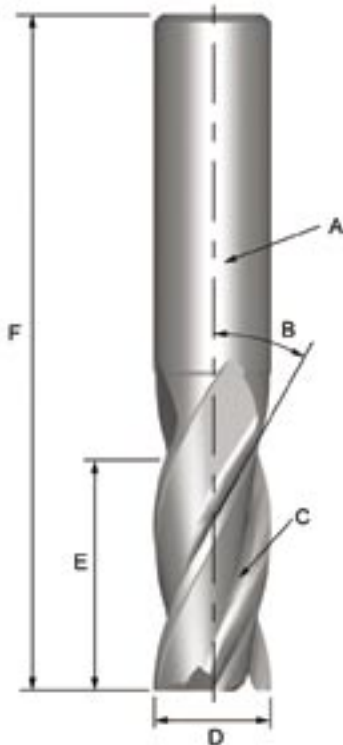
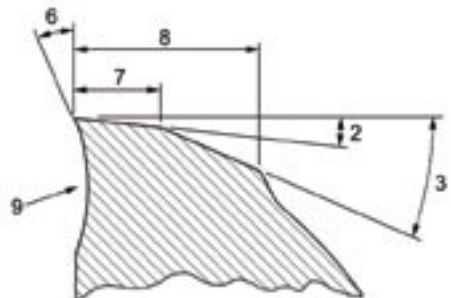
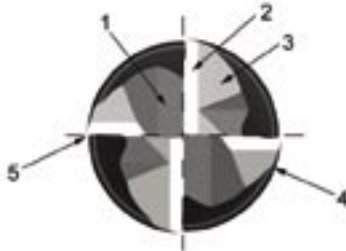


# Fresamento

## NOMENCLATURA



- A Haste
- B Ângulo da Hélice
- C Canal
- D Diâmetro Externo
- E Comprimento de Corte
- F Comprimento Total



- 1 Gash - Rebaixamento
- 2 Ângulo de alívio primário
- 3 Ângulo de alívio secundário
- 4 Dorso
- 5 Aresta de corte

- 6 Ângulo de saída
- 7 Largura do campo de alívio primário
- 8 Largura do campo de alívio secundário
- 9 Face rebaixada

## DICAS GERAIS PARA FRESAMENTO

O fresamento é um processo de gerar superfícies usinadas pela remoção progressiva de uma quantidade pré-determinada de material da peça de trabalho a uma taxa de movimento ou avanço relativamente baixa mediante uma fresa que gira a uma velocidade comparativamente alta. A característica principal do processo de fresamento é que cada aresta de corte da fresa remove a sua parcela do material na forma de cavacos individuais pequenos.

## TIPOS DE FRESAS

As três operações básicas de fresamento são mostradas abaixo: (A) fresamento periférico, (B) fresamento facial e (C) fresamento de topo.







No fresamento periférico (também denominado fresamento de blocos), o eixo de rotação da fresa está paralelo à superfície da peça de trabalho a ser usinada. A fresa tem um número de facas na sua circunferência, cada uma atuando como uma ferramenta de corte individual para fresamento plano. As fresas utilizadas em fresamento periférico podem ter facas retas ou helicoidais gerando uma ação de corte ortogonal ou oblíqua. No fresamento facial, a fresa está montada num fusos com uma rotação do eixo perpendicular à superfície da peça de trabalho. A superfície fresada resulta da ação de arestas de corte localizadas na periferia e na face da fresa.





No fresamento de topo, a fresa geralmente gira num eixo vertical com relação à peça de trabalho. Pode ser inclinada para usinar superfícies cônicas. As arestas cortantes estão localizadas tanto na face terminal da fresa quanto na periferia do corpo da fresa.

# Fresamento

## FRESAS PERIFÉRICAS E FACIAIS

Fresas de Topo e Radial	Fresas de Disco	Fresas de Perfil	
			
<p>Têm arestas cortantes periféricas e mais arestas cortantes numa face. Têm rasgo de chave para fixação no fuso.</p>	<p>Têm arestas de corte nos lados e também na periferia. As facas estão em zig-zag de modo que cada faca alternada corta num lado determinado do rasgo. Isto permite que sejam feitos cortes profundos, pesados.</p>	<p>Nas fresas de perfil as arestas de corte periféricas localizam-se num cone e não num cilindro. Pode ser originado um ângulo simples ou duplo.</p>	

## FRESAS DE TOPO

Fresas de Topo	Fresas de Topo Esférico	Fresas de Topo com Raio	Mini-Fresas
			
<p>Estas fresas de topo têm um ângulo reto na extremidade da fresa.</p>	<p>A forma nos extremos das fresas é uma semi-esfera.</p>	<p>Estas fresas de topo têm um pequeno raio na extremidade em vez de uma aresta em esquadro.</p>	<p>Fresas de topo com diâmetro de corte de até 1 mm.</p>

## SELEÇÃO DA FRESA DE TOPO E DOS PARÂMETROS DE FRESAMENTO

Antes de iniciar um serviço de fresamento devem ser adotadas várias decisões para determinar:

- a fresa de topo mais adequada a ser usada
- a velocidade de corte e a taxa de avanço mais corretas para proporcionar um bom equilíbrio entre a rápida remoção do material e uma longa vida da ferramenta.



