
Usinagem I

2015.1

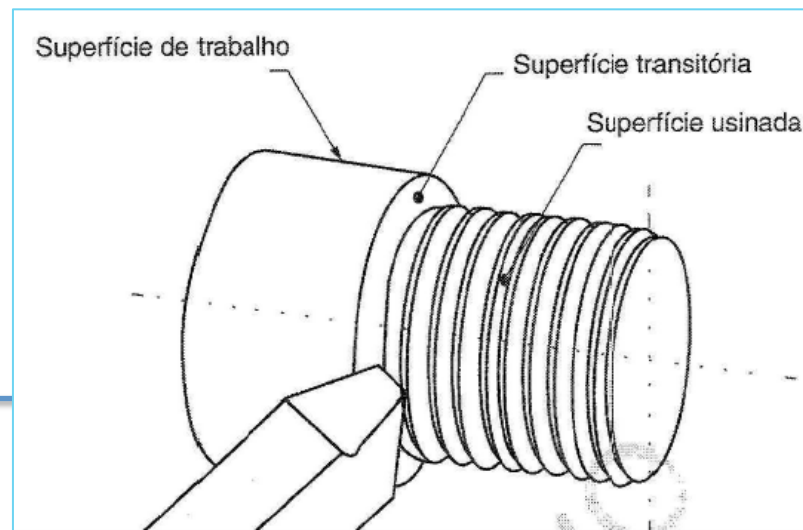
Parte II – Aula 13 e 14

Geometria da Ferramenta – Norma ABNT

ISO 3002 – 1 - 2013

Superfícies da peça:

- Superfície de trabalho – superfície da peça a ser removida pela usinagem
- Superfície usinada – superfície obtida pela ação da ferramenta de corte
- Superfície transitória – superfície formada na peça durante o corte mas é removida durante o corte seguinte.



Elementos da Ferramenta:

1. **Corpo** – parte da ferramenta que contém as lâminas de corte ou partilhas intercambiáveis, ou onde são formadas as arestas de corte
2. **Haste** – parte da ferramenta pela qual ela é fixada
3. **Furo de fixação** – furo no corpo da ferramenta pela qual ela pode ser fixada por um fuso, haste ou mandril
4. **Linha de Centro da Ferramenta** – linha reta imaginária, com relações geométricas definidas em relação às superfícies de localização, as quais são utilizadas para fabricação, afiação e fixação das ferramentas durante o seu uso. Em geral, é a linha de centro da haste ou furo. Normalmente paralela ou perpendicular as superfícies de localização.

Elementos da Ferramenta:

- 5. Parte de Corte** – parte funcional de cada elemento da ferramenta que produz cavacos. Formada pela **aresta de corte**, **superfície de saída** e **superfície de folga**. Em uma ferramenta multi-cortante, cada dente tem uma parte de corte.
- 6. Base** – superfície plana na haste da ferramenta, paralela ou perpendicular ao plano de referencia da ferramenta, útil para localizar ou orientar a ferramenta na fabricação, afiação ou medição. Nem todas as ferramentas têm uma base claramente definida.
- 7. Cunha de Corte** – porção da parte de corte que se encontra entre a superfície de saída e de folga. Ela pode estar associada com ambas as arestas de corte, principal ou secundária.

Superfícies da Ferramenta:

1. **Superfície de saída** – superfície por onde desliza o cavaco. Pode ser dividida em primeira, segunda, etc, se houver inclinações. Se for necessário identificar a superfície de saída da aresta principal da aresta secundária, chama-se de superfície de saída principal e superfície de saída secundária. O **quebra-cavacos** é uma modificação da superfície de saída para controlar ou quebrar o cavaco.
2. **Superfície de folga** – superfície da ferramenta através das quais passa a superfície produzida na peça. (Pode ser dividida em primeira, segunda, etc).

Termos relacionados às Arestas de Corte:

1. **Aresta de corte** – aresta da superfície de saída destinada a realizar o corte. Aresta de corte efetiva é a parte da aresta que é usada para cortar em um instante particular.
2. **Aresta Principal de corte** – parte da aresta de corte que inicia no ponto onde o ângulo de posição da ferramenta é zero e da qual pelo menos uma parte se destina a produzir a superfície transitória da peça. Quando há ponta de corte aguda, a aresta principal começa na ponta.
3. **Aresta Secundária de Corte** – O restante da aresta de corte, se houver, que inicia na ponta de corte e se estende desta ponta na direção oposta da aresta principal de corte. Ela não se destina a produzir a superfície transitória da peça.

Termos relacionados às Arestas de Corte:

4. **Ponta de corte** – pequena parte da aresta de corte onde se encontram a aresta principal e secundária. Pode ser curva (arredondada), reta (chanfrada) ou o cruzamento das arestas.
5. **Ponto de corte escolhido** – um ponto escolhido em qualquer parte da aresta de corte com a finalidade de definir os ângulos da ferramenta.
6. **Perfil da ferramenta** – Projeção ortogonal da aresta de corte principal em qualquer plano desejado.

Dimensões:

1. **Raio da ponta de corte r_ϵ** – raio nominal de uma ponta de corte arredondada, medida no plano de referência da ferramenta (Pr)
2. **Largura do chanfro da ponta de corte b_ϵ** – largura nominal da ponta de corte chanfrada, medida no plano de referência da ferramenta Pr .
3. **Raio de arredondamento da aresta de corte r_n** – O raio nominal de uma aresta de corte arredondada, medido no plano normal à aresta de corte, Pn .

Movimentos da ferramenta e da peça:

1. **Movimento de corte** – movimento principal relativo entre a aresta de corte e a peça, realizado de forma que a superfície de saída se aproxime do material da peça. (Direção instantânea de corte; Velocidade de corte V_c)
2. **Movimento de avanço** – movimento relativo entre a aresta de corte e a peça o qual, quando acrescido ao movimento de corte, leva à remoção repetida ou contínua dos cavacos e à criação de uma superfície usinada. (direção de avanço; velocidade de avanço V_f)
Ângulo de avanço: entre as direções de avanço e de corte.
3. **Movimento efetivo de corte** – Movimento resultante dos movimentos simultâneos de corte e de avanço. (direção efetiva e velocidade efetiva de corte V_e) **Ângulo da velocidade efetiva de corte**: entre as direções de corte e efetiva.

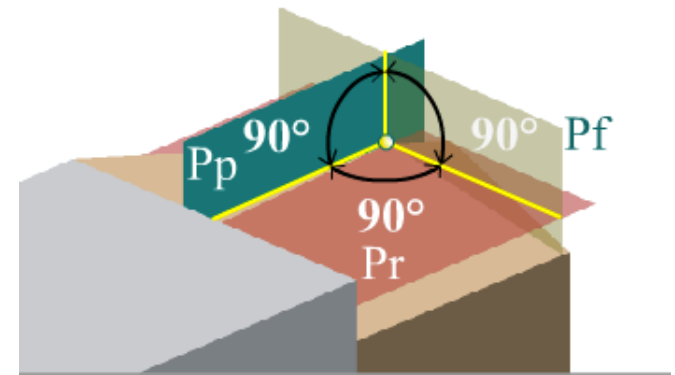
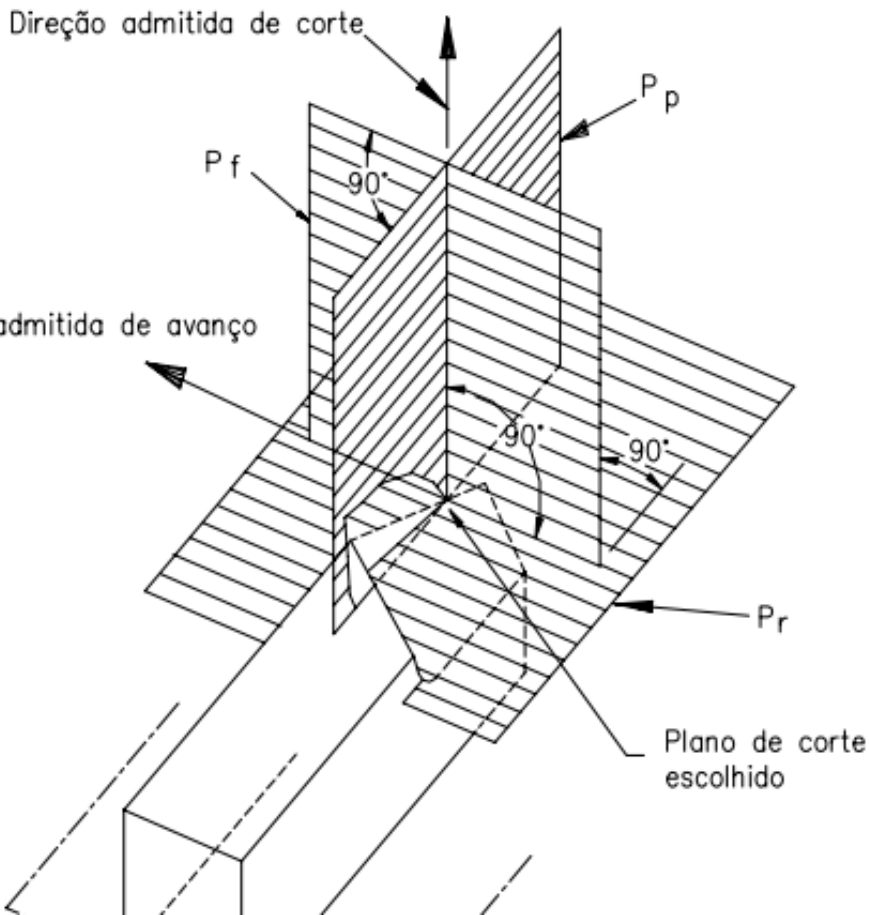
Referência dos planos necessário para definir os ângulos das ferramentas de corte.

<https://www.youtube.com/watch?v=H7Dedqf-53g>

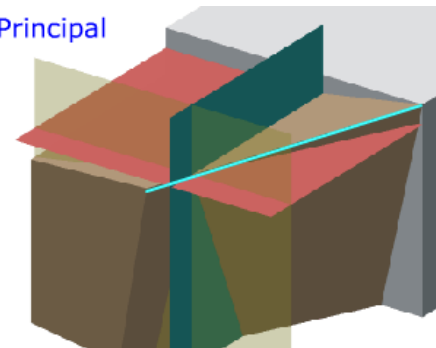
Sistema de Referência da Ferramenta:

1. **Plano de Referência da Ferramenta P_r** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular à direção admitida de corte. É escolhido de forma a ser o mais paralelo ou perpendicular possível a uma superfície ou eixo da ferramenta.
2. **Plano Admitido de Trabalho P_f** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular ao plano de referência da ferramenta P_r e é paralelo à direção admitida de avanço. É escolhido de forma a ser o paralelo ou perpendicular possível a uma superfície ou eixo da ferramenta.
3. **Plano Dorsal da Ferramenta** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular aos planos de referência da ferramenta P_r e admitido de trabalho P_f . (Chamado tb de plano passivo da ferramenta)

Plano de referencia, admitido de trabalho e dorsal da ferramenta



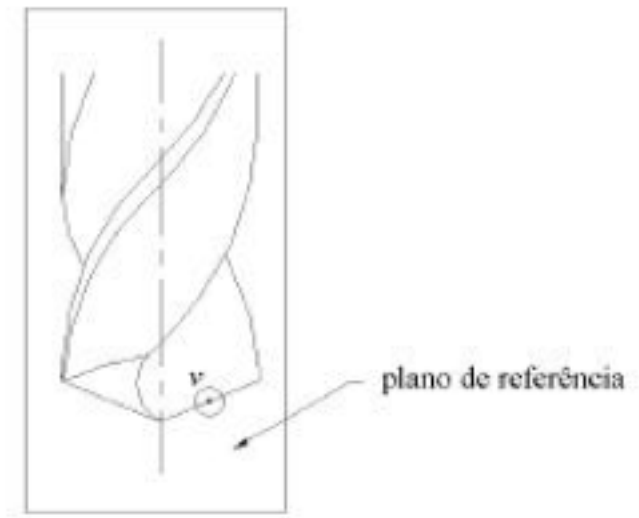
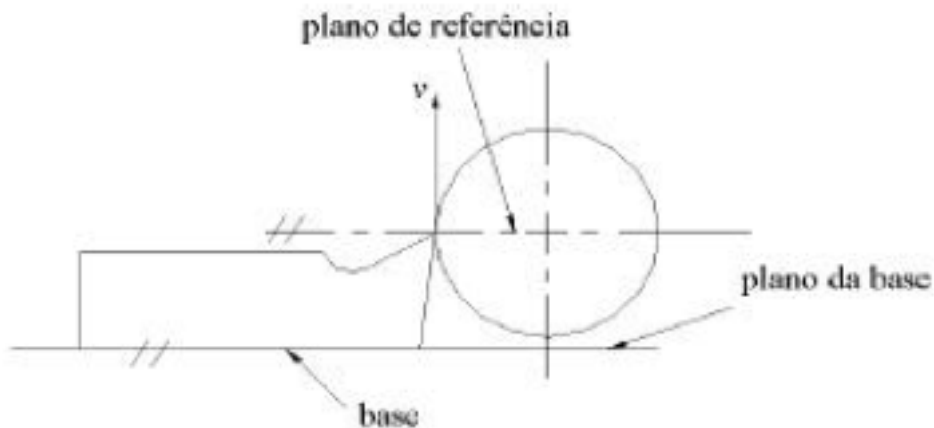
Gume Principal



Planos do Sistema Ref. Ferramenta

Plano de Referência da Ferramenta

Perpendicular a direção admitida de corte orientado segundo o eixo da ferramenta

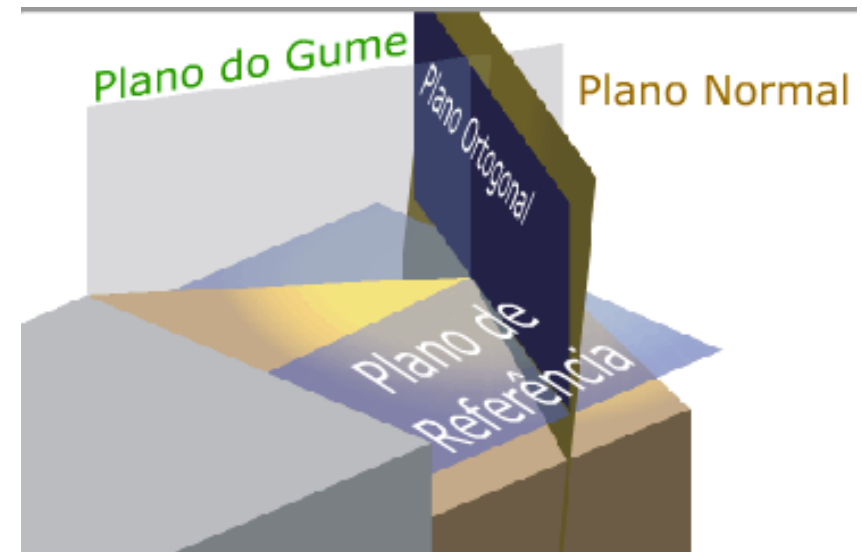
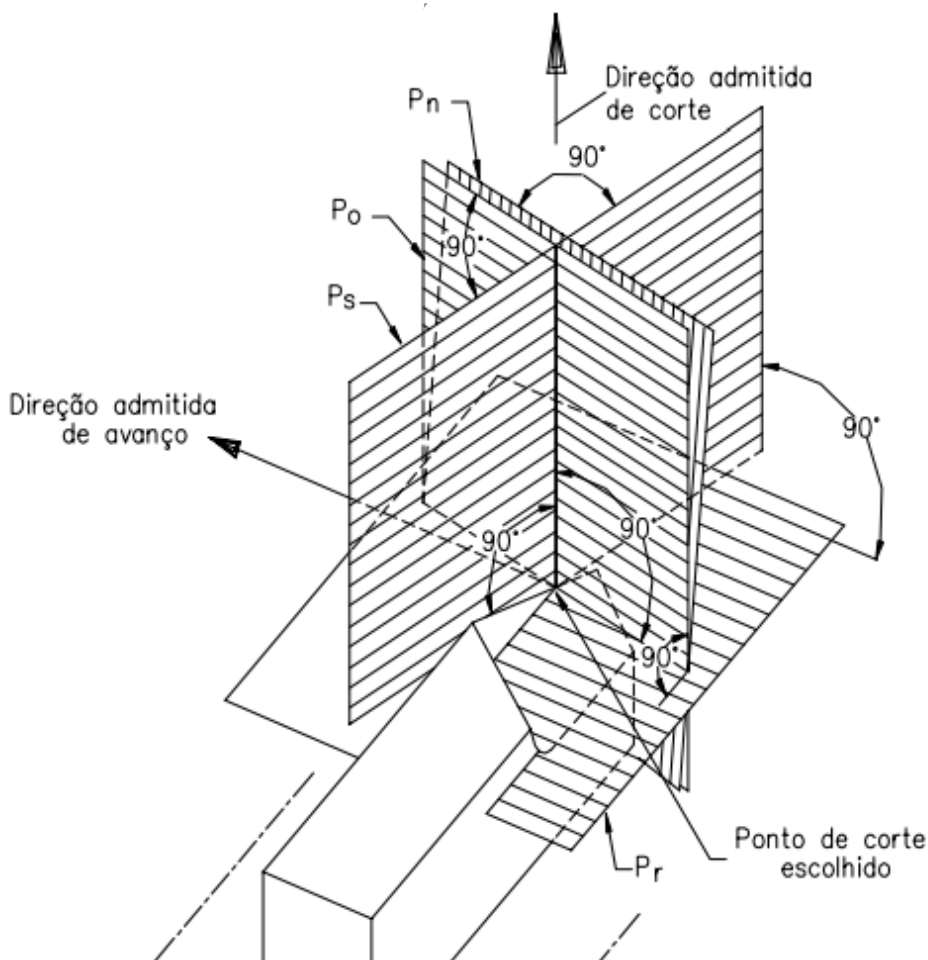


Referência dos planos necessário para definir os ângulos das ferramentas de corte.

