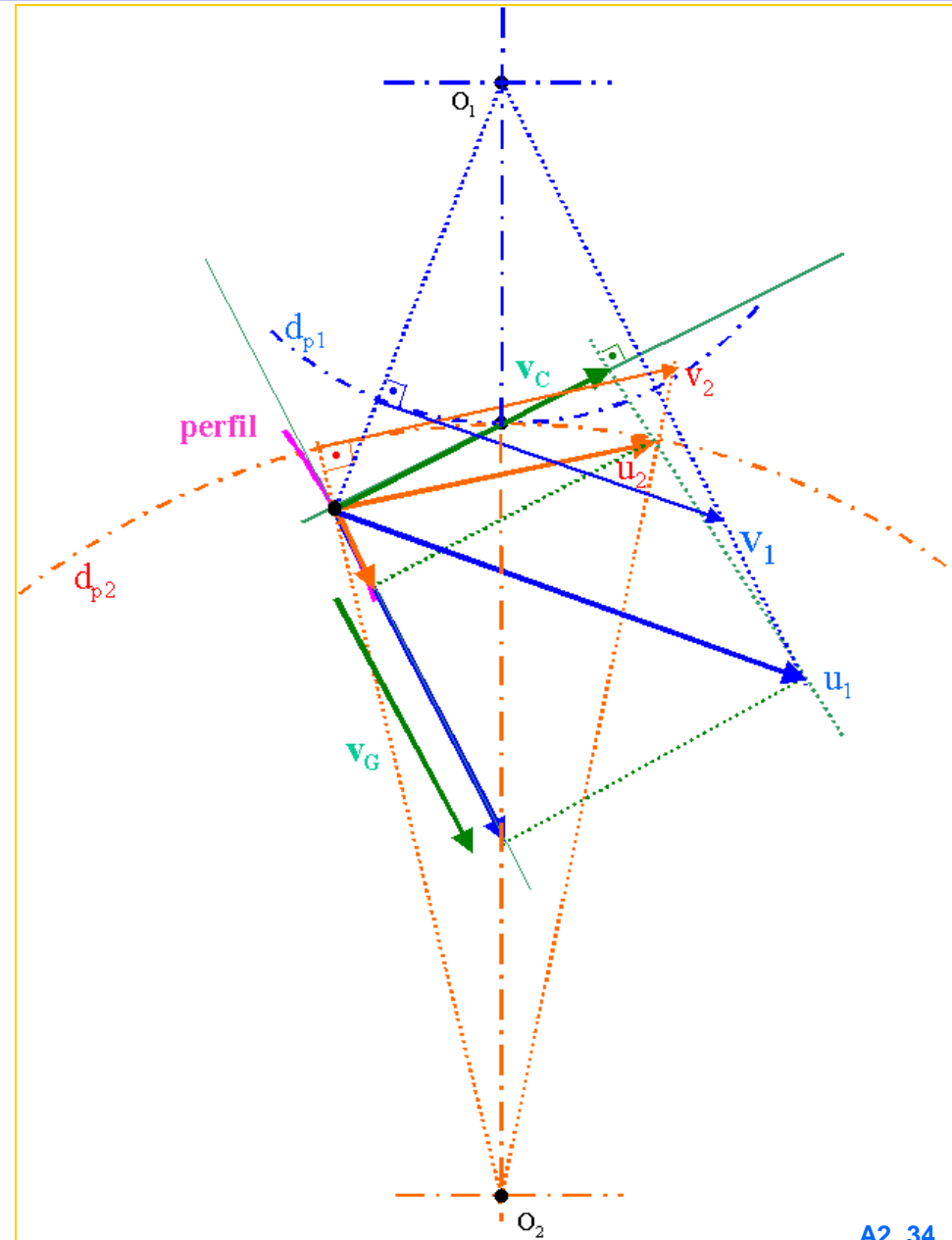
Distribuição da velocidade de escorregamento V_G :

- em relação ao perfil.
- em relação à linha de ação.

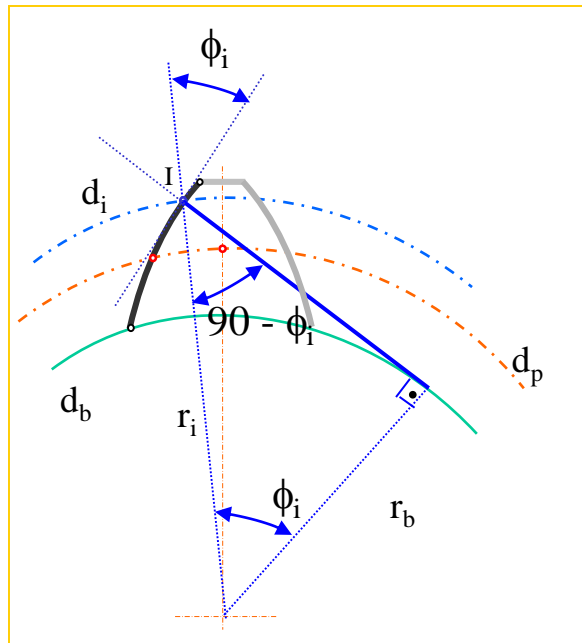
2.6a. Cinemática do engrenamento

□ Velocidade normal ou de contato

- É a velocidade na direção normal ao perfil (v_C)
- $v_C \Rightarrow$ tem que ser a mesma para os dois perfis em contato, para não haver separação ou penetração.



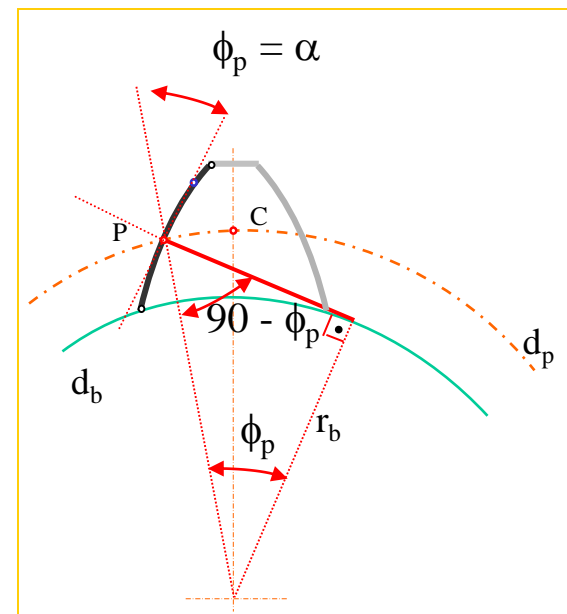
2.7. Geometria do engrenamento



Φ_i = ângulo central ou de rolamento no ponto genérico I
 Φ_i = ângulo entre o perfil e a normal ao círculo d_i (ângulo genérico de pressão).