Sistema de Referência da Ferramenta:

4. **Plano de Corte da Ferramenta P_s** - plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é tangente à aresta de corte e perpendicular ao plano de referência da ferramenta P_r .
5. **Plano Normal à aresta de corte P_n** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular à aresta de corte.
6. **Plano Ortogonal da Ferramenta P_o (Plano de Medida)**- plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular aos planos de referência da ferramenta P_r e de corte da ferramenta P_s .

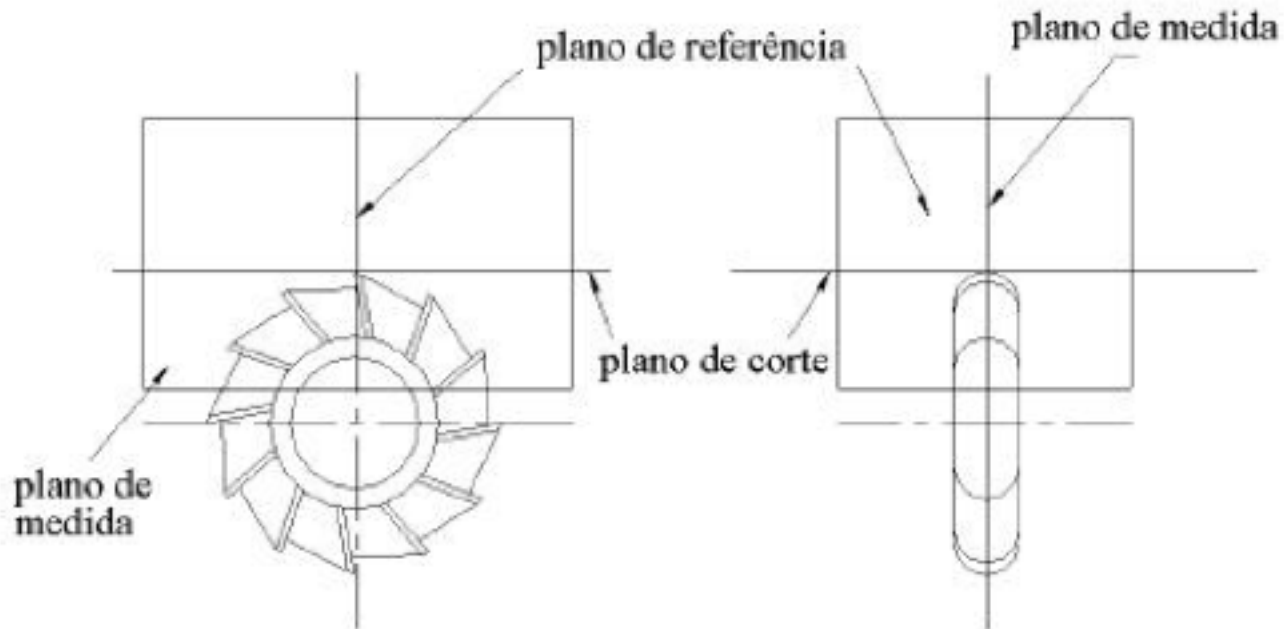
Plano de corte, normal e ortogonal (de medida) da ferramenta



Planos do Sistema Ref. Ferramenta

Plano de Corte da Ferramenta

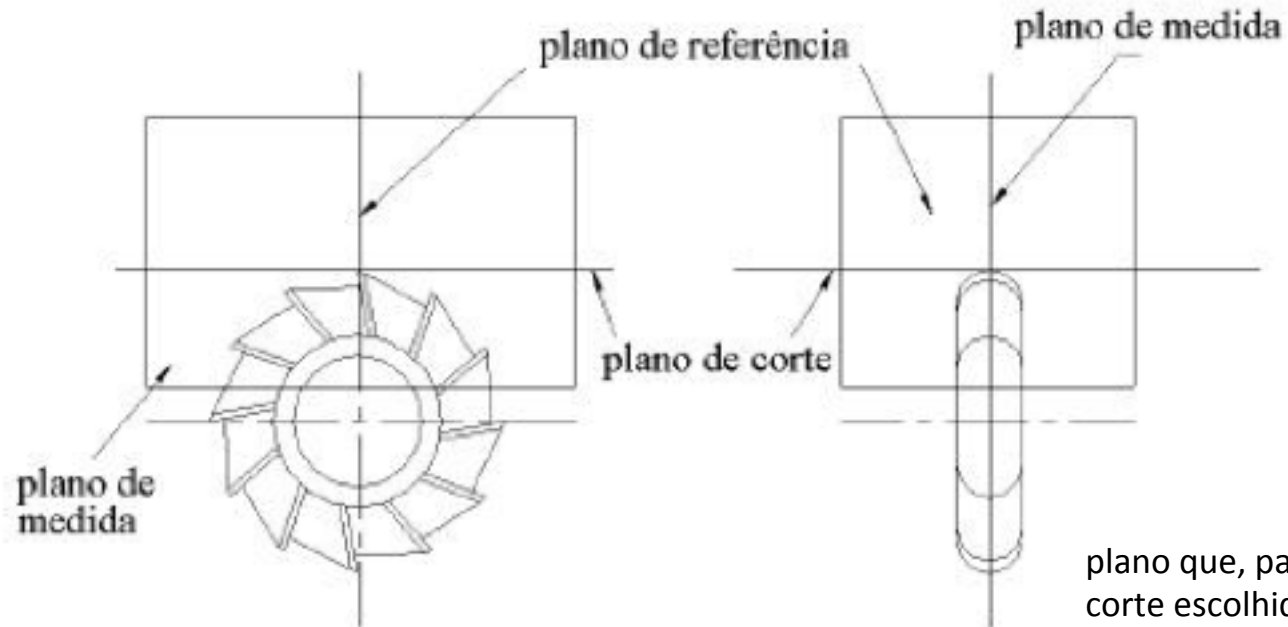
Passa pela aresta de corte e é perpendicular ao plano de referência.



Planos do Sistema Ref. Ferramenta

Plano de Medida da Ferramenta

Perpendicular aos planos de corte e de referência



plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular aos planos de referência da ferramenta P_r e de corte da ferramenta P_s

Referência dos planos necessário para definir os ângulos das ferramentas de corte.

Sistema de Referência Efetivo:

1. **Plano de Referência efetivo P_{re}** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular à direção efetiva de corte.
2. **Plano de Trabalho efetivo P_{fe}** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, contém as direções de corte e de avanço.
3. **Plano Dorsal Efetivo P_{pe}** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular aos planos de referência efetivo P_{re} e admitido de trabalho P_{fe} .

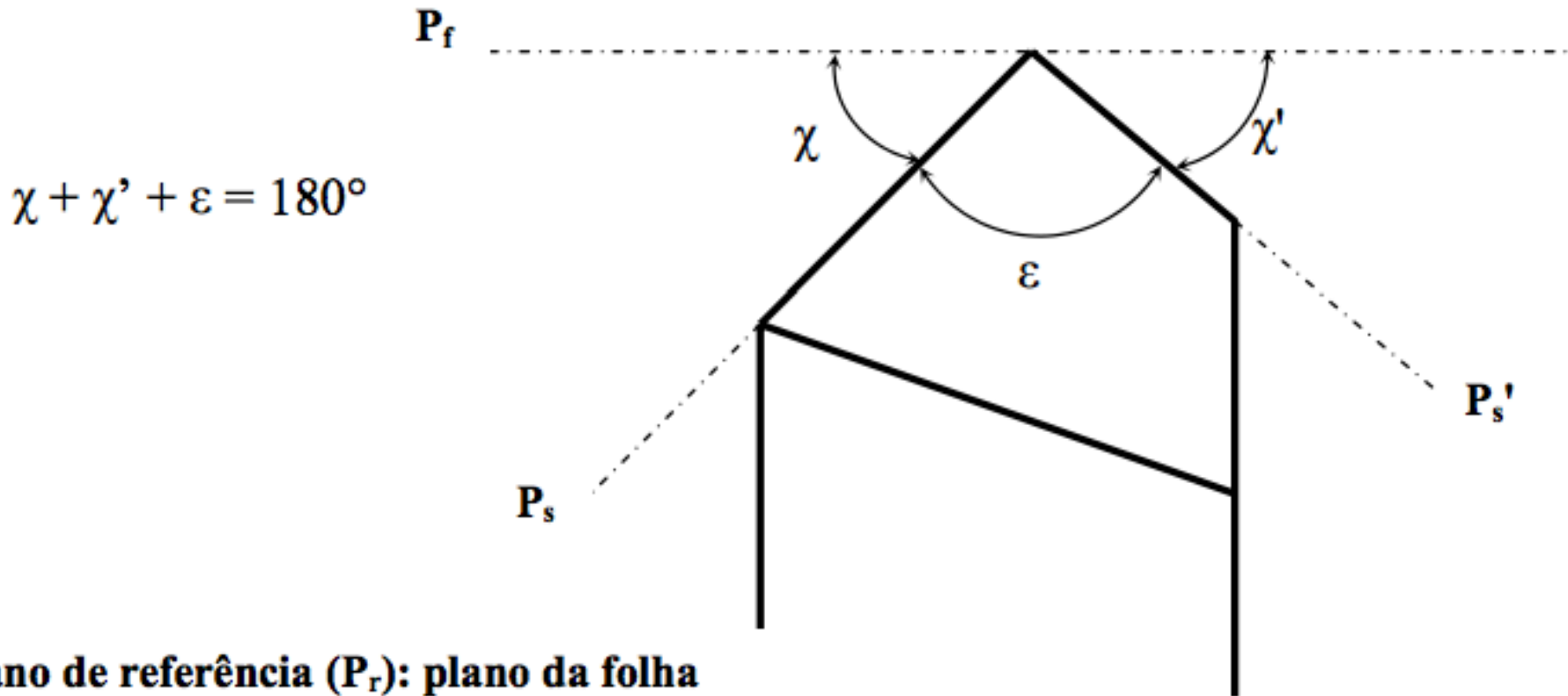
Referência dos planos necessário para definir os ângulos das ferramentas de corte.

Sistema de Referência Efetivo:

4. **Plano de Corte Efetivo P_{se}** - plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é tangente à aresta de corte e perpendicular ao plano de referência efetivo P_{re} .
5. **Plano Normal à aresta de corte $P_{ne}=P_n$** – plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular à aresta de corte.
6. **Plano Ortogonal efetivo P_o** - plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular aos planos de referência efetivo P_{re} e de corte efetivo P_{se} .

Ângulos que posicionam a aresta de corte

1. **Ang. de Posição da aresta de corte (κ_r ou χ)** – ângulo entre o plano de corte da ferramenta P_s e o plano admitido de trabalho P_f , medido no plano de referência da ferramenta P_r .
2. **Ang. de inclinação da ferramenta λ_s** – ângulo entre a aresta de corte e o plano de referência da ferramenta P_r , medido no plano de corte da ferramenta P_s . No modelo de corte ortogonal, o ângulo de inclinação é zero. No
3. **Ângulo de ponta da Ferramenta ϵ_r** – ângulo entre os planos principal de corte P_s e secundário de corte P_s' , medido no plano de referência da ferramenta.



Plano de referência (P_r): plano da folha

Ang. de Posição da aresta de corte (κ_r ou χ)
Ângulo de ponta da Ferramenta ϵ_r

Geometria da Ferramenta

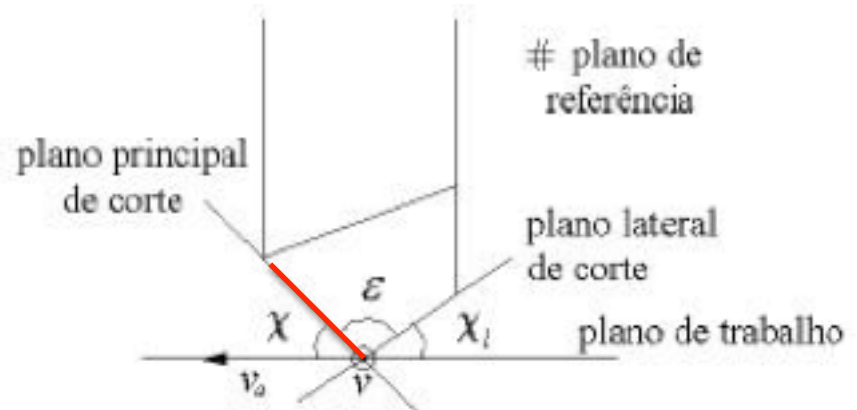
Plano de Referência

Ângulo de posição

Âng. Pos. aresta sec.

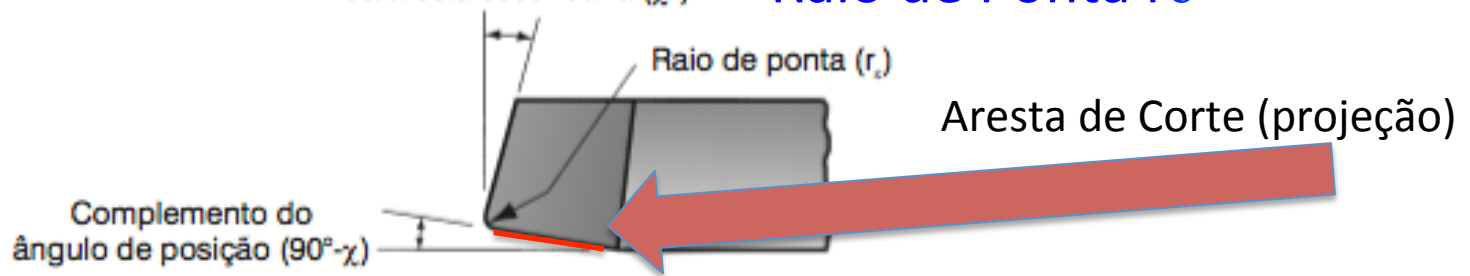
$$\chi + \epsilon + \chi_l = 180^\circ$$

Ângulo de ponta



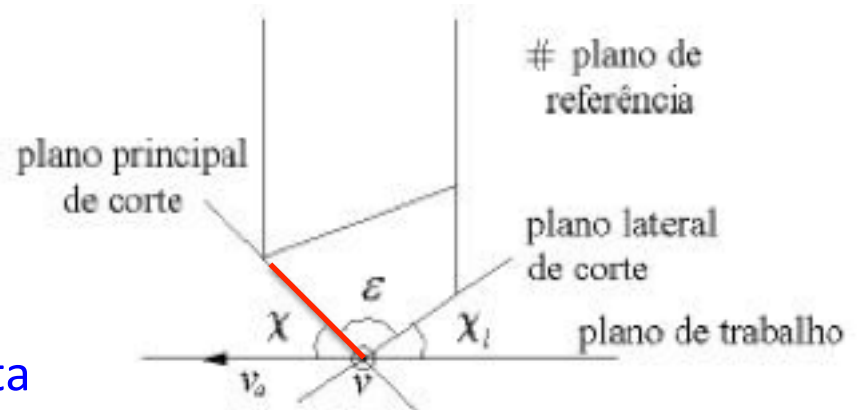
Ângulo de posição da aresta secundária (χ_l)

Raio de Ponta r_ϵ



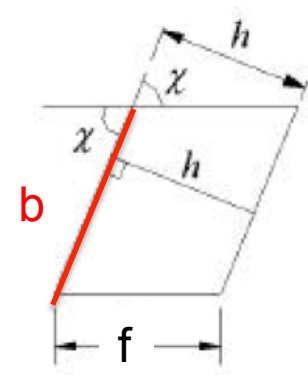
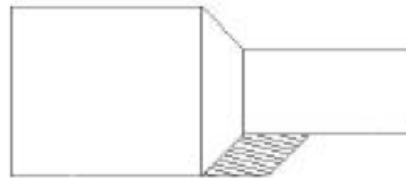
Geometria da Ferramenta

Plano de Referência



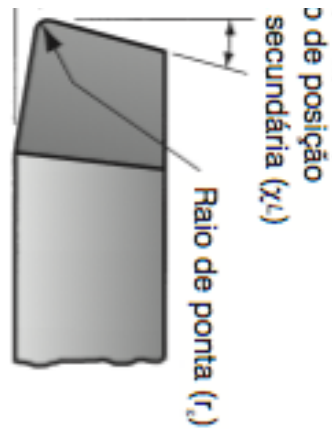
Area de Corte e Comprimento da aresta

$$b = \frac{a_p}{\text{sen } \chi}$$

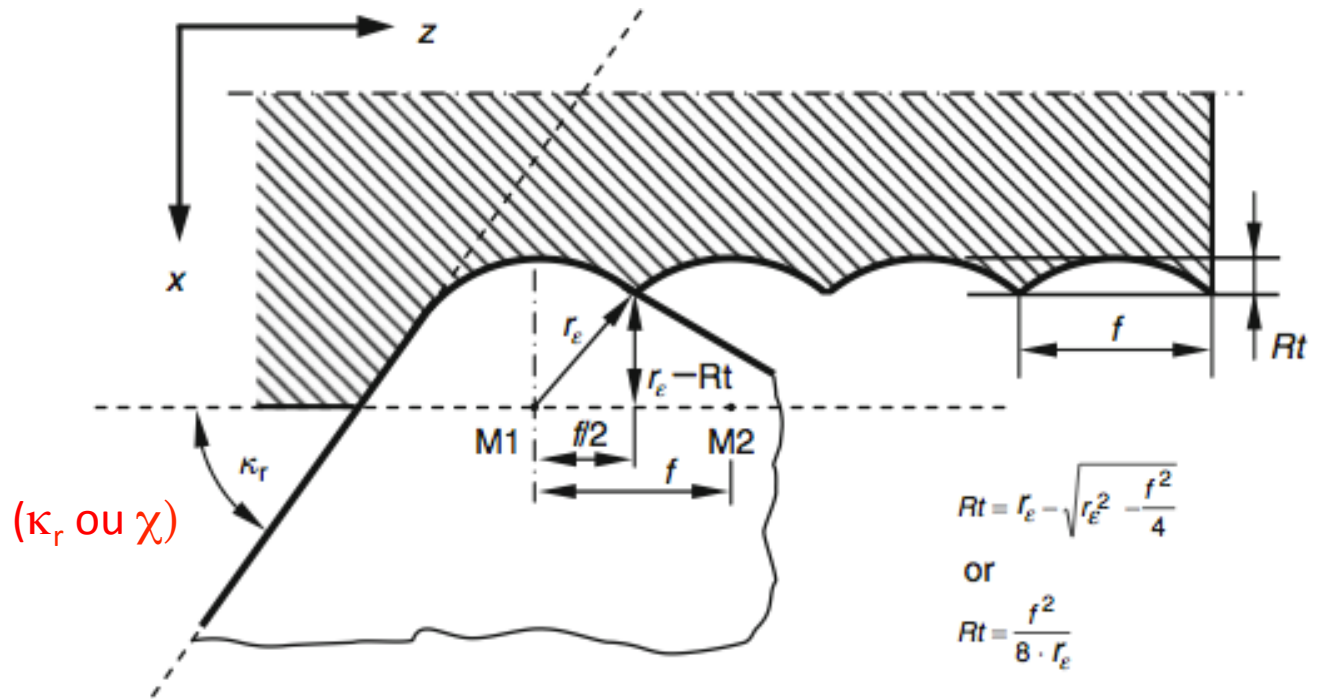


$$\text{Area} = h \cdot b = a_p \cdot f$$

Raio de Ponta e Rugosidade Rt



Raio de Ponta r_e

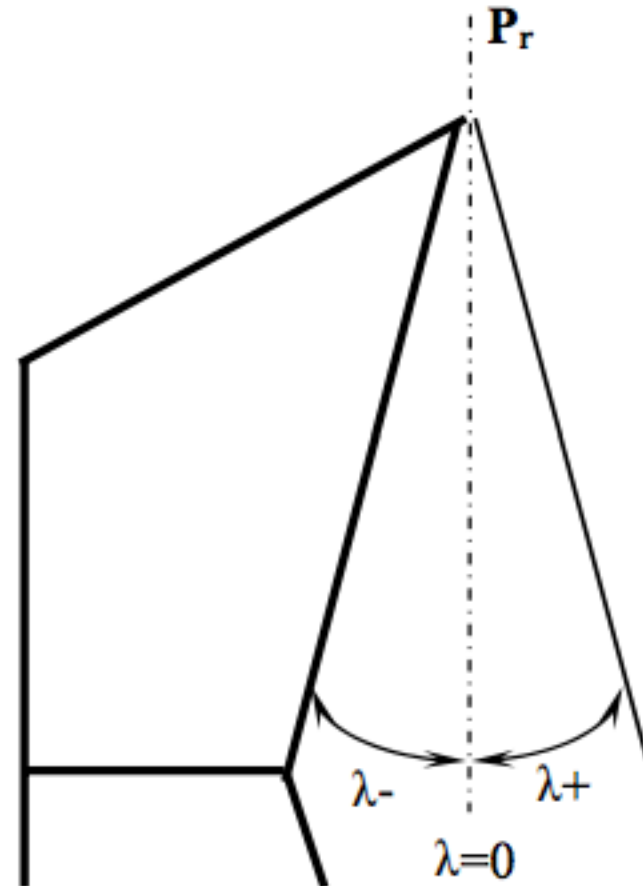


Area of validity: $f < 2 \cdot r_e \cos(\kappa_r + \epsilon_r - 90^\circ)$ and $\kappa_r + \epsilon_r < 180^\circ$

Fig. 3.19 Geometric ratio of engagement in the cutting process

Ângulo de Inclinação λ

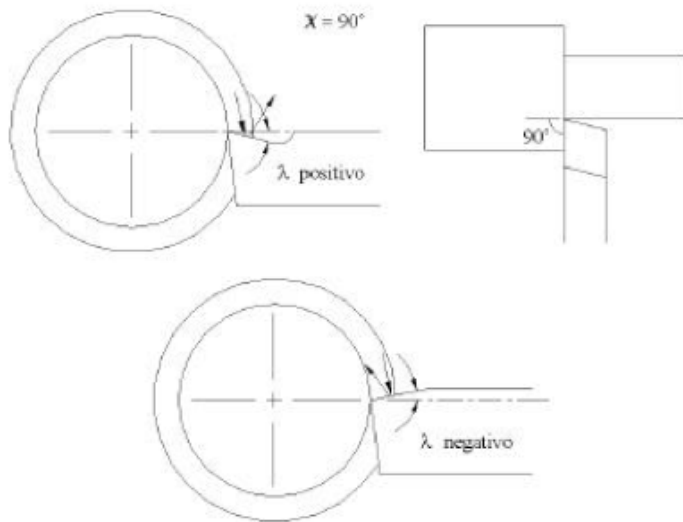
Plano de corte (P_s): plano da folha



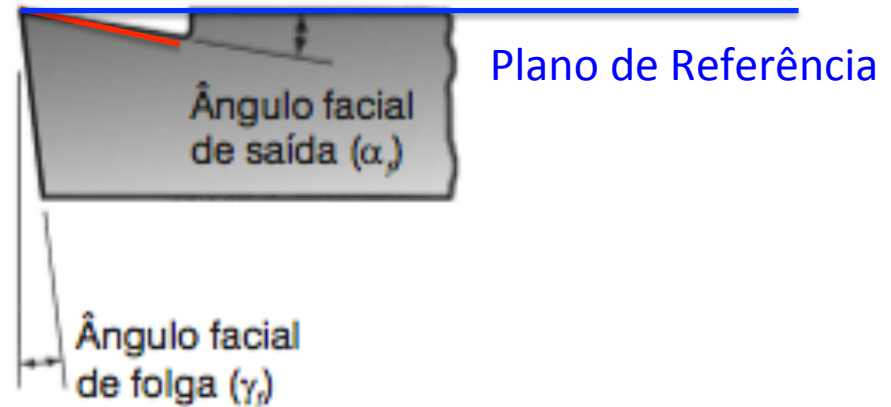
Geometria da Ferramenta

Plano de Corte

Ângulo de Inclinação λ (Norma Brasileira)
Ângulo facial de saída (Norma Americana)



Aresta de Corte (projeção)



Ângulo de Inclinação x Modelo do corte ortogonal

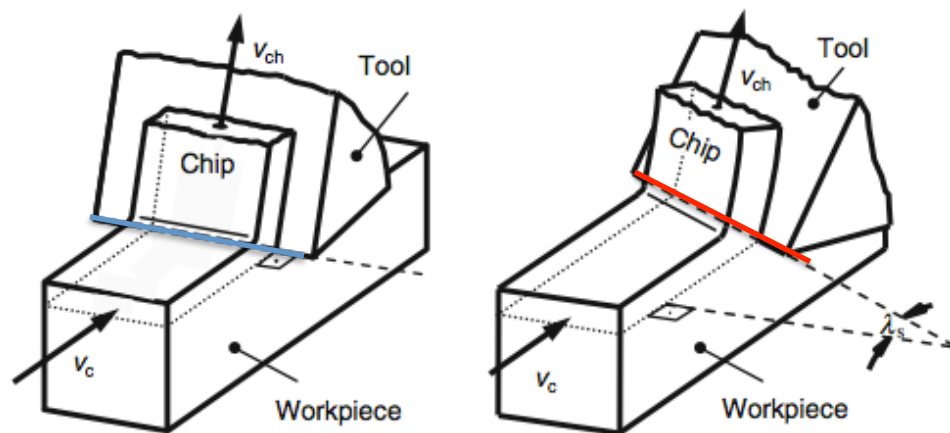
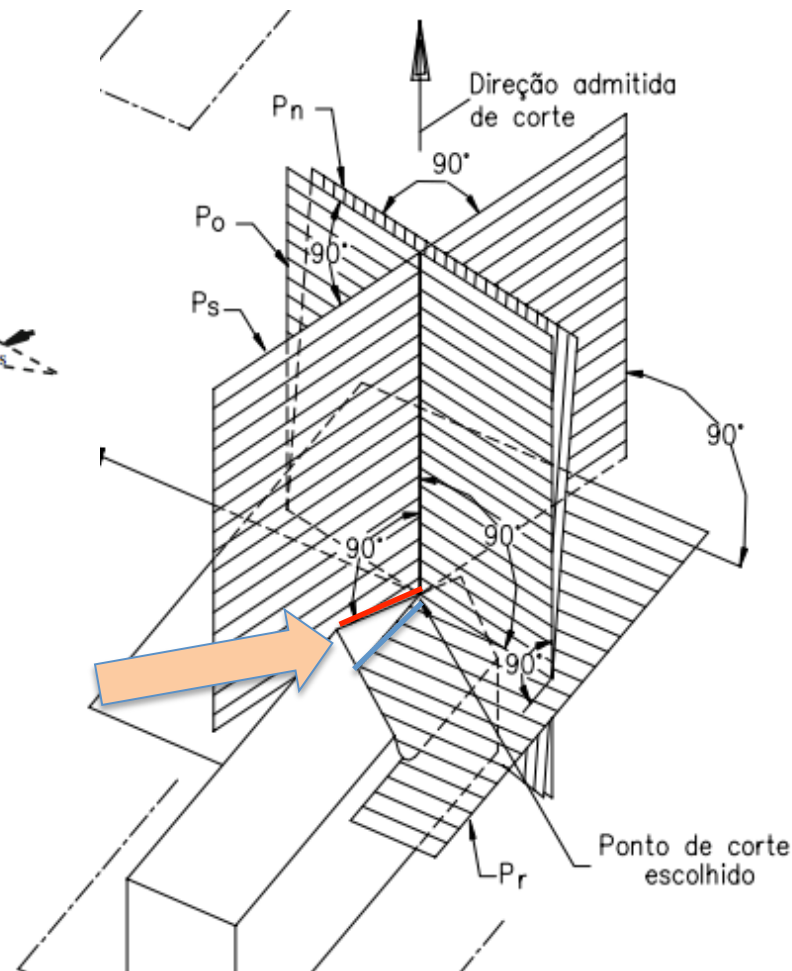


Fig. 3.9 Free, orthogonal and free, diagonal cut

Corte Ortogonal $\lambda=0$ Corte Oblíquo $\lambda \neq 0$



Ângulos de Posição da Superfície de Saída

1. **Ang. de saída normal da ferramenta** – ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência da ferramenta P_r , **medido no plano normal à aresta de corte P_n** .
2. **Ang. de saída lateral da ferramenta** – ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência da ferramenta P_r , **medido no plano admitido de trabalho P_f** .

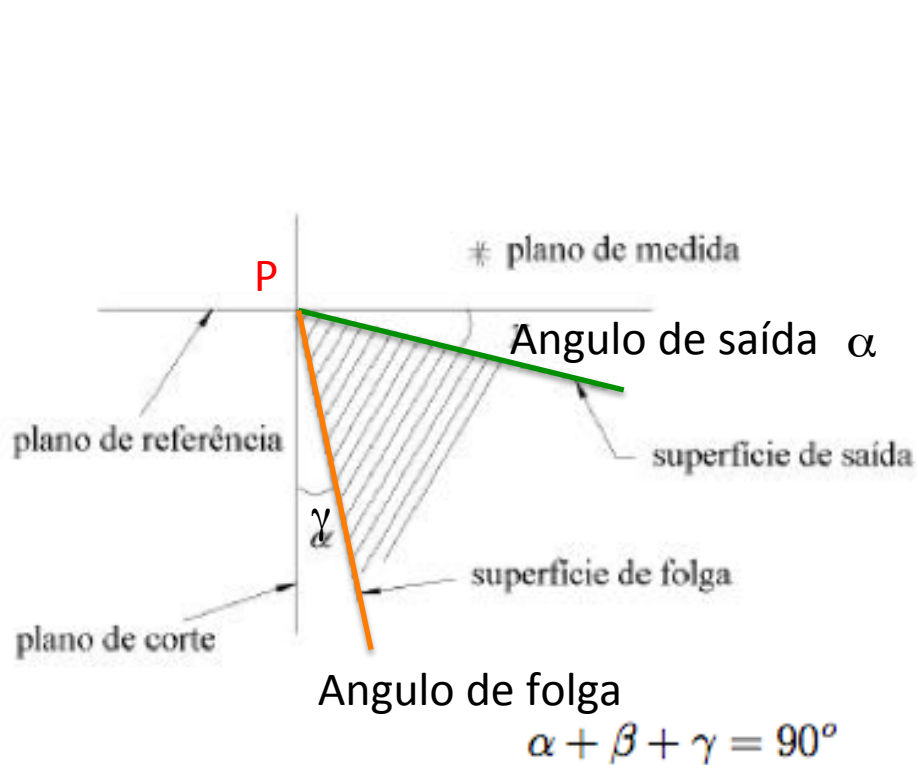
Ângulo de cunha (normal, lateral, dorsal, etc) / de folga (normal, etc)

Ângulo de cunha normal – ângulo entre a superfície de saída e a superfície de folga, **medido no plano normal à aresta de corte P_n** .

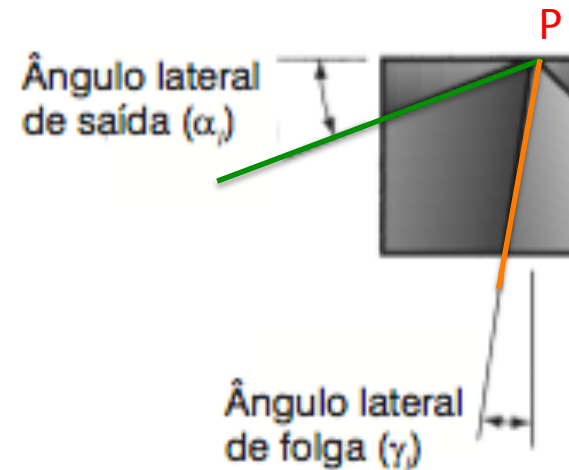
Ângulo de folga normal – ângulo entre a superfície de folga e o plano de corte da ferramenta P_s , **medido no plano normal à aresta de corte**.