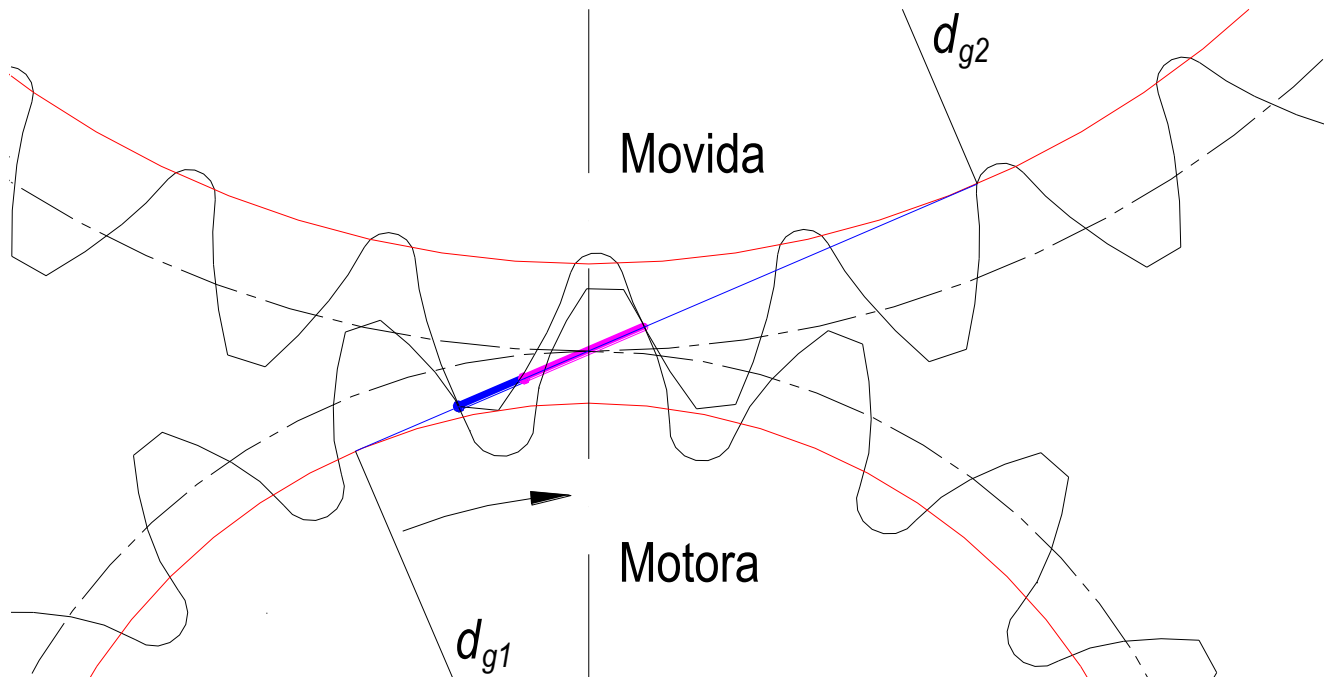
No diâmetro primitivo:

$\Phi_i = \alpha$ ângulo de pressão da engrenagem.