Geometria da Ferramenta

Plano de Medida da Cunha de Corte



Aresta de Corte (P)



OBS Importante:

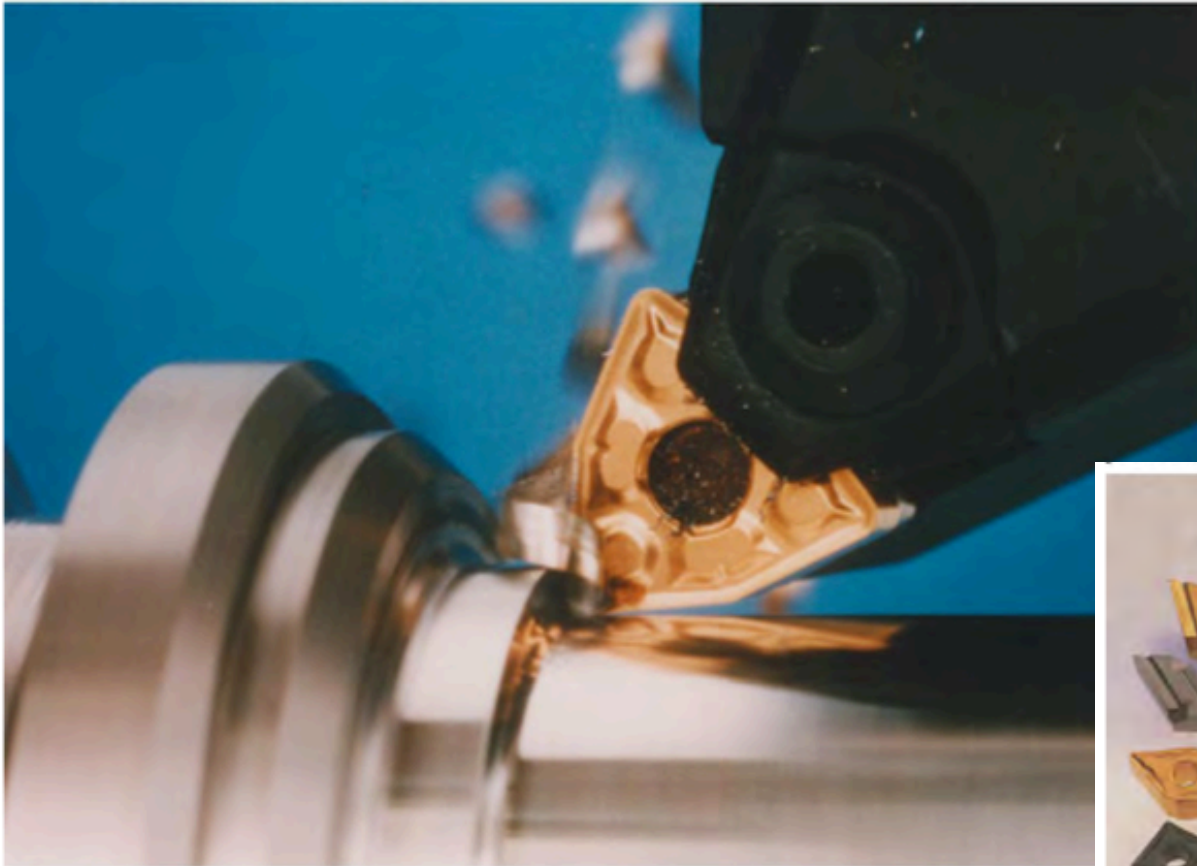
Nomenclatura americana (Groover)

- α = Saída

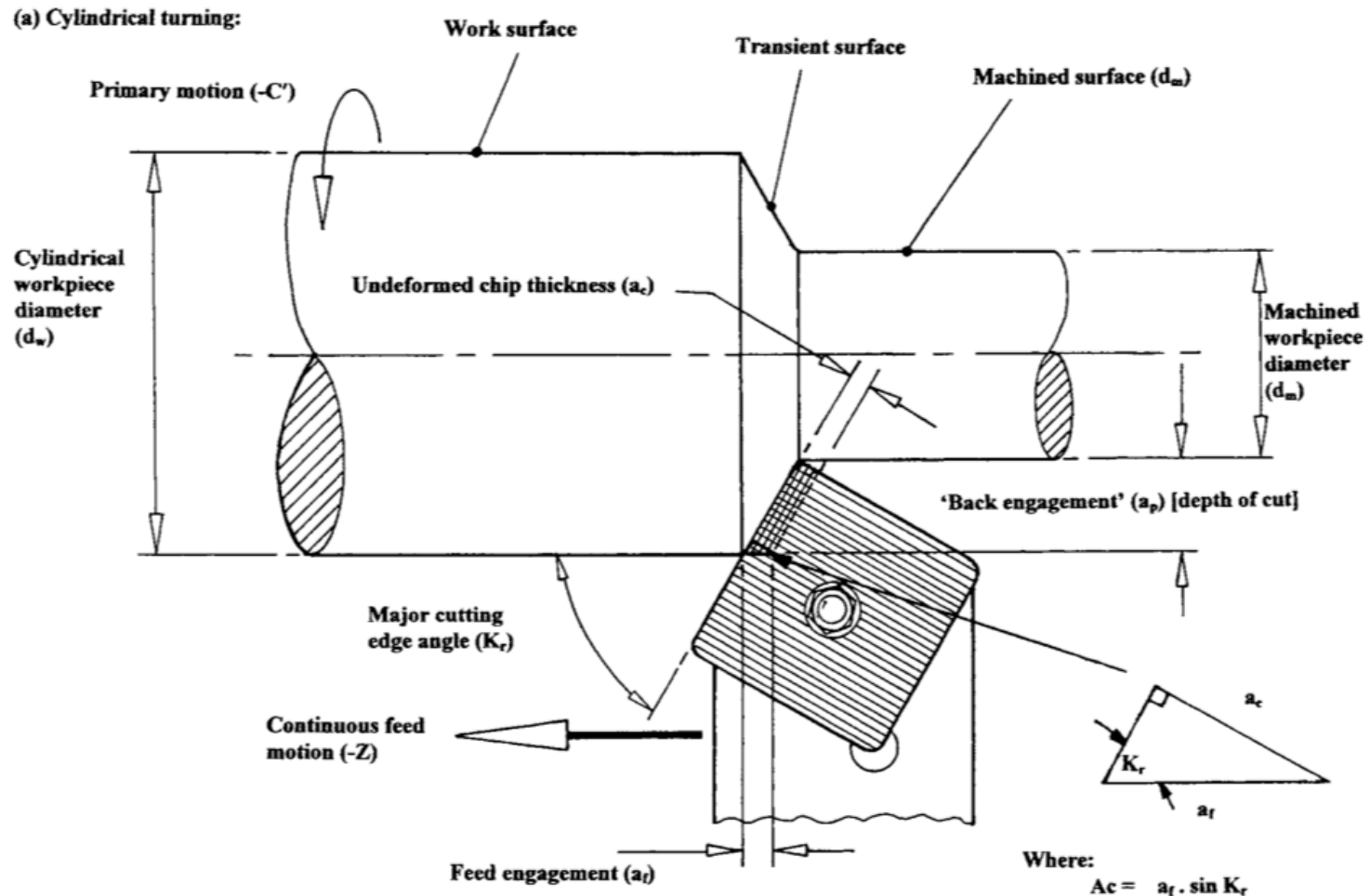
- γ = Folga

ABNT (contrário!)

Insertos no Torneamento

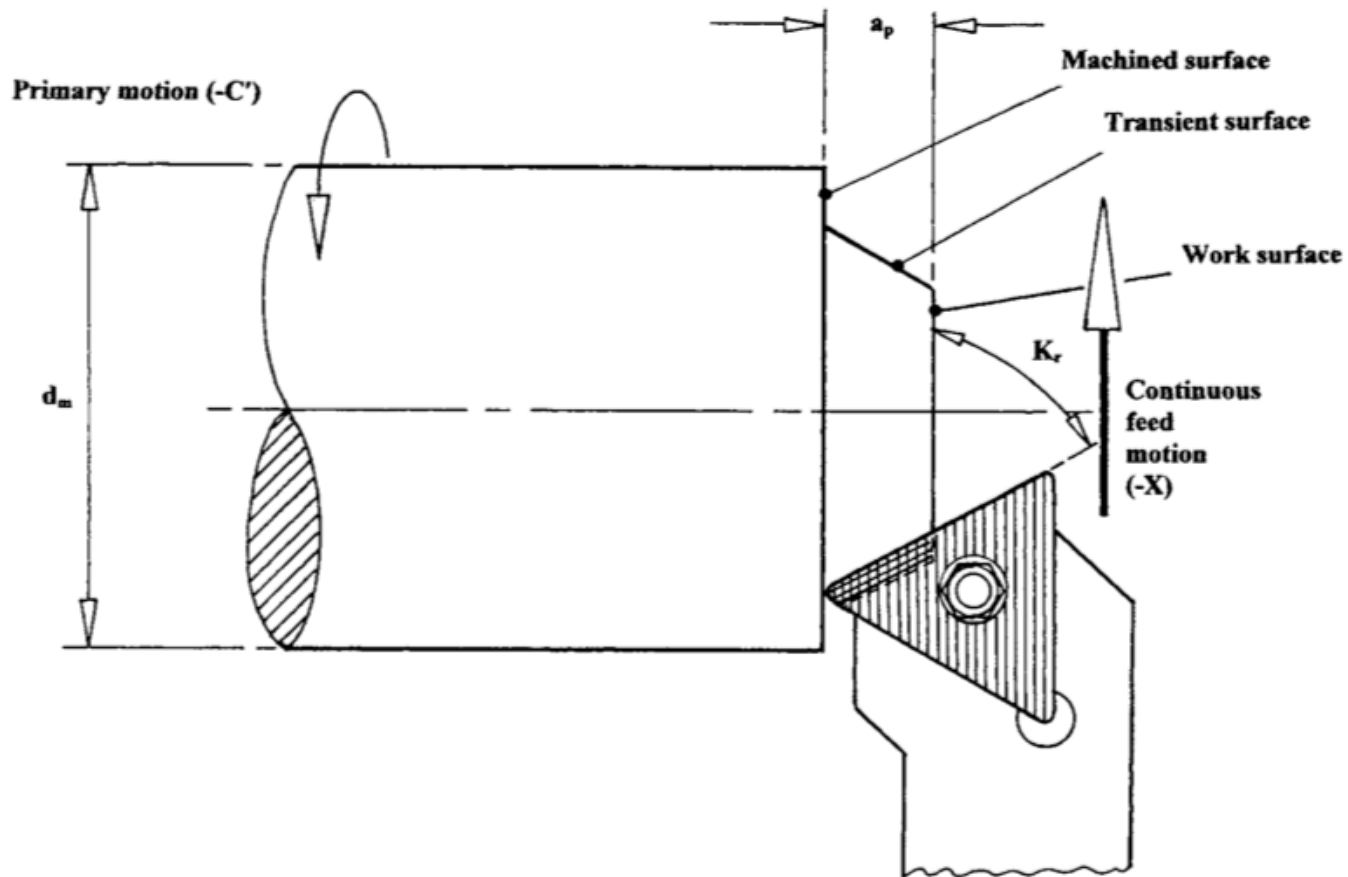


Insertos no Torneamento

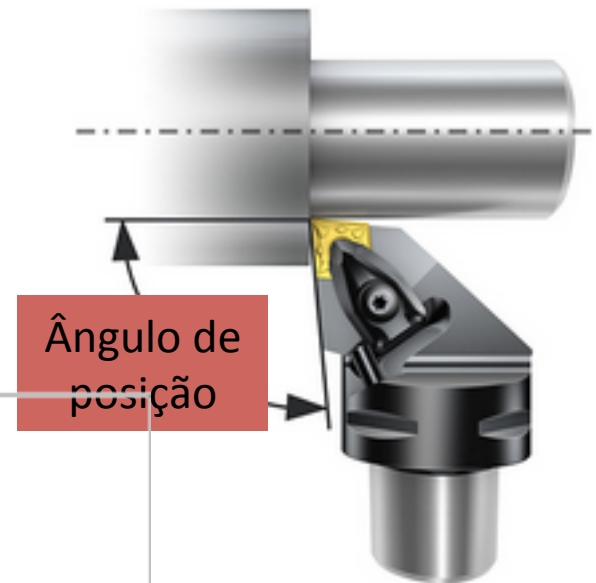
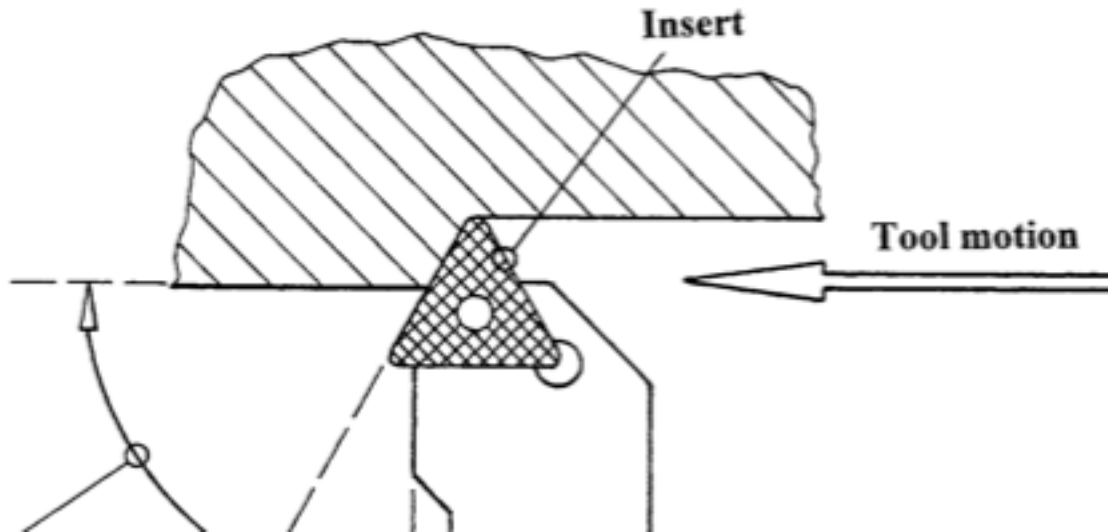


Insertos no Torneamento

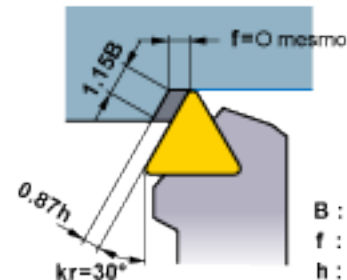
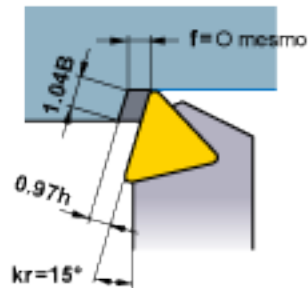
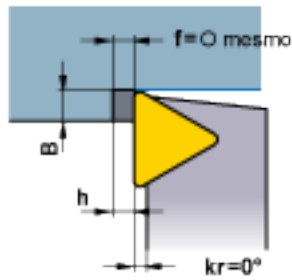
(b) Facing:



Insertos no Torneamento



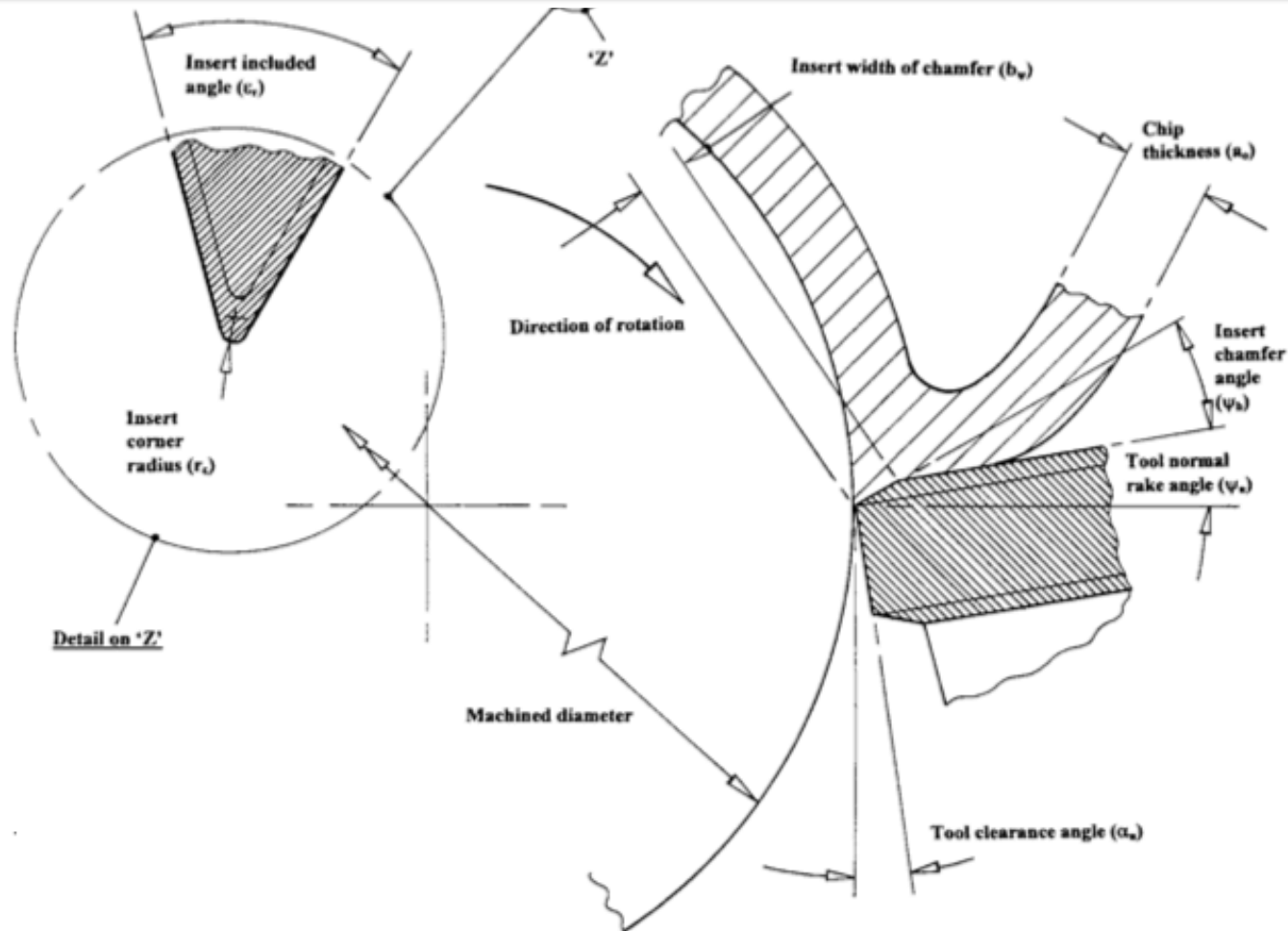
Ângulo de posição



Ângulo de Posição e Espessura do Cavaco

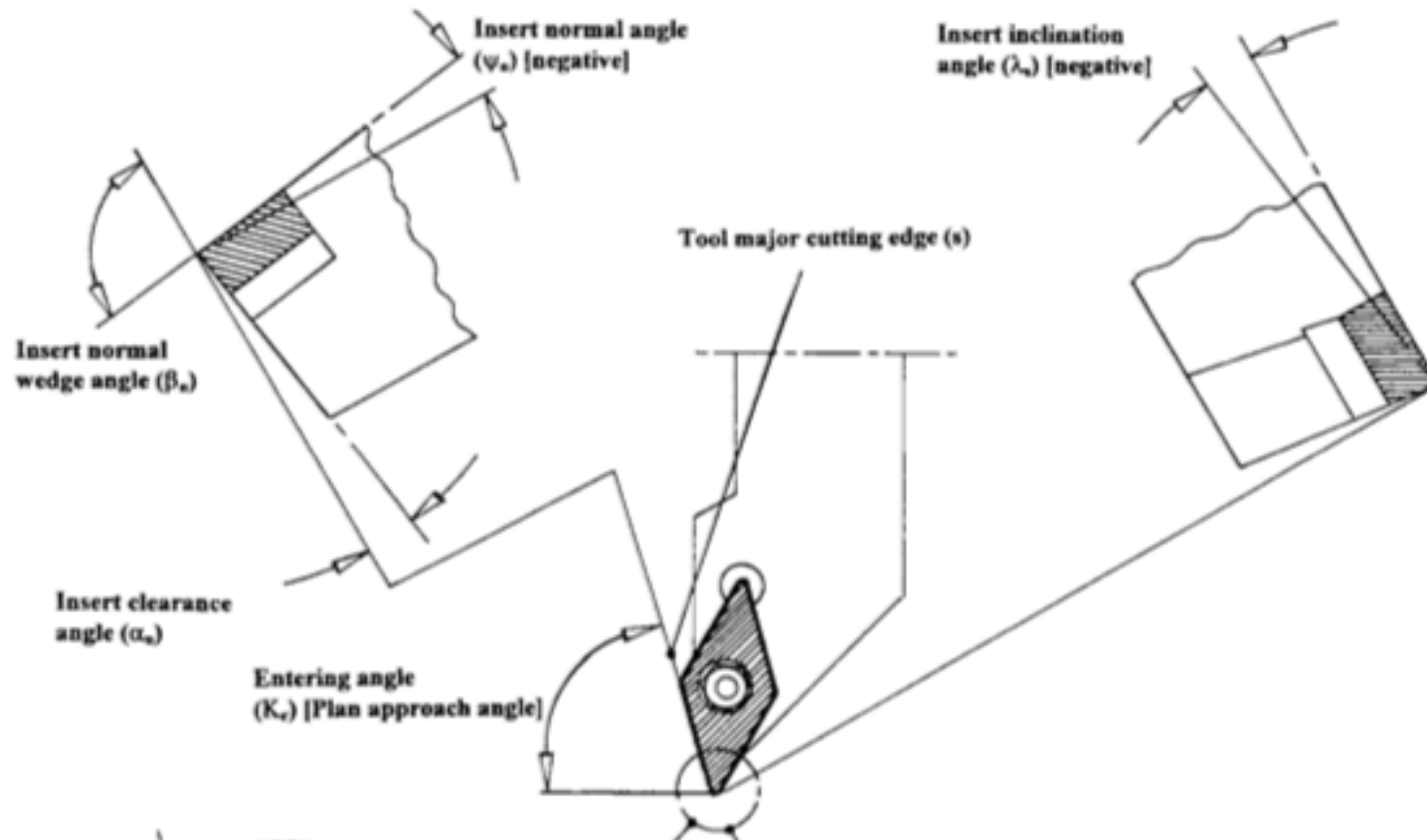
B : Largura do Cavaco
f : Avanço
h : Espessura do Cavaco
kr : Ângulo da Aresta de Corte Lateral (Ângulo de Posição)

Insertos no Torneamento

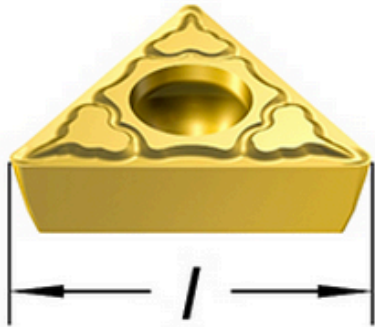


■ Figure 17. Typical turning 'finishing' insert/toolholder geometry and the insert's edge chamfering, in relation to the workpiece

Insertos no Torneamento



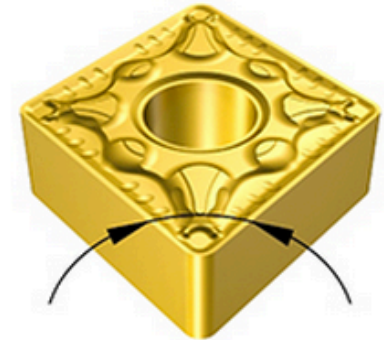
Insertos



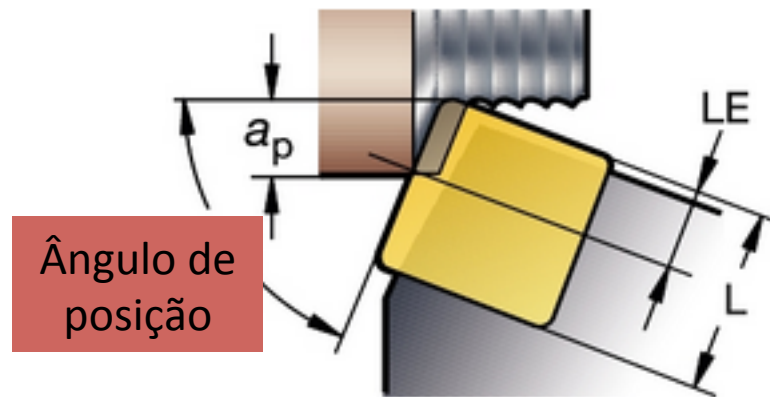
l = comprimento da aresta de corte (tamanho da pastilha)



RE = raio de ponta

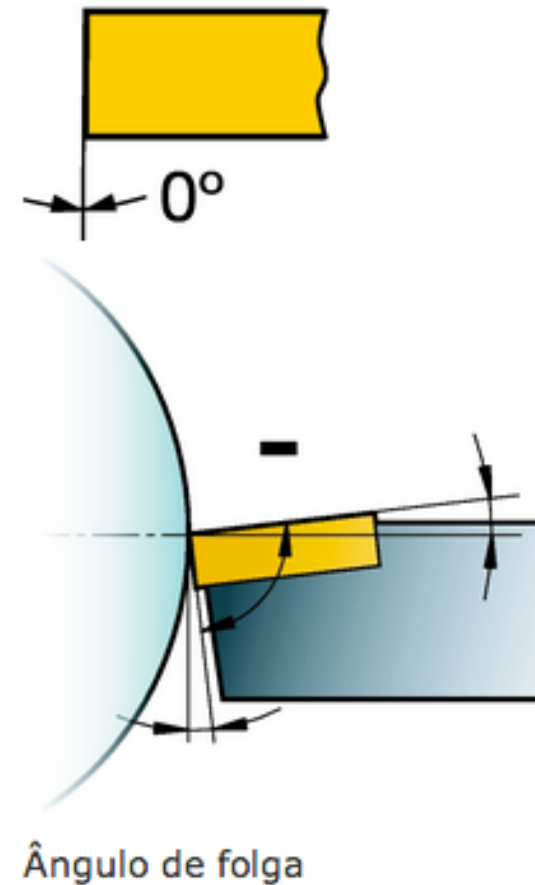
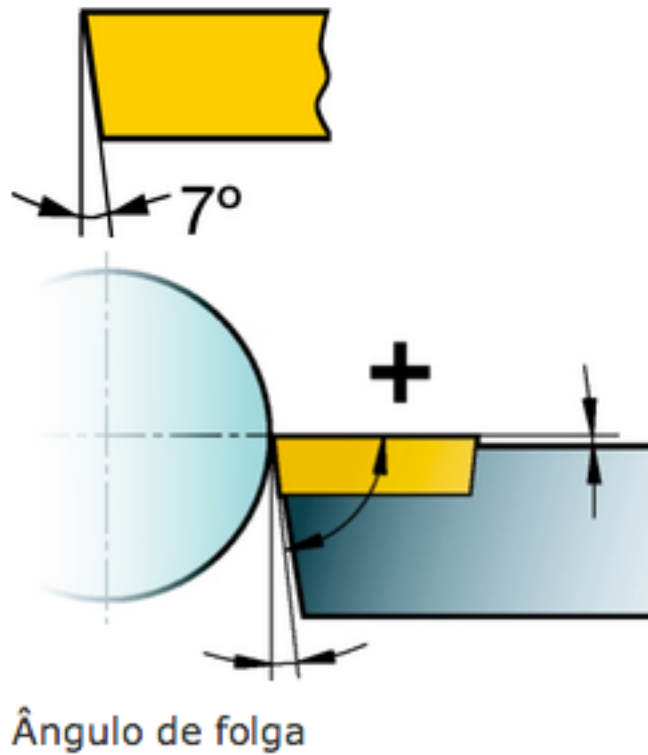


Ângulo de ponta

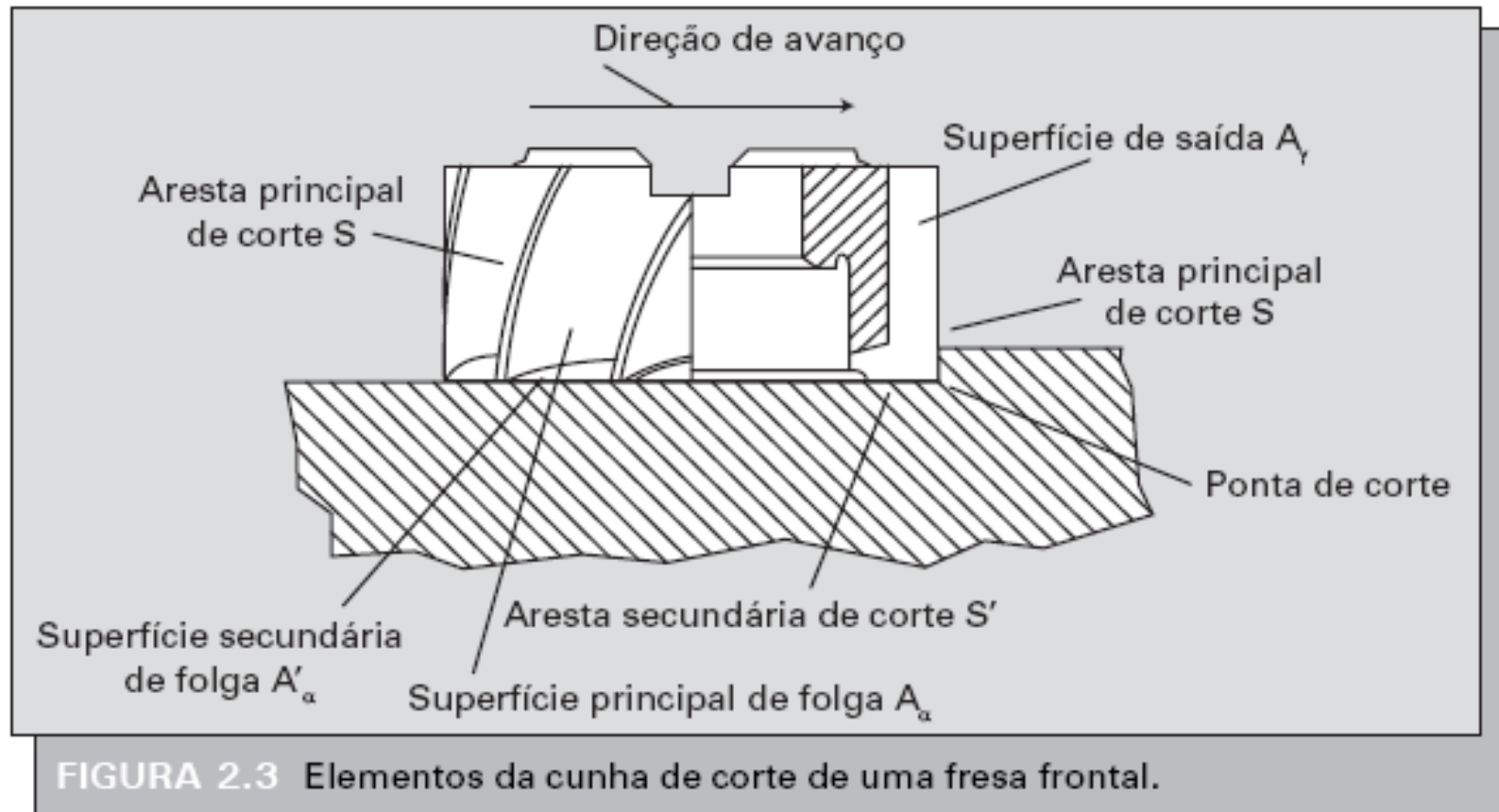


Ângulo de posição

Insertos com ângulo de folga



Ferramenta - Fresamento



Fresas - Geometria

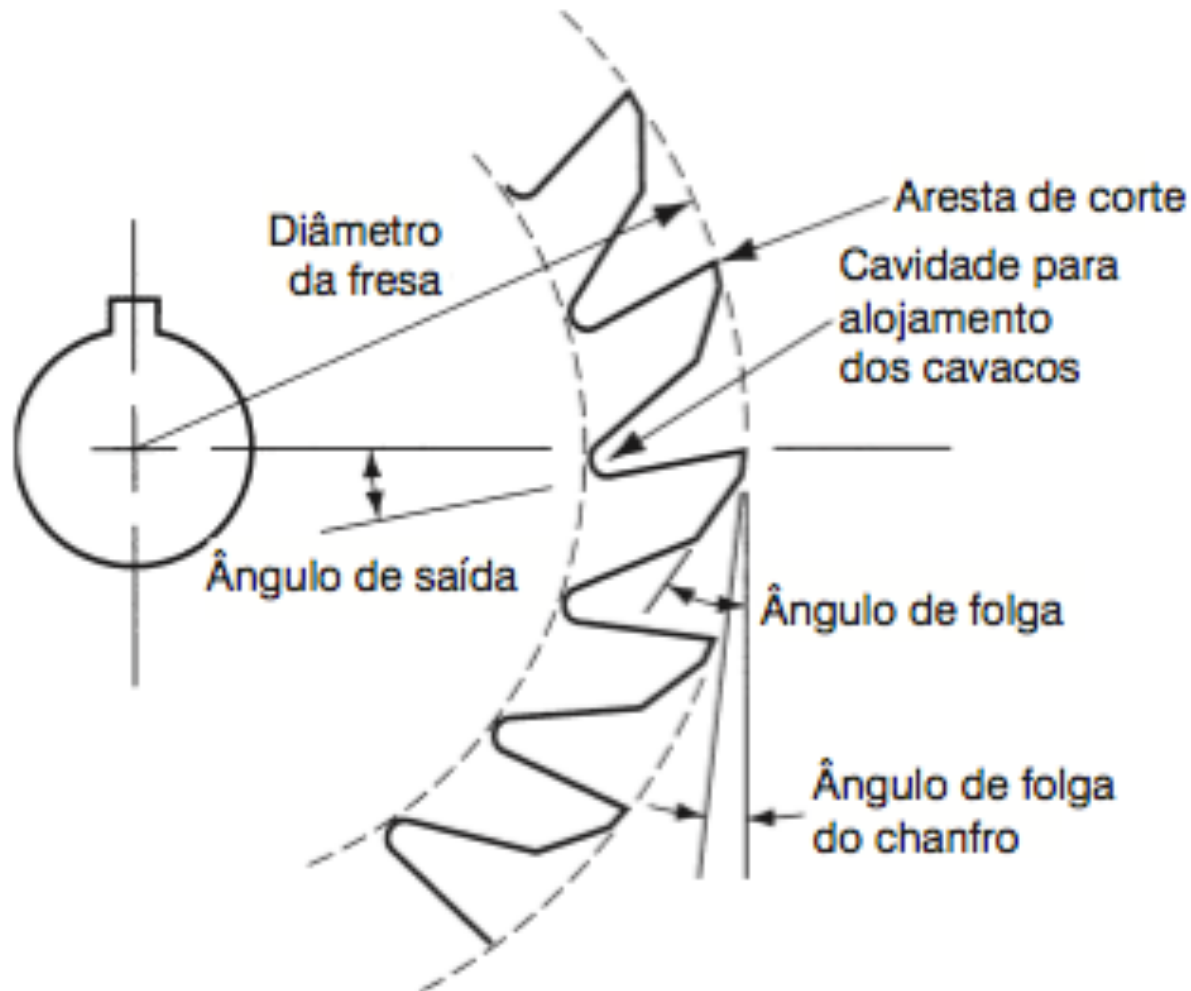


FIGURA 17.11 Elementos da geometria de uma fresa tangencial com 18 dentes. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

Fresas - Geometria

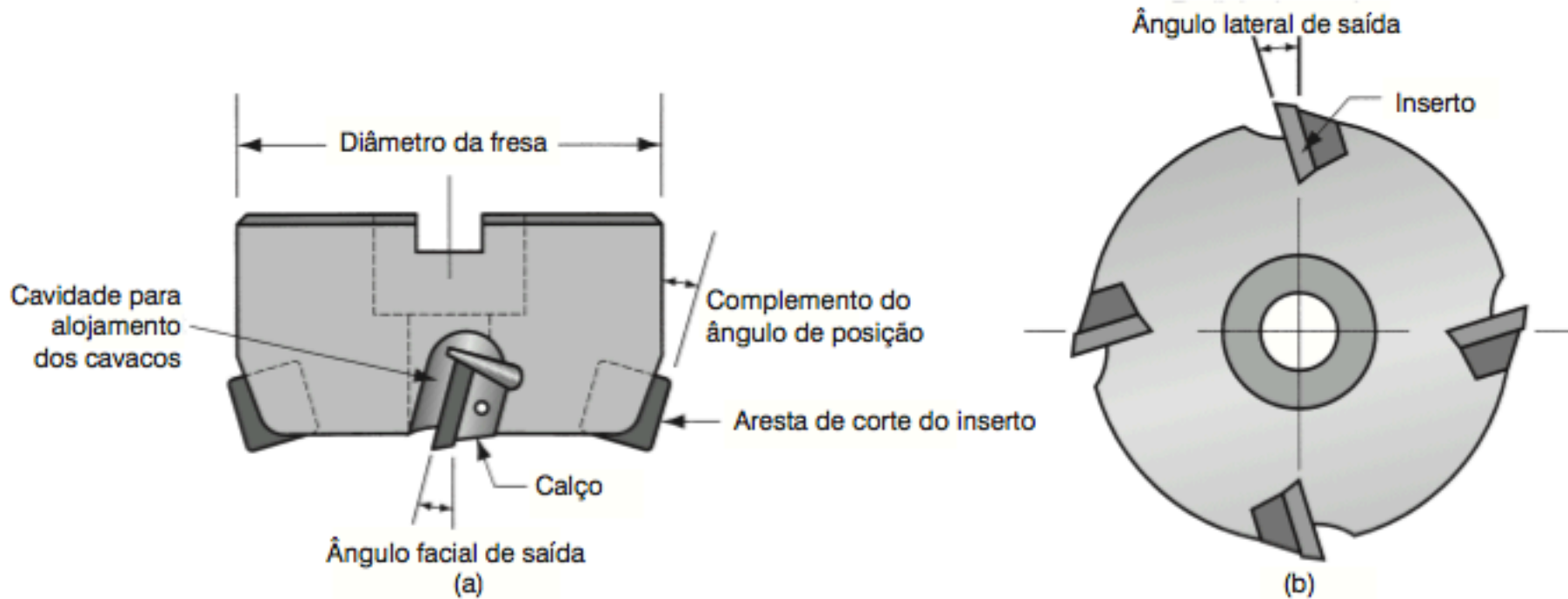
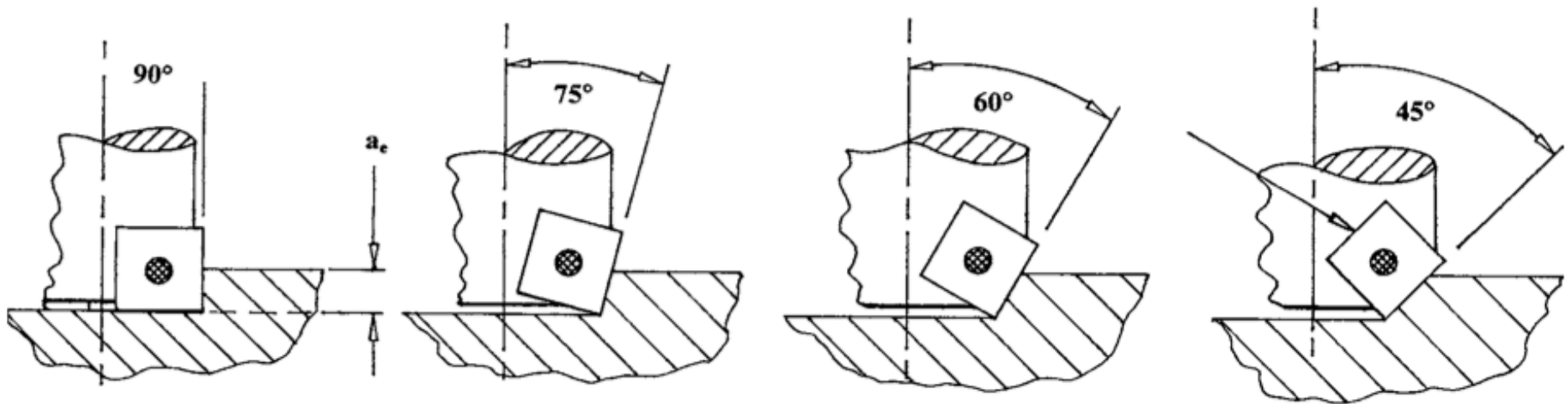
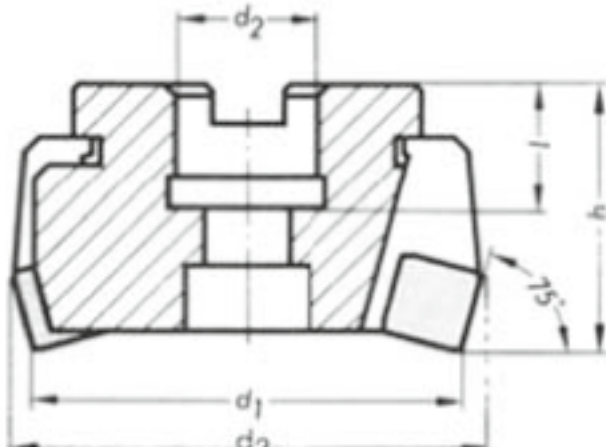


FIGURA 17.12 Elementos da geometria da ferramenta de uma fresa de facear com quatro dentes: (a) vista lateral e (b) vista inferior. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

Fresas - Geometria

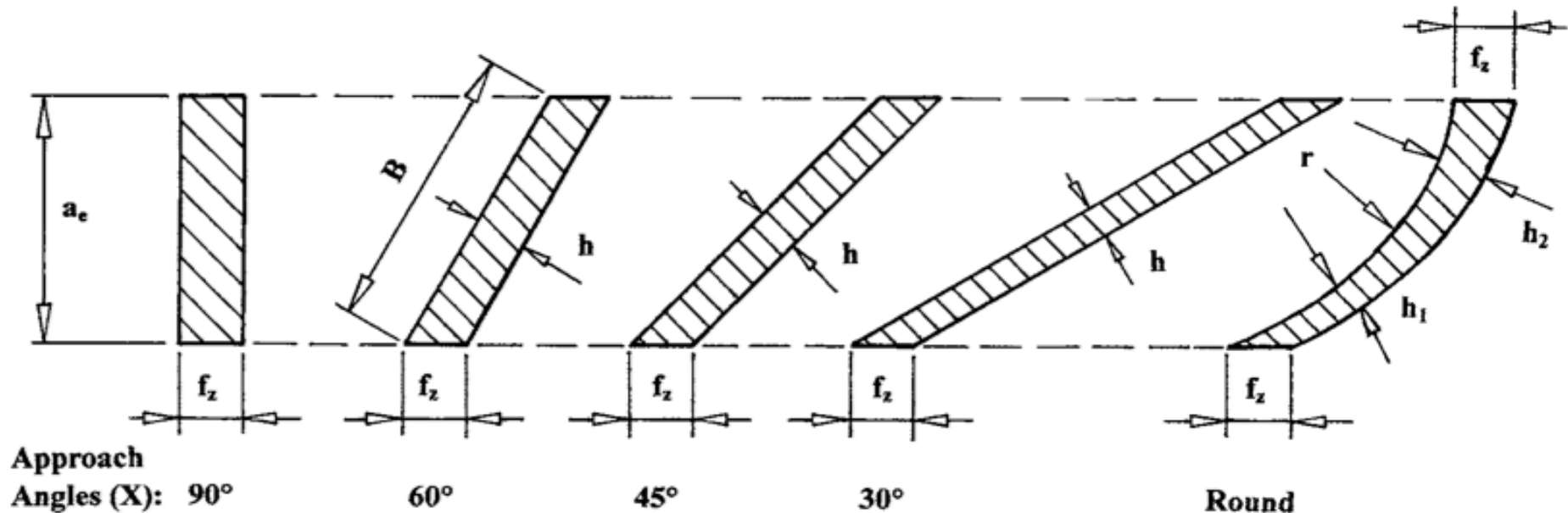


GENERAL MILLING:

Área de Corte no Fresamento

h varia com o ângulo de posição (como no torneamento)

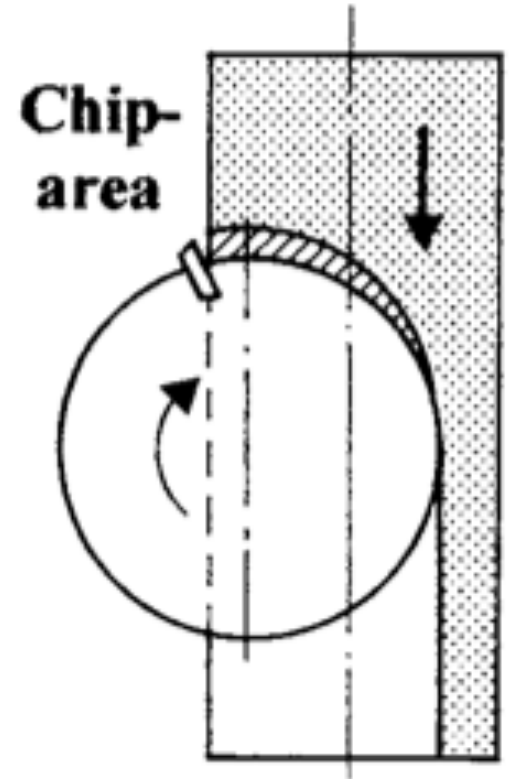
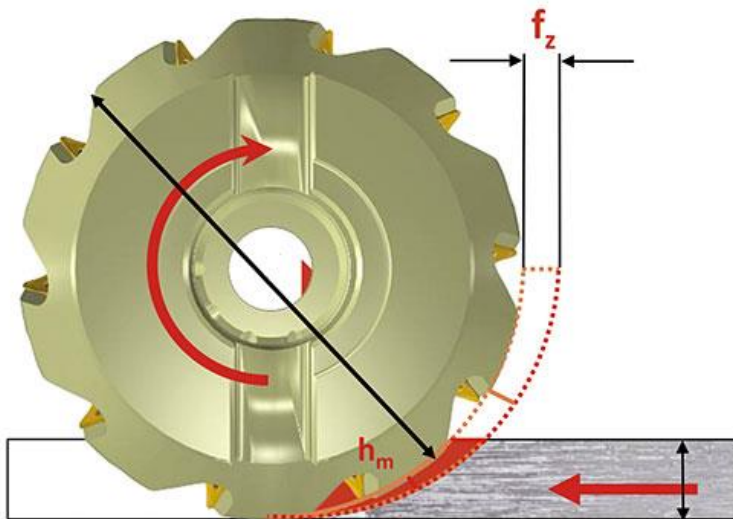
(b) Chip shapes for various insert approach angles and geometries.



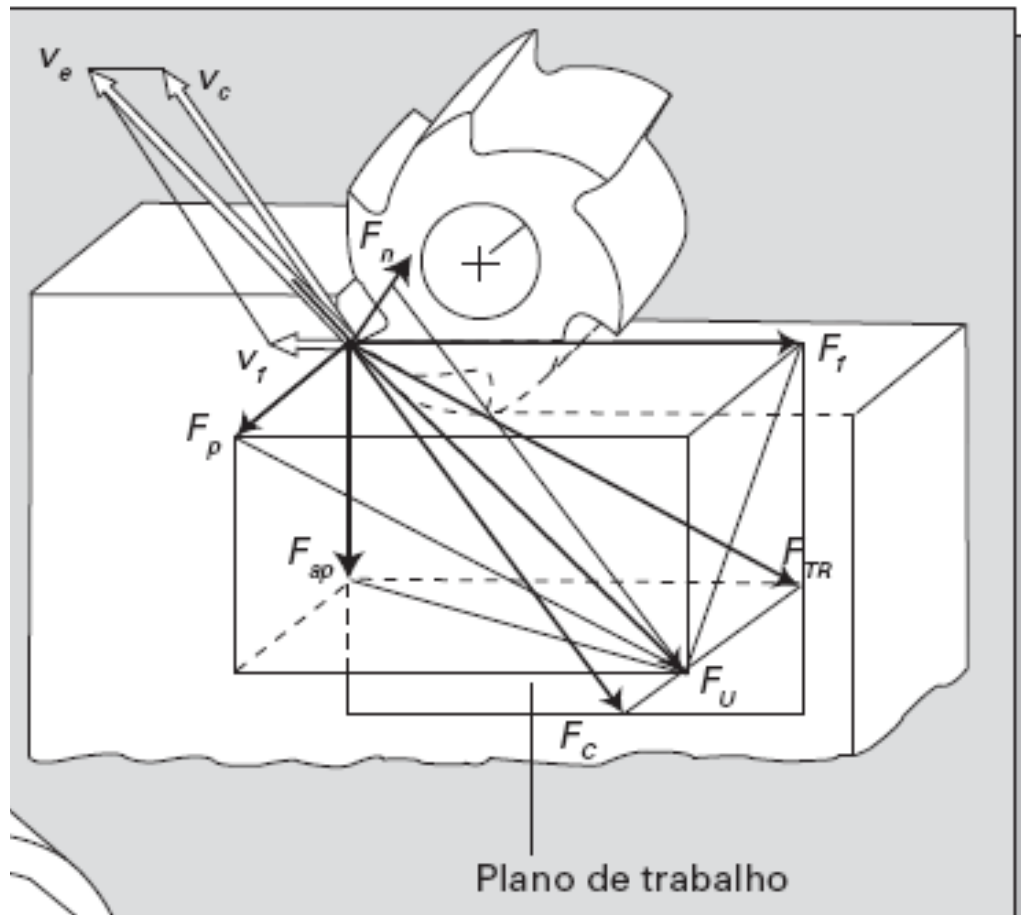
Área de Corte no Fresamento

h varia com a rotação da fresa!

$$h = f_z \cdot \text{Sen}(\text{ang. Rotacao})$$

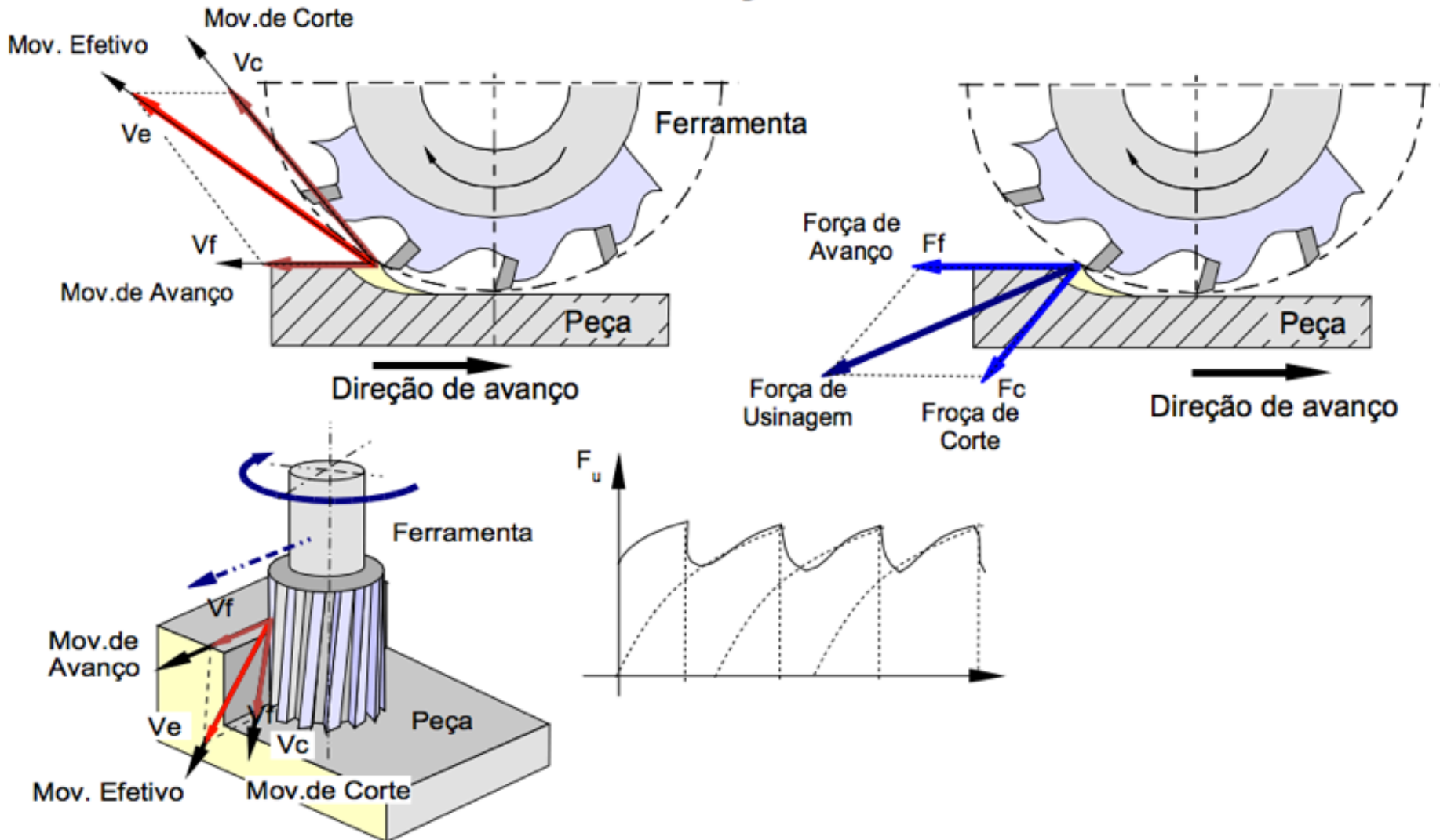


Forças no Fresamento (direções)