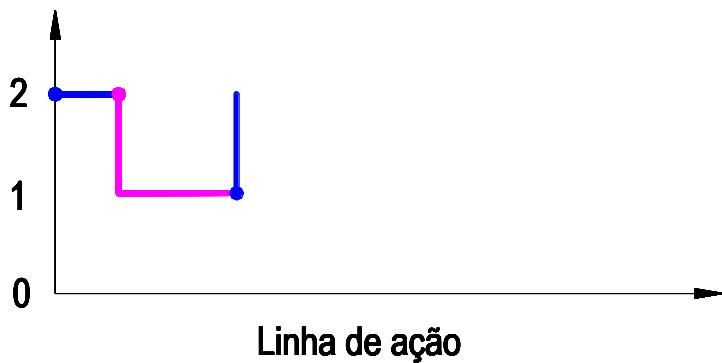




Pares de dentes em contato

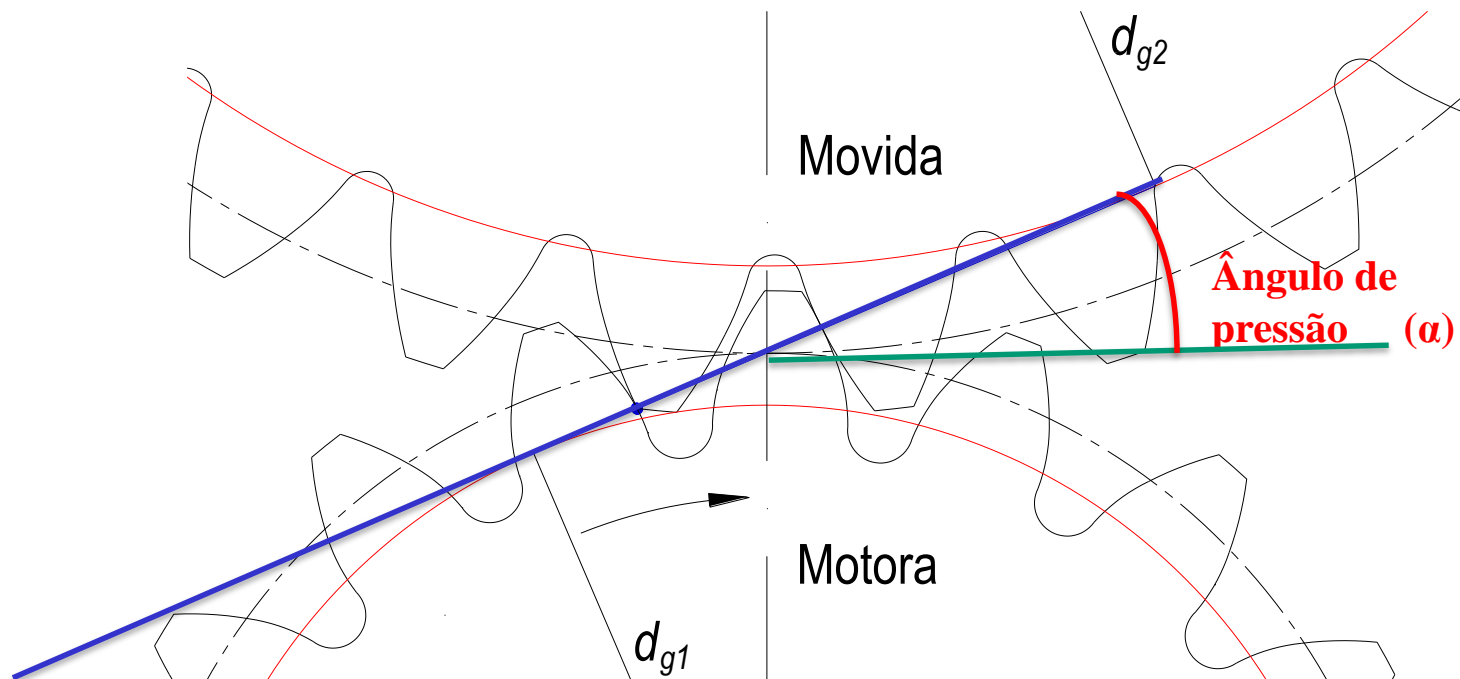


Pares de dentes em contato



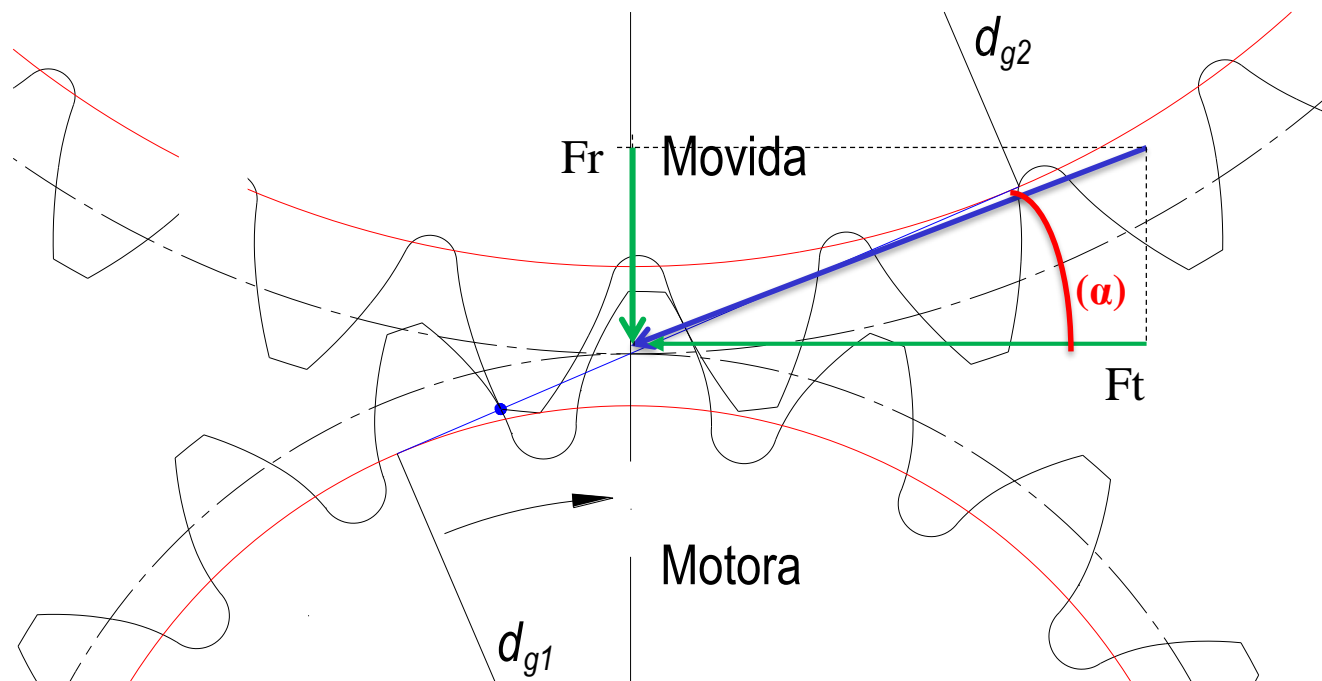


Pares de dentes em contato





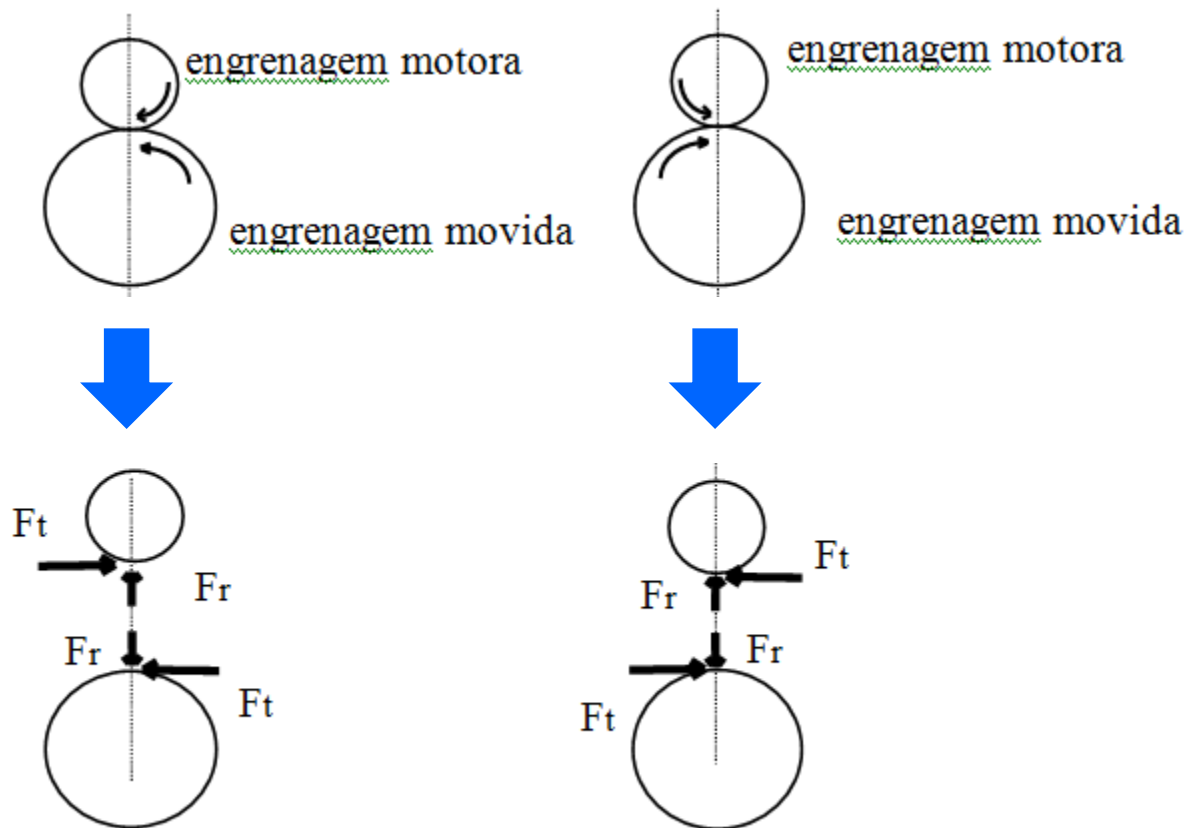
Pares de dentes em contato



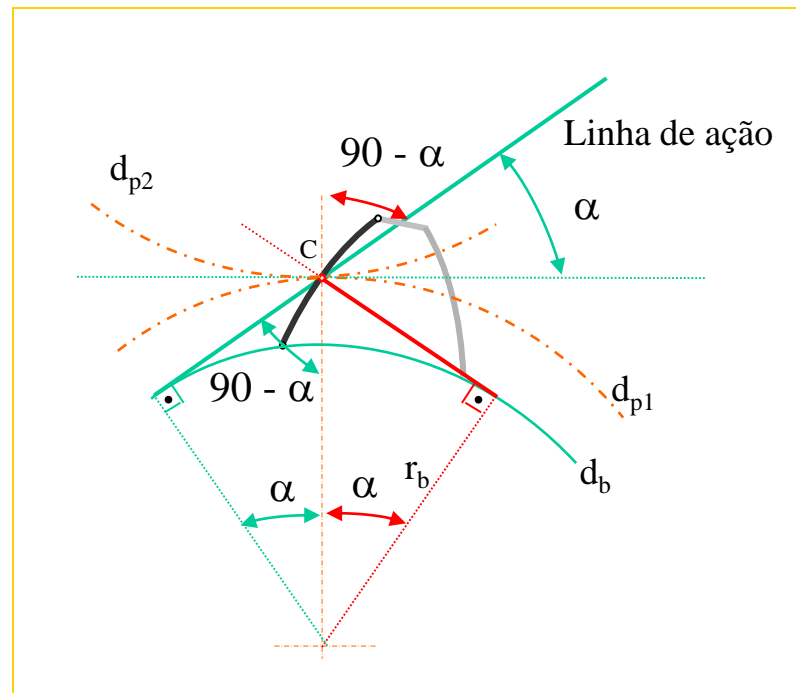
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_r}{F_t} \Rightarrow F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha$$



Atenção ao sentido das forças !!!!

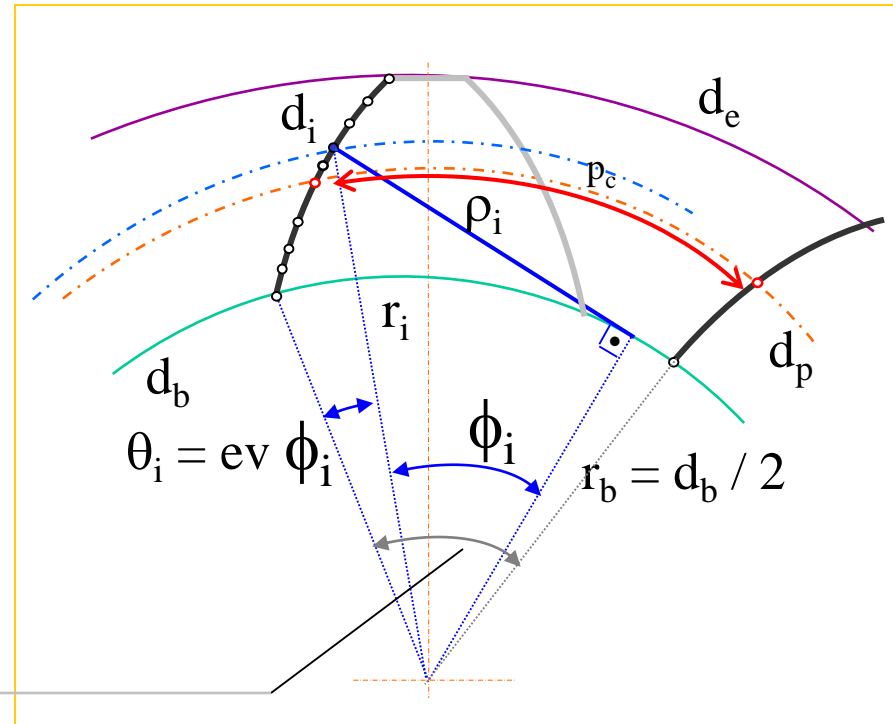
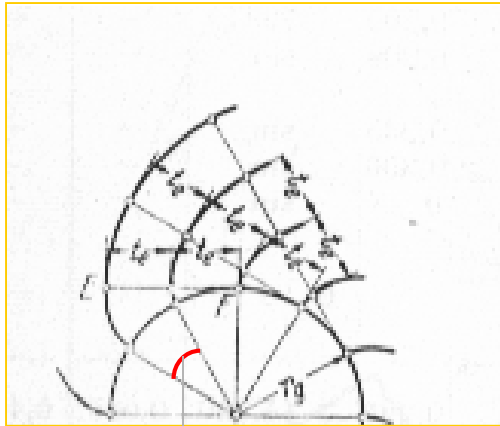


2.7. Geometria do engrenamento



A Linha de Ação faz o ângulo α (pressão) com a tangente ao ponto primitivo C.

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)



$$\phi = \frac{2\pi}{z}$$

z = número de dentes

; **p_c** = passo circular

$$\pi d_p = z \cdot p_c \Rightarrow m = p_c / \pi$$

; **m** = módulo normalizado DIN 7800

$$d_p = m \cdot z$$

ϕ_i = angulo de rolamento genérico

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

vale também :

$$\phi = \frac{\text{arco}}{\text{raio}} \Rightarrow \frac{2\pi}{z} = \frac{2p_c}{d_p} \Rightarrow p_c = \frac{2\pi d_p}{2z} = \frac{\pi d_p}{z} \Rightarrow p_c = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{z} = \pi \cdot m$$

ρ_i = raio de curvatura no diâmetro genérico i

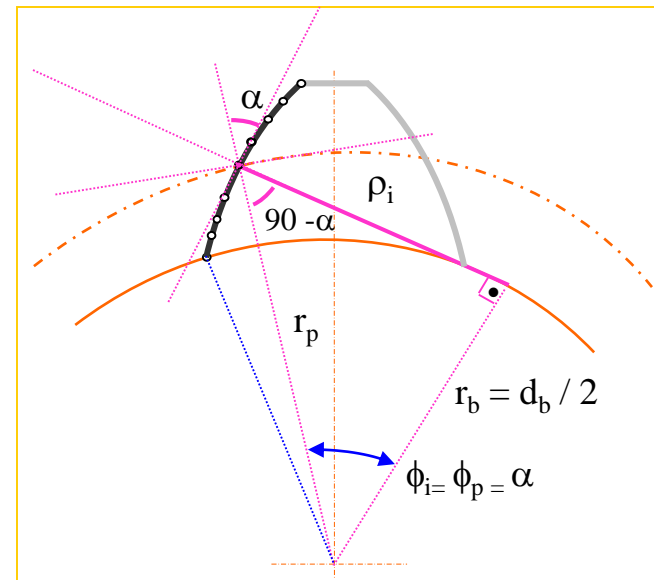
$$\cos \phi_i = \frac{r_b}{r_i}$$

no d_p

$$\phi_i = \phi_p = \alpha \quad \text{ângulo de pressão}$$

$$d_b = d_p \cdot \cos \phi_p = d_p \cdot \cos \alpha$$

$$d_e = d_p + 2a = d_p + 2m_n$$



2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

$$d_r = d_p - 2b = d_p - \frac{14m_n}{6}$$

$$\operatorname{tg} \phi_i = \frac{\rho_i}{r_b}$$

= arco

$$\rho_i = r_b \cdot (\phi_i + \theta_i)$$

$$\operatorname{sen} \phi_i = \frac{\rho_i}{r_i}$$

$$\rho_i = r_i \operatorname{sen} \phi_i$$

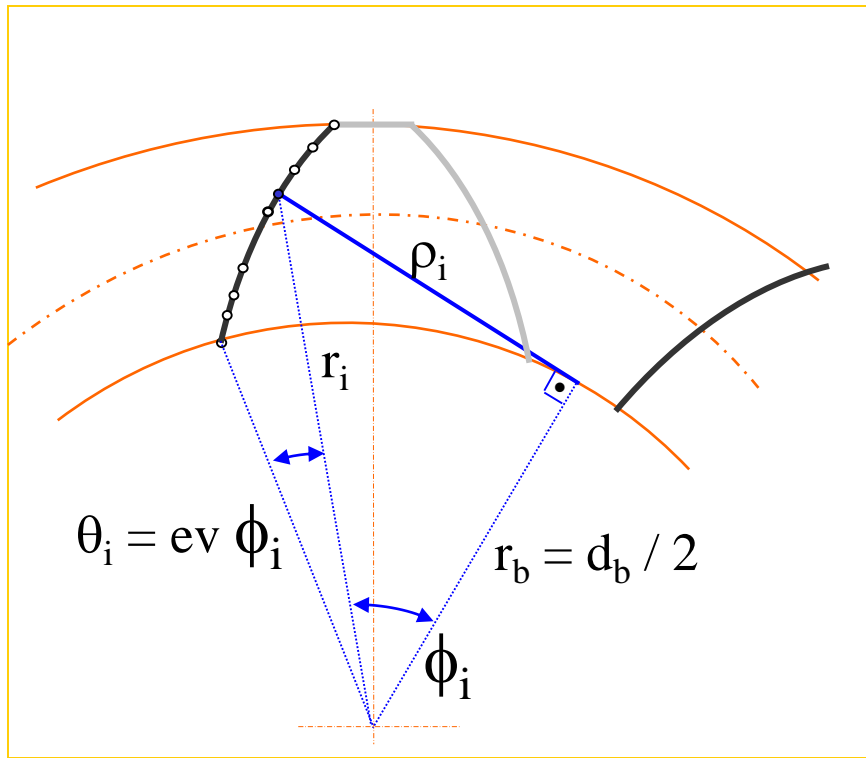
$$\operatorname{cos} \phi_i = \frac{r_b}{r_i}$$

$$r_b = r_i \cdot \operatorname{cos} \phi_i$$

$$\theta_i + \phi_i = \frac{\operatorname{arco}}{\operatorname{raio}} = \frac{\rho_i}{r_b} \Rightarrow \theta_i + \phi_i = \operatorname{tg} \phi_i$$

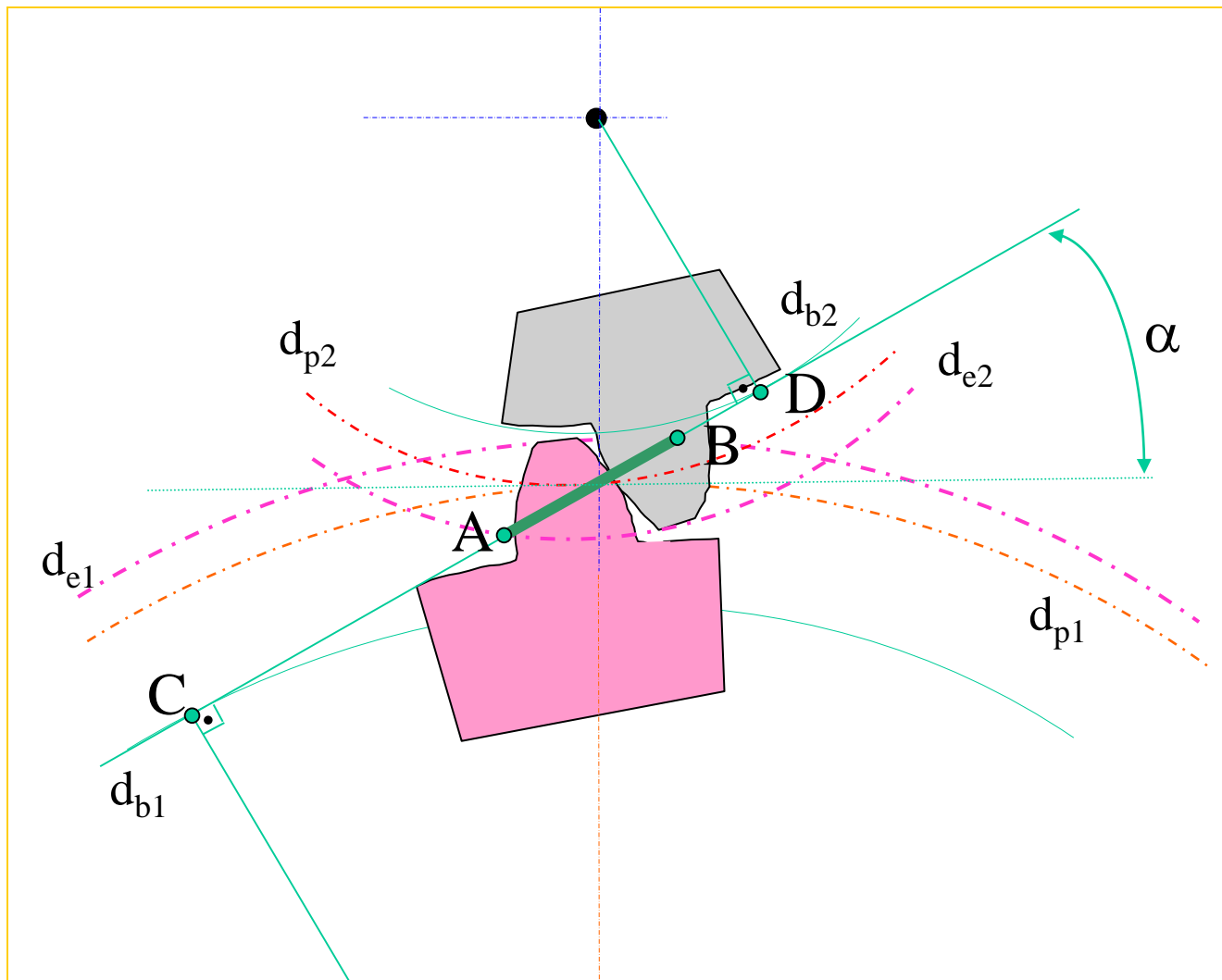
$$\theta_i = \operatorname{tg} \phi_i - \phi_i$$