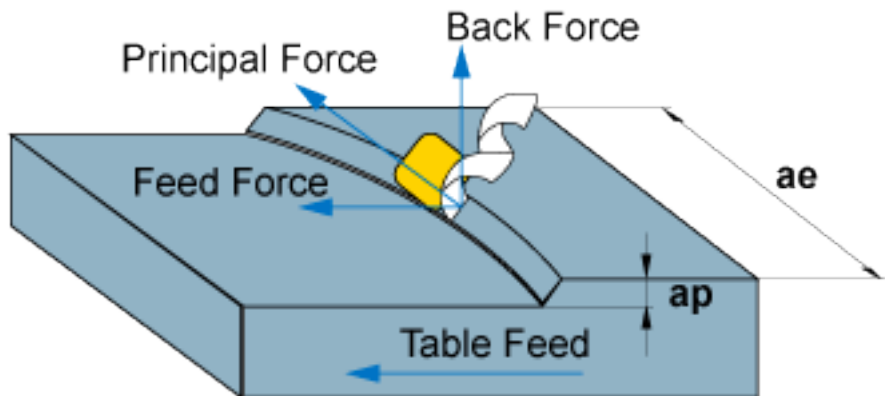
Forças no Fresamento

Movimentos e Forças no Fresamento



Força de Usinagem no Fresamento

Variação da Força com a Área



Three Cutting Resistance Forces in Milling

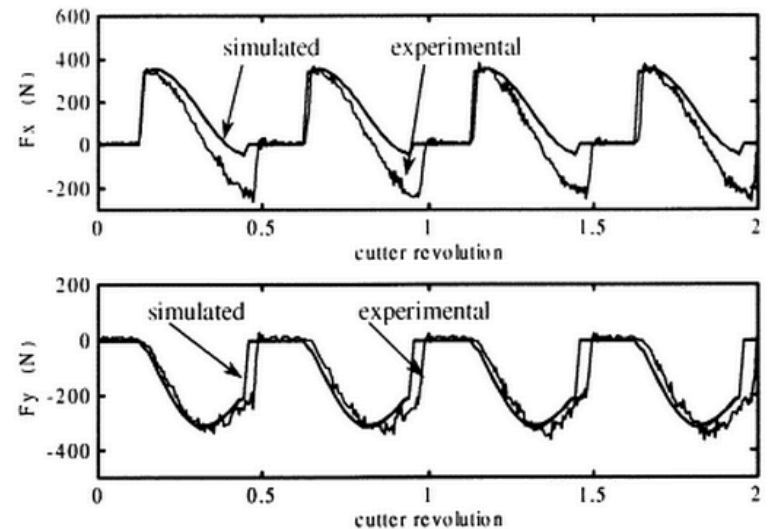
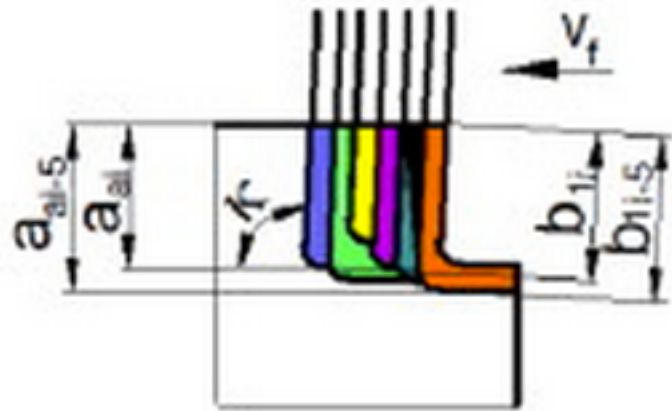


Fig. 8.

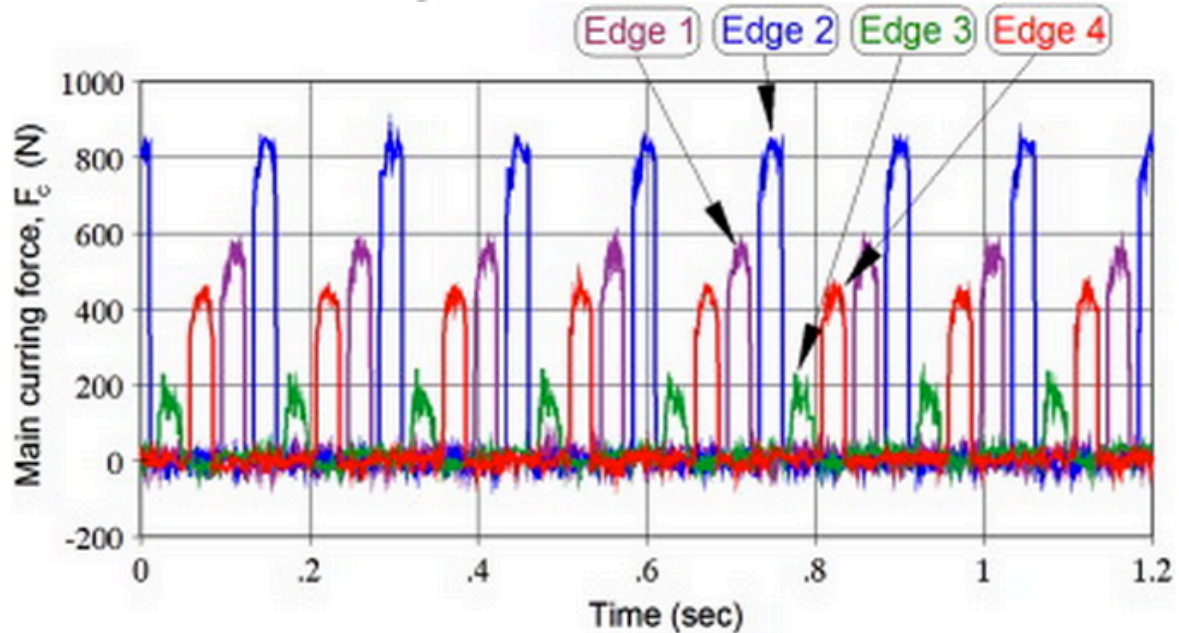
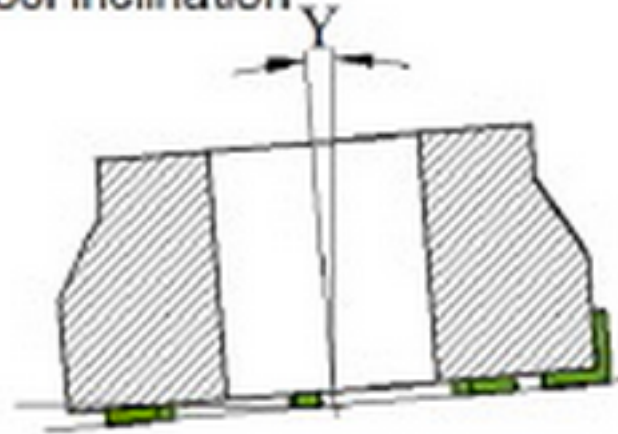
Experimental and simulated result (spindle speed=300 rpm, feedrate=60 mm/min, tooth number=2).

Fresa Desbalanceada

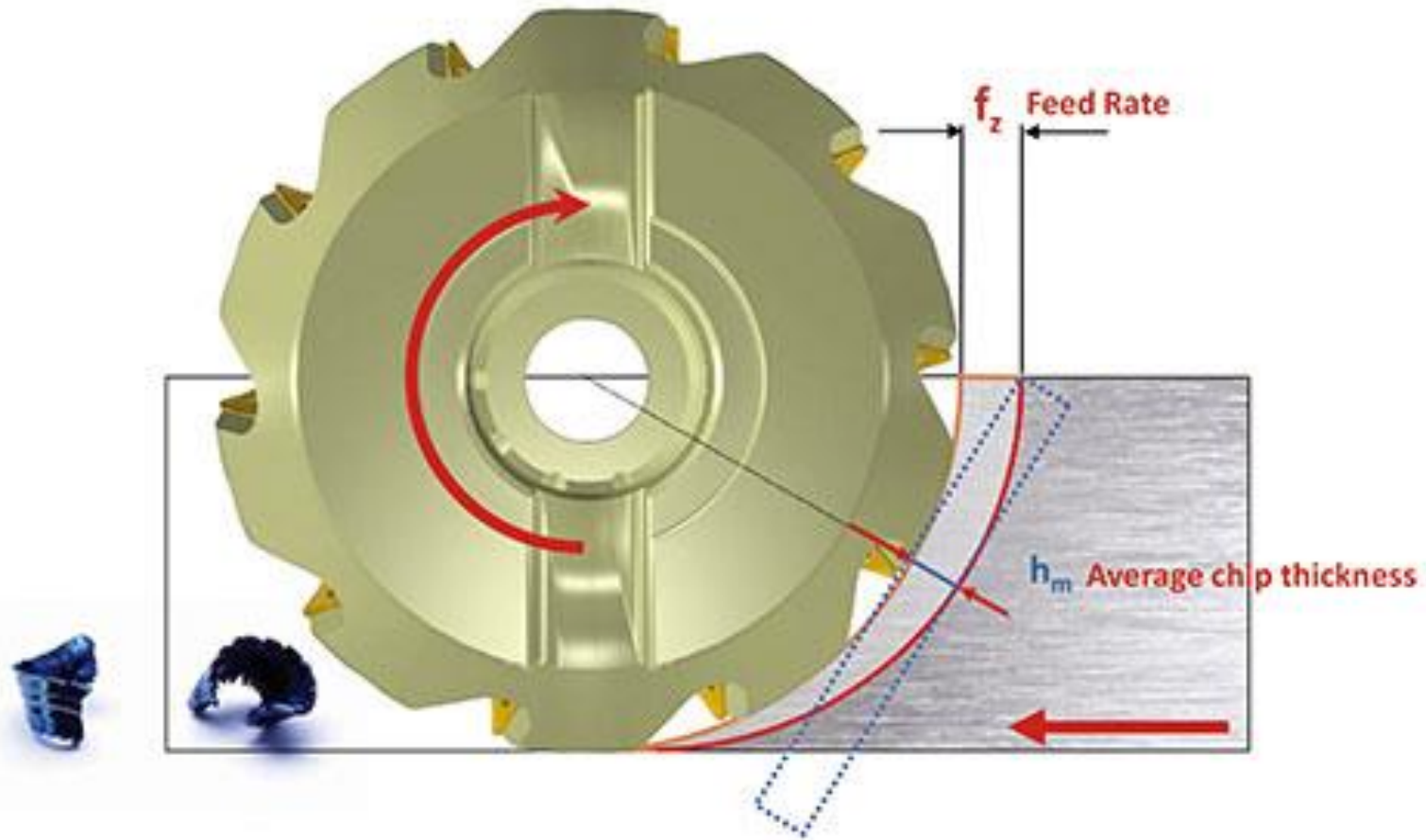
Errors in axial edge position



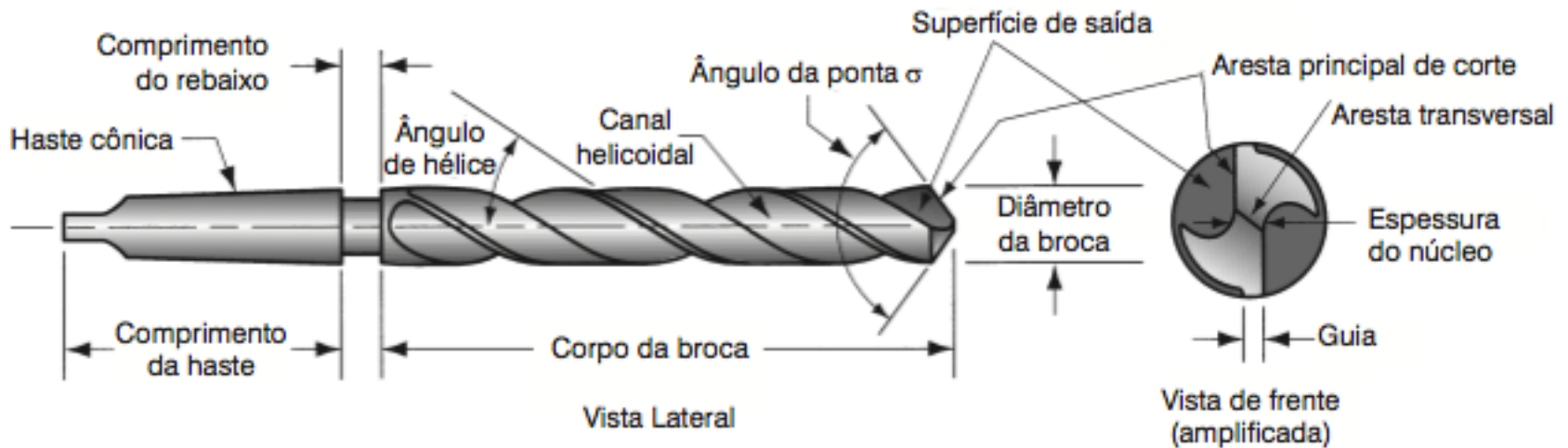
Tool inclination



Espessura do cavaco média



Broca – Geometria da Ferramenta



Onde está o ângulo de saída e de folga?
Qual é o ângulo de posição?