$$\text{evolvente de } \phi = \operatorname{ev} \phi = \operatorname{tg} \phi - \phi$$



2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Comprimento de contato



2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Comprimento de contato (continuação)

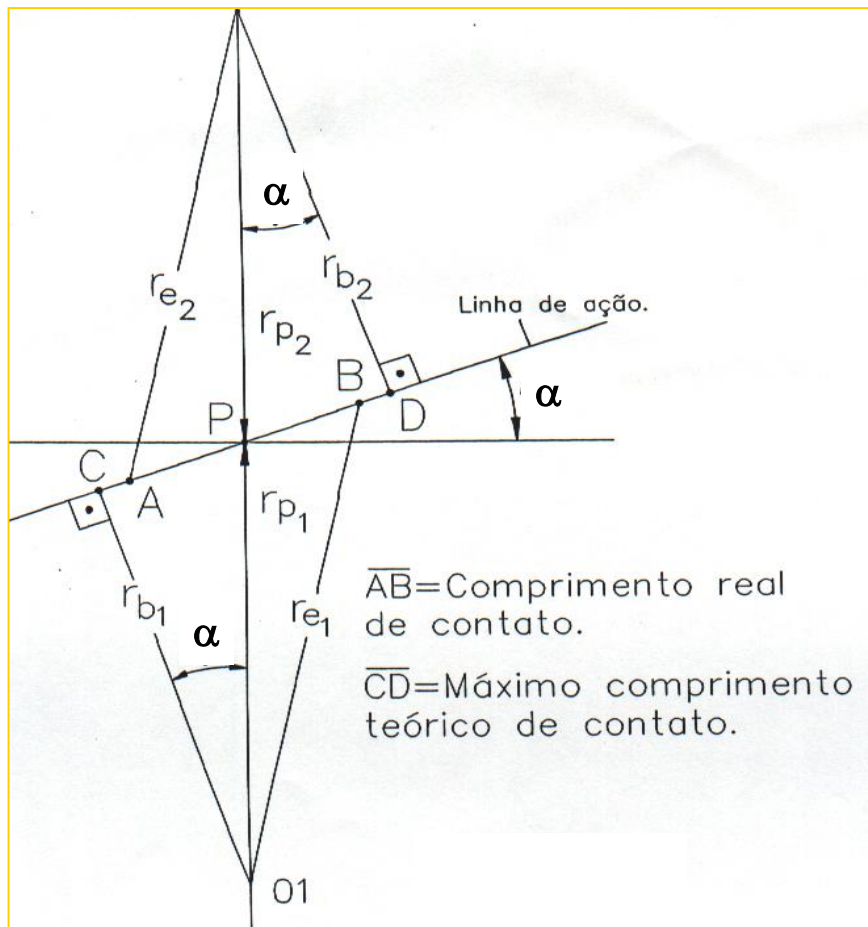
A = Início do contato \Rightarrow = ponto onde a Linha de Ação corta a circunferência de topo da engrenagem acionadora (sentido horário).

B = Fim do contato \Rightarrow = ponto onde a Linha de Ação corta a circunferência de topo da engrenagem acionada.

C = Ponto de tangência da Linha de Ação com o cilindro de base da engrenagem acionadora.

D = Ponto de tangência da Linha de Ação com o cilindro de base da engrenagem acionada.

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)



$$\overline{AB} = \underbrace{\sqrt{r_{e1}^2 - r_{b1}^2}}_{\overline{BC}} + \underbrace{\sqrt{r_{e2}^2 - r_{b2}^2}}_{\overline{AD}} - \underbrace{(r_{p1} + r_{p2}) \sin \alpha}_{\overline{PC} + \overline{PD} = \overline{CD}}$$

$$\overline{BC}$$

$$\overline{AD}$$

$$\overline{PC} + \overline{PD} = \overline{CD}$$

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Grau de Recobrimento (Relação de Contato)

- Interpretação Física: N° médio de pares de dentes simultaneamente em contato.
- definição Matemática

$$\epsilon_c = \frac{\overline{AB}}{p_b}$$

= comprimento real de contato.

P_b = passo circular no diâmetro de base.

da dedução anterior

$$\overline{AB} = \sqrt{r_{e1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{e2}^2 - r_{b2}^2} - (r_{p1} + r_{p2}) \cdot \sin \alpha$$

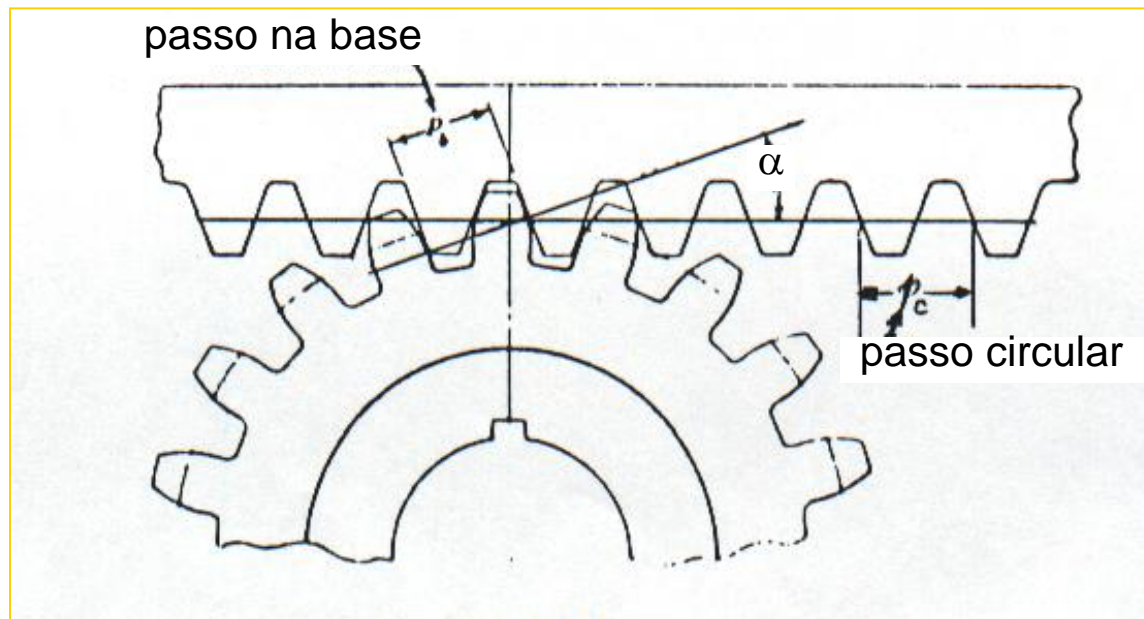
2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Grau de Recobrimento (Relação de Contato)

Da figura abaixo $p_b = p_c \cdot \cos \alpha$

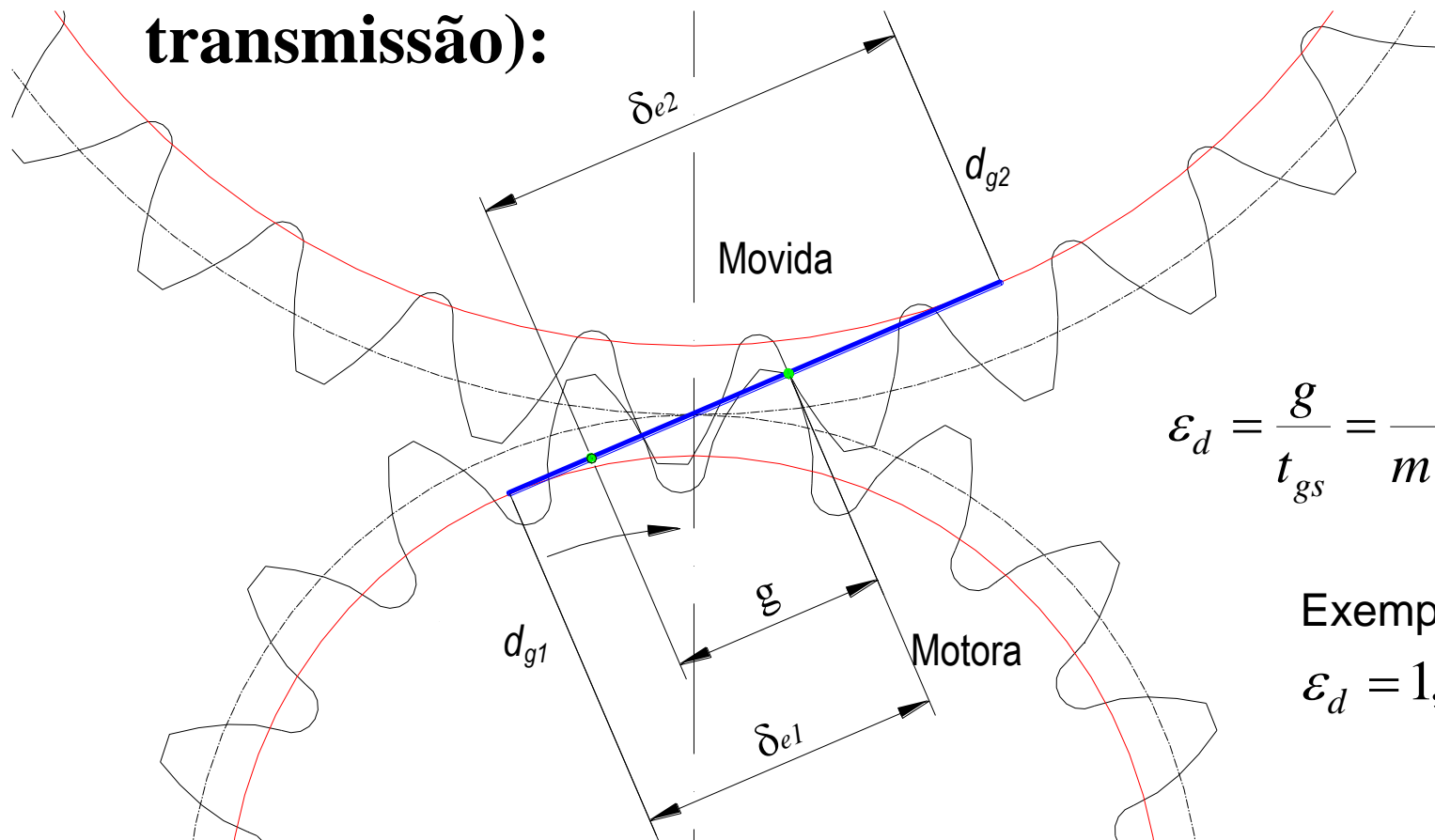
$$\epsilon_c = \frac{\sqrt{r_{e1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{e2}^2 - r_{b2}^2} - (r_{p1} + r_{p2}) \operatorname{sen} \alpha}{p_c \cos \alpha}$$

O grau e recobrimento varia normalmente de 1,2 a 2,0





Grau de recobrimento (ou razão de transmissão):



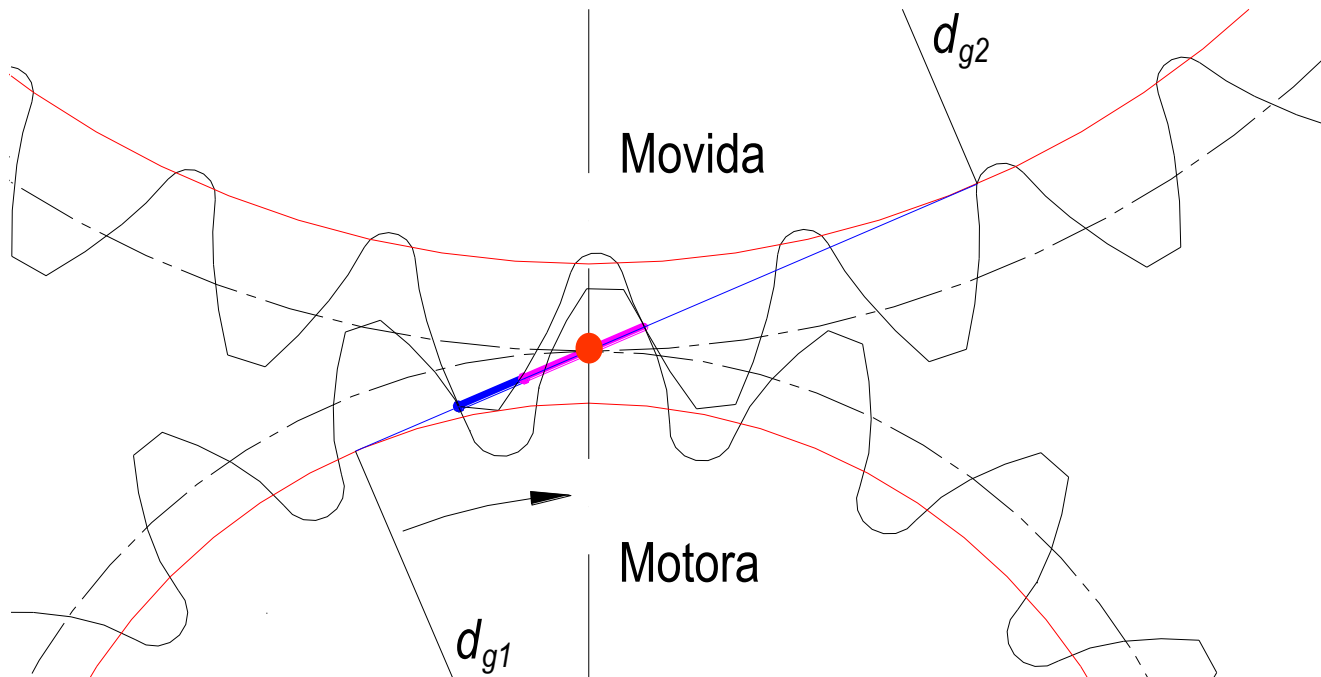
$$\epsilon_d = \frac{g}{t_{gs}} = \frac{g \cdot \cos \beta_o}{m \cdot \pi \cdot \cos \alpha_{os}}$$

Exemplo:

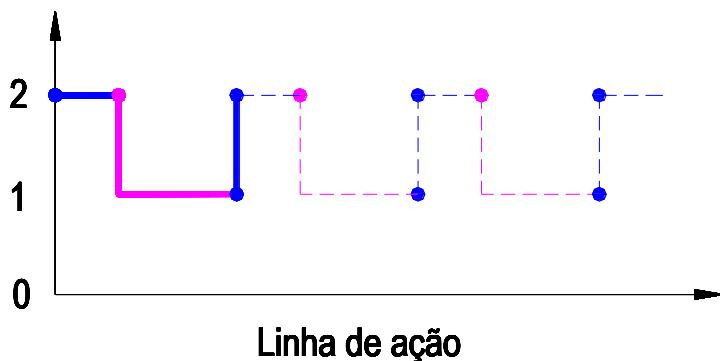
$$\epsilon_d = 1,35$$



Grau de recobrimento (ou razão de transmissão)