Ferramenta - Furação

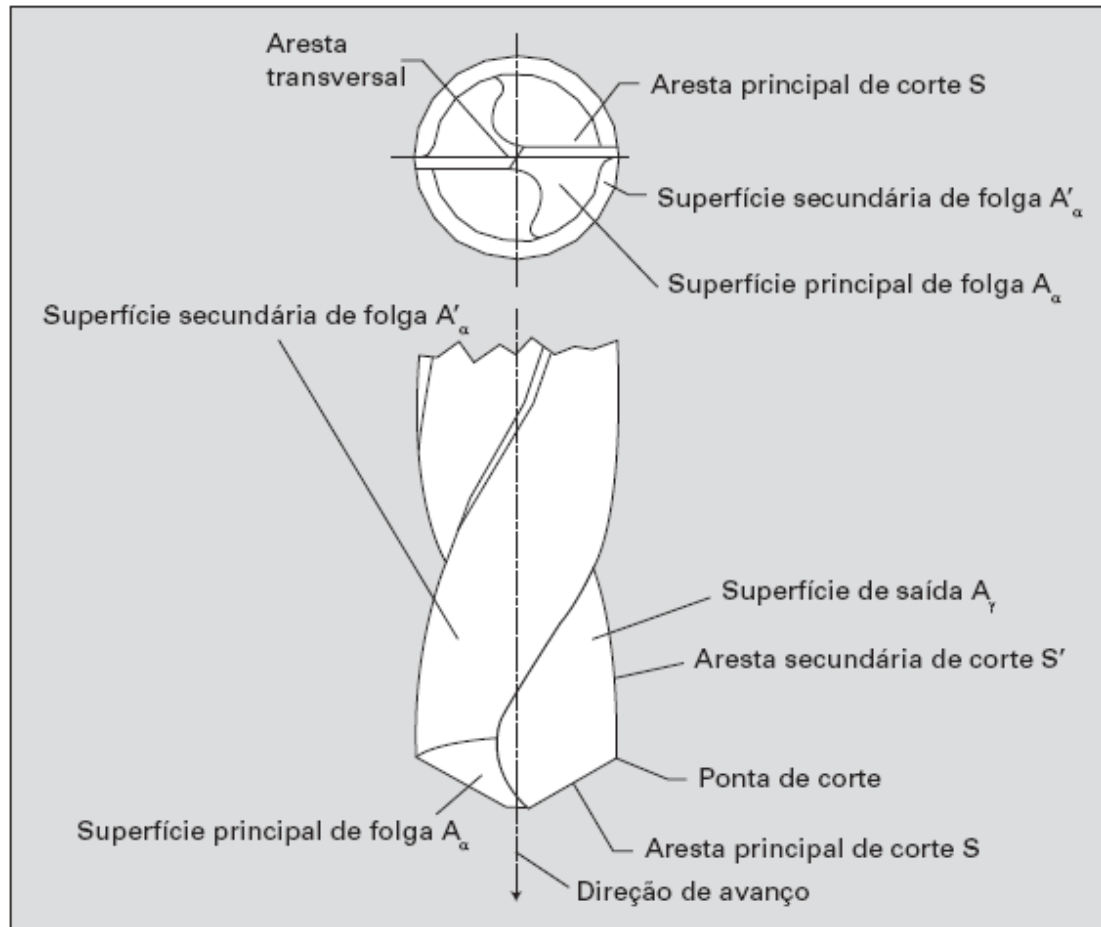
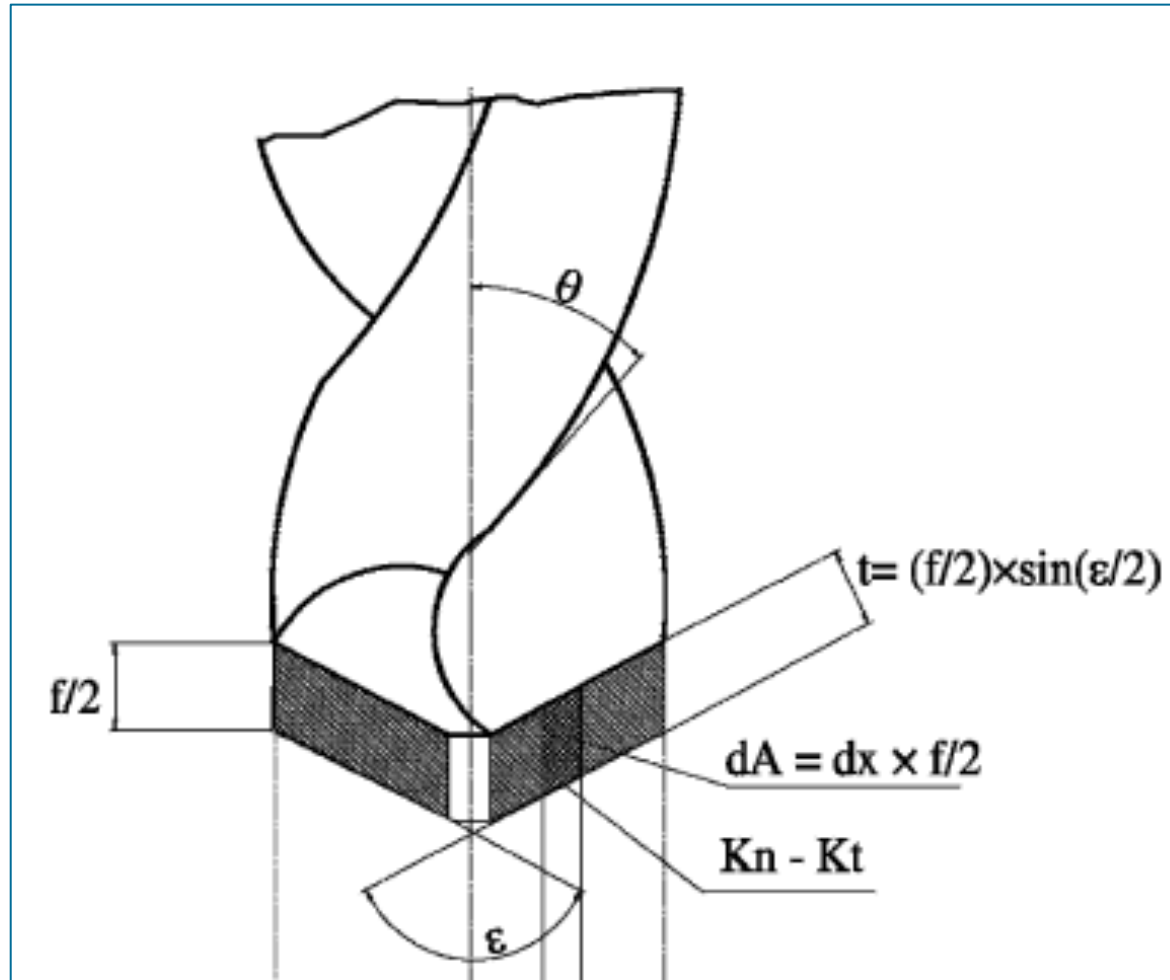
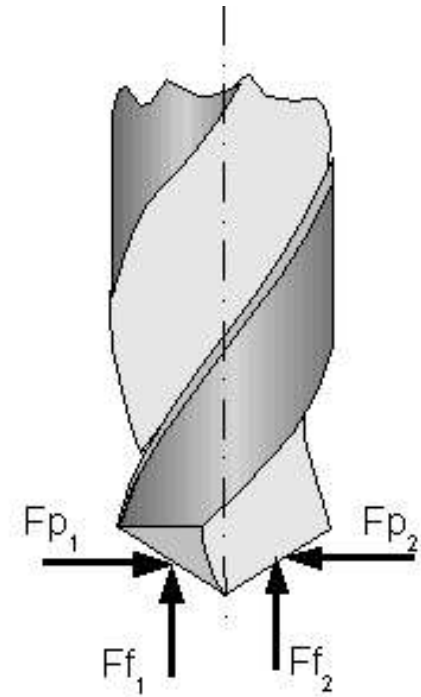
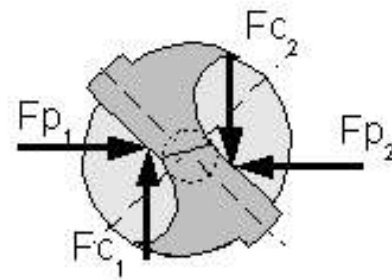
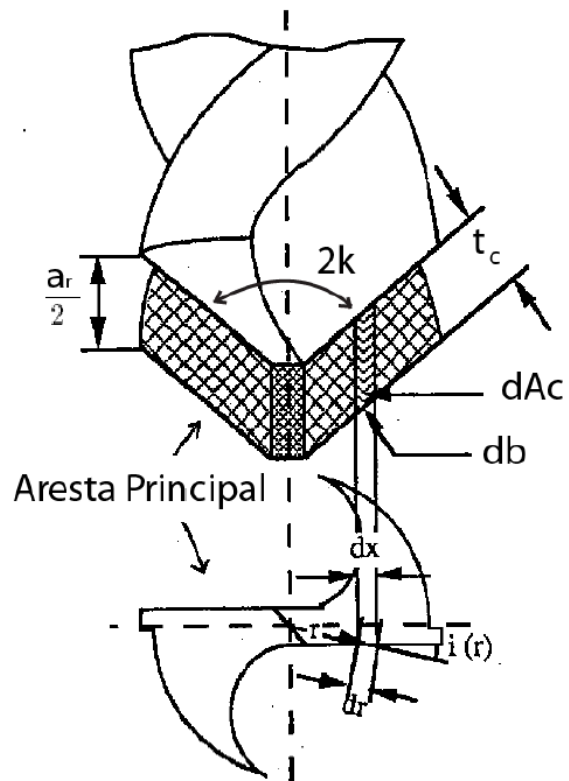


FIGURA 2.4 Elementos da cunha de corte de uma broca helicoidal.

Área de Corte na Furação

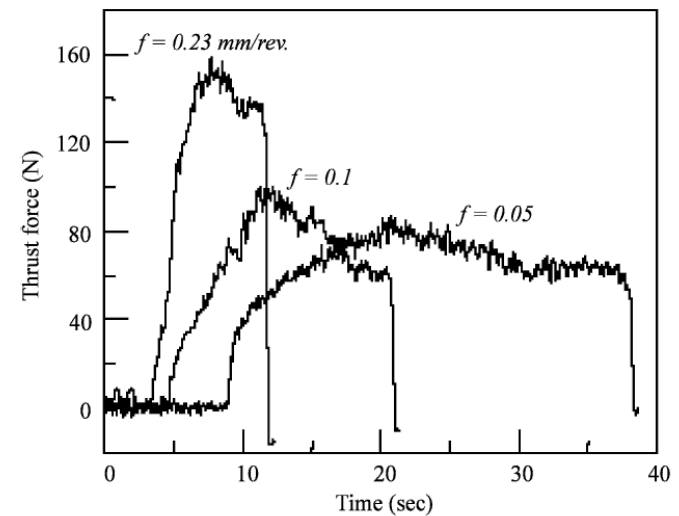
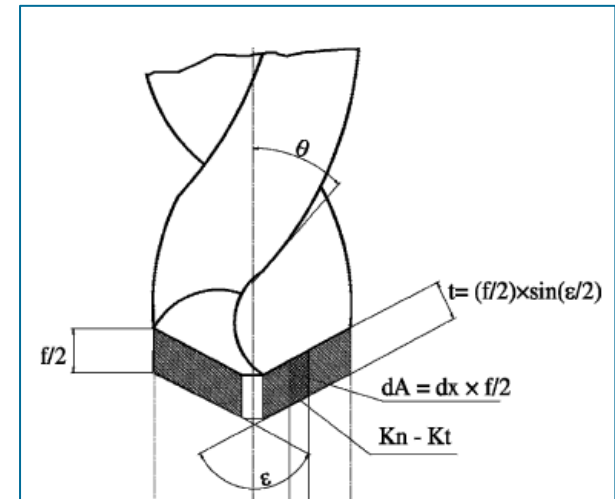
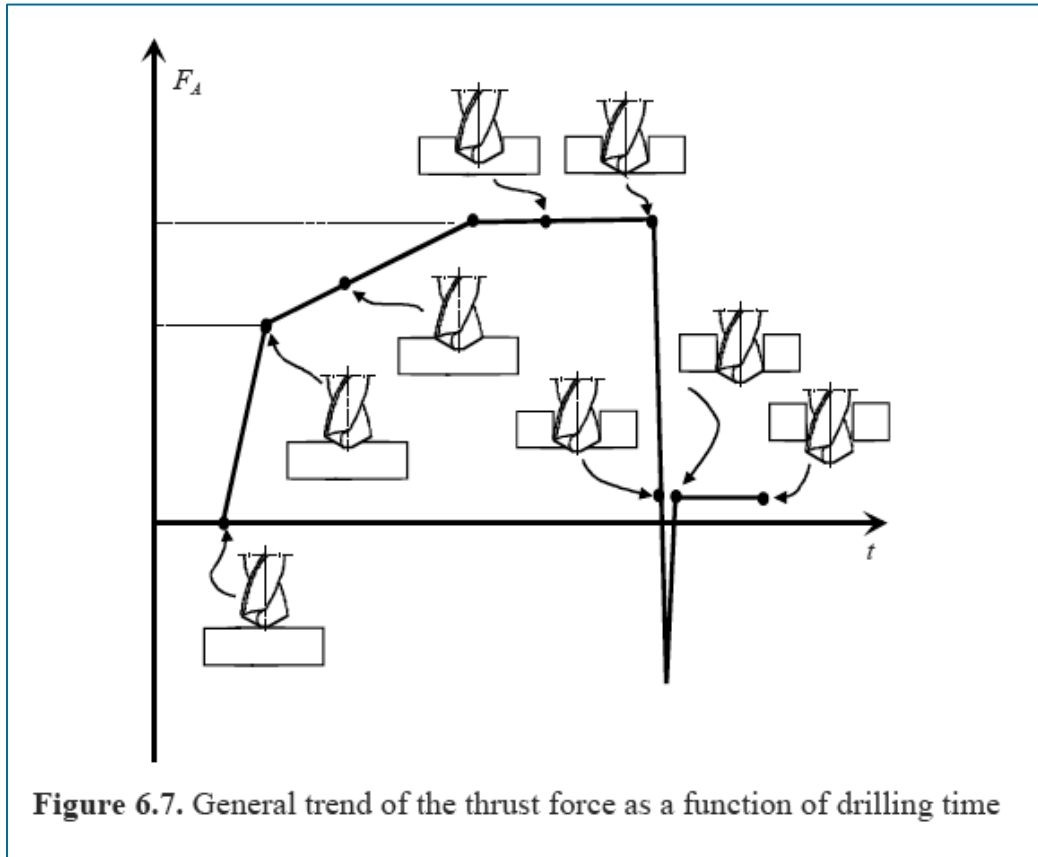


Forças na Furação

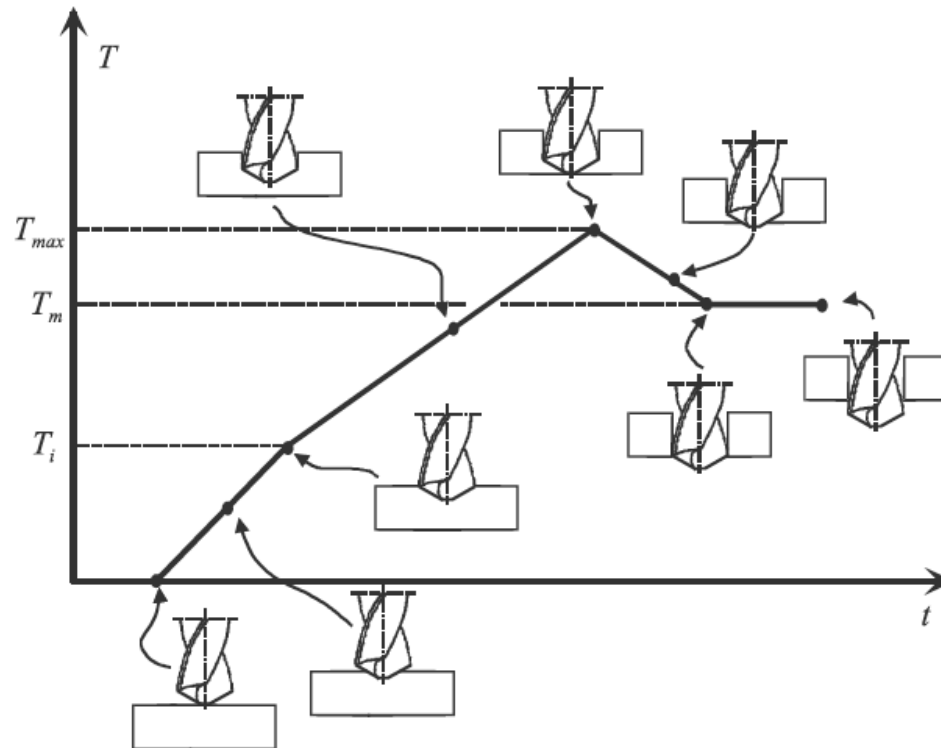


Forças de Usinagem na Furação

Força de avanço

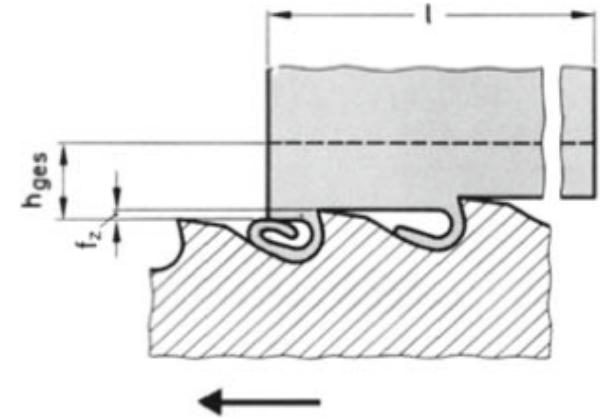
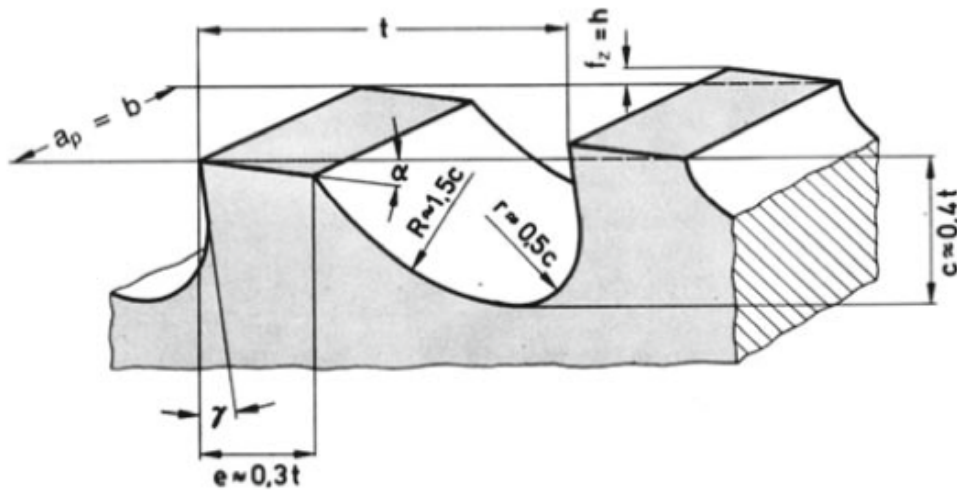


Torque na Furação

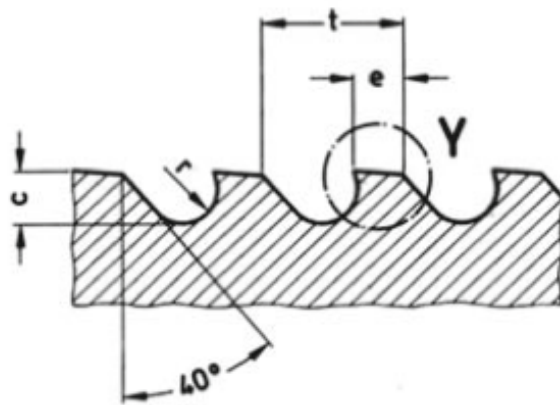


“Machining - Fundamentals and Recent Advances – Davim, J., 2008 – Ed. Springer

Brochamento (ferramenta)



Detail X



Detail Y

Without rake face chamfer

With rake face chamfer