Pares de dentes em contato

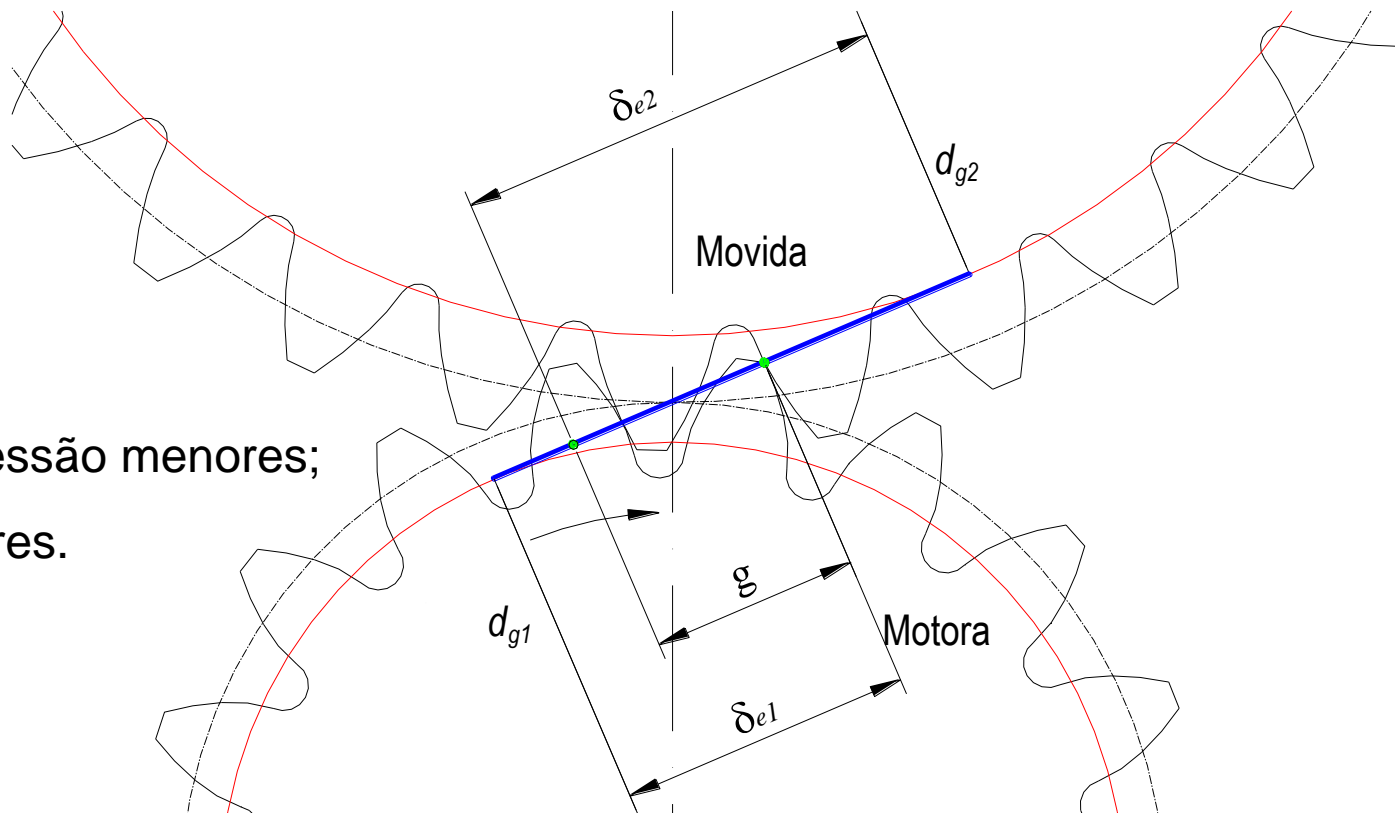


$\epsilon_d = 1,35$ { Durante 35% do tempo 2 pares de dentes estão em contato.



Grau de recobrimento (ou razão de transmissão)

Maiores graus de recobrimento resultam em melhor distribuição de carga entre os dentes, movimento mais uniforme e menores tensões.

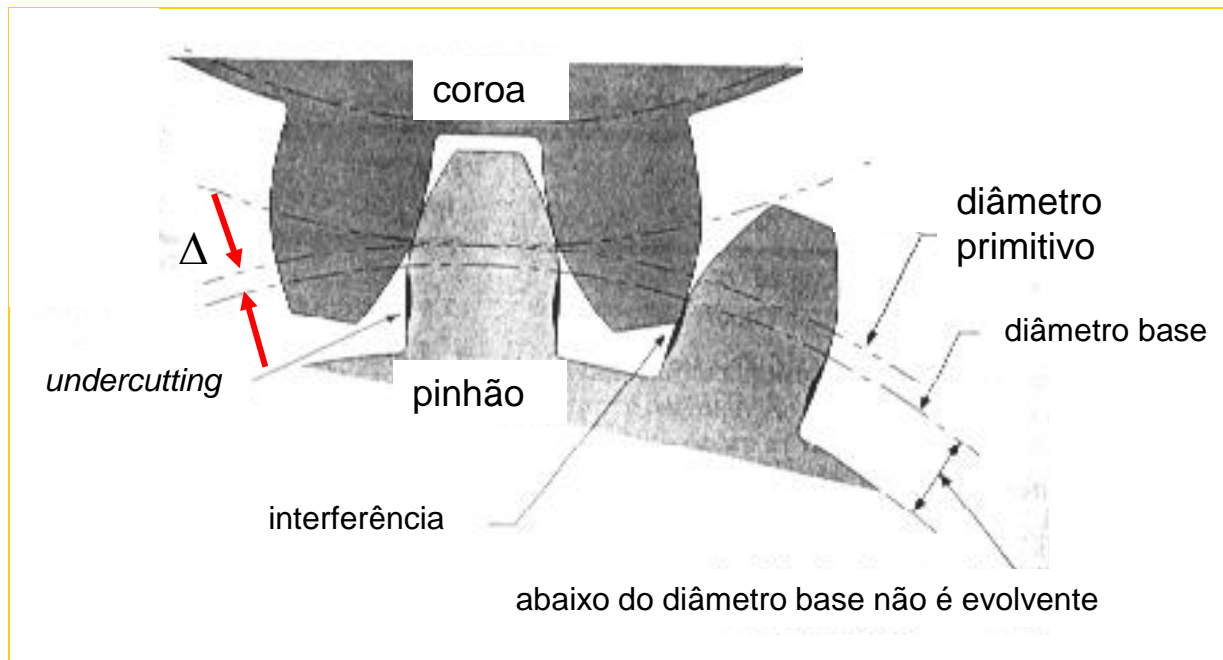


- Ângulos de pressão menores;
- Adendos maiores.

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

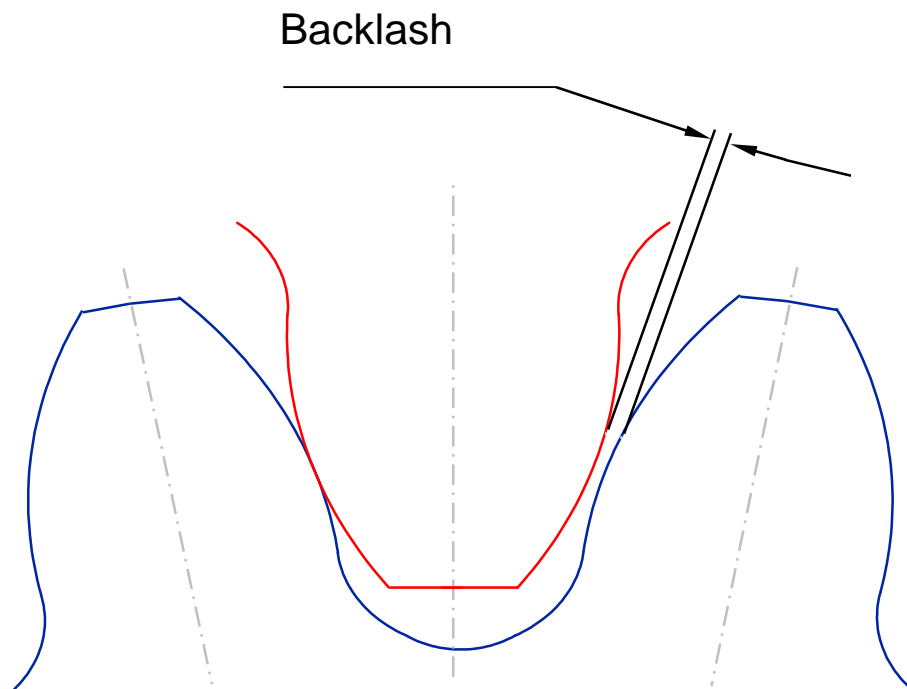
□ Interferência (“penetração” ou “*undercutting*”)

Definição: “Tentativa de contato fora do máximo comprimento teórico de contato”, ou seja, iniciar o contato à esquerda do ponto C ou prolongá-lo além do ponto D.





Folga entre flancos (backlash):



Valores usados em transmissões:

0,05 ~ 0,30 mm

↑ Módulo

Backlash ↑

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Interferência (“penetração” ou “*undercutting*”)

$$d_{p1} = m \cdot z_1 \quad \text{e} \quad d_{b1} = d_{p1} \cdot \cos \alpha = m \cdot z_1 \cdot \cos \alpha$$

$$\text{devíamos ter sempre } \Delta = \left(\frac{d_{p1} - d_{b1}}{2} \right) > m \quad (\text{adendo})$$

se $\Delta < m$ então há interferência, dependendo se z_1 é pequeno demais.

Para não ocorrer interferência é preciso que $z_1 > z_{\min}$ com :

$$z_{\min} = \frac{2 \cdot h_{kz}}{m \cdot \sin^2 \alpha}$$

h_{kz} = adendo da ferramenta (= dedendo da engrenagem) . Se tomarmos $h_{kz} \approx m$ e $\alpha = 20^\circ$

$$z_{\min} \approx \frac{2 \cdot m}{m \cdot \sin^2 20^\circ} \approx 17,1 \text{ dentes}$$

entretanto há vantagem em se ter uma pequena interferência porque aumenta o raio de filete no pé do dente e melhora portanto a concentração de tensão. No caso acima seria adotado $z_1 = 16$ dentes por exemplo.

2.9. Engrenagens cilíndricas helicoidais

Geometria

as grandezas de dentes retos acontecem no plano normal que coincide com o plano transversal ou frontal. As grandezas dos dentes helicoidais acontecem equivalentemente no plano transversal.

relação geral da grandeza G :

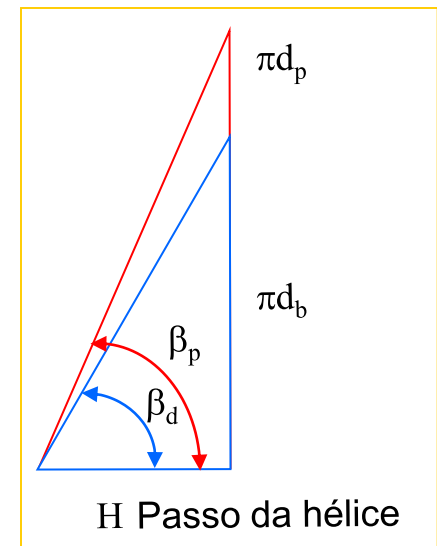
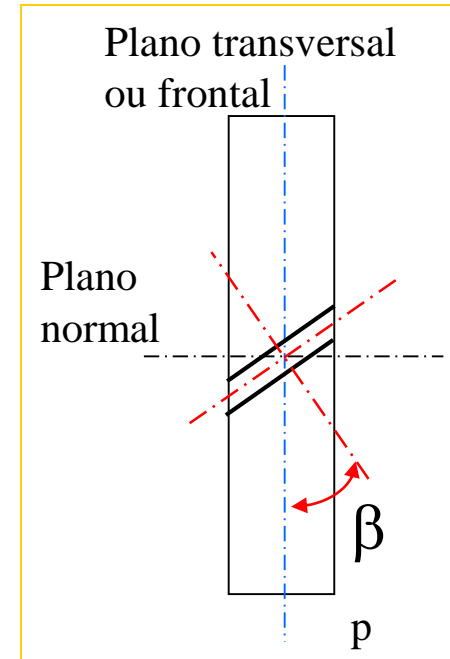
$$G_{normal} = G_{frontal} \cdot \cos \beta_p$$

ângulo de hélice é fornecido no diâmetro primitivo:

$$H = \frac{\pi \cdot d_b}{tg \beta_b} = \frac{\pi \cdot d_p}{tg \beta_p} \Rightarrow \frac{tg \beta_p}{tg \beta_b} = \frac{d_p}{d_b}$$

ângulo de pressão normal:

$$tg \alpha_n = tg \alpha \cdot \cos \beta_p$$



2.9. Engrenagens cilíndricas helicoidais

Geometria

módulo normal

$$m_n = m \cdot \cos \beta_p$$

NB.: todas as relações geométricas usam grandezas frontais portanto usamos “m” e não “m_n” nas fórmulas, com exceção dos diâmetros externo e de raiz !

número equivalente de dentes (*)

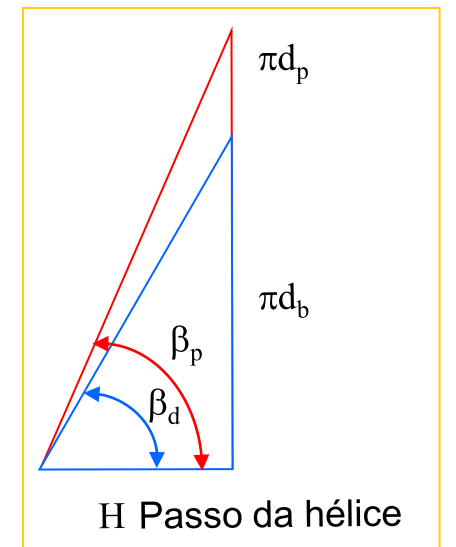
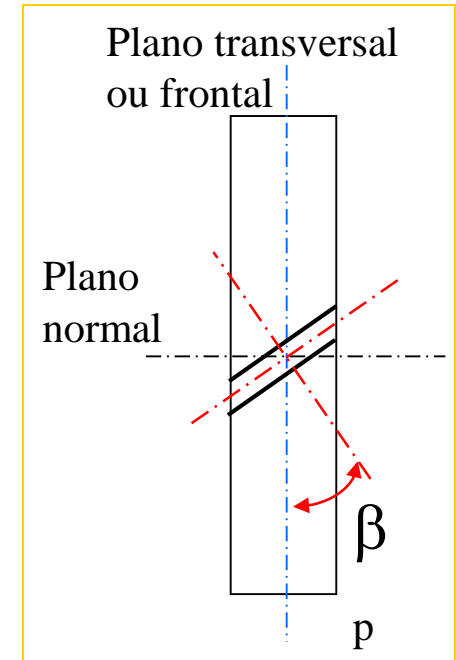
$$z_{in} = \frac{z_i}{\cos^2 \beta_b \cdot \cos \beta_p}$$

diâmetros equivalentes (*)

$$d_{pn} = \frac{d_p}{\cos^2 \beta_b} = z_n \cdot m_n$$

$$d_{bn} = \frac{d_b}{\cos^2 \beta_b}$$

(*) usados no método Niemann.



□ Algumas particularidades do engrenamento helicoidal

- linhas de contato (B) do dente reto são paralelas à direção axial, (paralelas em relação à largura do dente), no dente helicoidal o contacto é inclinado em relação à largura.
- aplicação da carga – porque B estão inclinadas, o braço da força varia de ponto a ponto.
- em cada instante há contato simultâneo de vários pares de dentes, portanto haverá uma carga média menor sobre os dentes.
- estas dificuldades de cálculo são compensadas pela suavidade de funcionamento (entrada e saída mais suaves do engrenamento) e menor ruído.