Determinação da fresa de topo mais adequada:

- identificar o tipo de fresamento de topo a ser executado:
  1. tipo de fresa de topo
  2. tipo de centro.
- considerar as condições e a idade da máquina-ferramenta.
- selecionar as melhores dimensões da fresa de topo para minimizar as tensões de deflexão e de flexão:-
  1. a rigidez mais elevada
  2. o maior diâmetro da fresa
  3. evitar uma projeção excessiva da ferramenta com relação ao porta-ferramenta.
- escolher a quantidade de canais
  1. mais canais – espaço diminuído para cavacos – rigidez aumentada – permite avanço da mesa mais rápido
  2. menos canais – espaço aumentado para cavacos – rigidez diminuída – fácil ejeção dos cavacos.

A determinação da velocidade de corte correta e da taxa de avanço só pode ser feita quando forem conhecidos os seguintes fatores:

- tipo de material a ser usinado
- material da fresa de topo
- potência disponível no fuso
- tipo de acabamento.

**CARACTERÍSTICAS DA FRESA DE TOPO – ARESTAS DE CORTE NA EXTREMIDADE**  
As arestas de corte na extremidade dividem-se em:

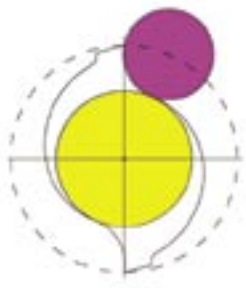
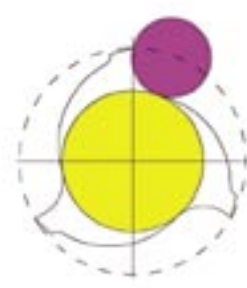
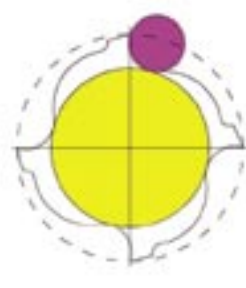
Tipo com corte sobre o centro	Tipo sem corte sobre o centro
	
<p>Permite operações de furação e mergulho.</p> <p>Duas arestas atingem o centro no caso de um número par de canais (p.ex. 2-4-6,etc). Somente uma aresta no caso de número ímpar (p.ex.3-5, etc)</p>	<p>Usado somente para perfilamento e rasgos abertos.</p> <p>Permite a reafiação entre centros.</p>

# Fresamento

## CARACTERÍSTICAS DA FRESA DE TOPO – ESCOLHA DO NÚMERO DE CANAIS

O número de canais é determinado por:

- Material a ser fresado
- Dimensão da peça de trabalho
- Condições do fresamento

2 Canais	3 Canais	4 Canais(ou multicanais)
		
Resistência à flexão		Alta
Baixa	←————→	
Espaço para cavaco		Pequeno
Grande	←————→	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaço grande para cavacos</li> <li>• Ejeção fácil de cavacos.</li> <li>• Boa para fresar rasgos.</li> <li>• Boa para fresamento pesado</li> <li>• Menor rigidez devido à pequena área transversal.</li> <li>• Acabamento da superfície de qualidade inferior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaço para cavacos quase tão grande como para 2 canais.</li> <li>• Área transversal maior – maior rigidez que com 2 canais.</li> <li>• Melhor acabamento da superfície.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rigidez mais elevada.</li> <li>• Maior área transversal – pequeno espaço para cavacos.</li> <li>• Produz melhor acabamento da superfície.</li> <li>• Recomendada para perfilar, fresamento lateral e rasgos pouco profundos.</li> </ul>

## CARACTERÍSTICAS DA FRESA DE TOPO – ÂNGULO DA HÉLICE



O aumento do número dos canais torna a carga nas facas individuais mais homogênea, e em consequência, permite um acabamento melhor. Porém com um ângulo de hélice elevado, a carga (FV) ao longo do eixo da fresa também é aumentada. Uma FV elevada pode causar:

- Problema de carga nos mancais
- Deslocamento da fresa ao longo do eixo do fuso. Para evitar este problema é necessário utilizar hastes Weldon ou parafusadas.




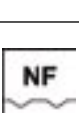


## CARACTERÍSTICAS DA FRESA DE TOPO – TIPO DE FRESA



A norma DIN 1836 define os diferentes tipos de perfis das fresas:

	Tipo de fresa para aços, resistência baixa até alta.
	Tipo de fresa para materiais maleáveis moles.

A norma DIN 1836 também define os quebra-cavacos:

	<b>Quebra-cavacos arredondado de passo grosso</b> Adequado para corte pesado em aços e materiais não-ferrosos com resistência à tração de até 800 N/mm <sup>2</sup> .
	<b>Quebra-cavacos arredondado de passo fino</b> Adequado para fresamento de desbaste em aços duros e materiais não-ferrosos com resistência à tração acima de 800 N/mm <sup>2</sup> .
	<b>Quebra-cavacos para semi-acabamento</b> Adequado para desbaste de ligas leves e para o semi-acabamento de aços e materiais não ferrosos.
	<b>Quebra-cavacos de perfil plano para passo grosso</b> Tem a mesma aplicação que o NR, obtendo, porém, uma boa superfície de acabamento e por este motivo é colocado entre desbaste e acabamento, também denominado semi-acabamento.

A Dormer tem introduzido dois tipos de fresas de desbaste com **quebra-cavacos assimétricos**:

	Quebra cavacos de perfil arredondado assimétrico para passo fino. A assimetria do quebra-cavacos reduz da vibração e aumenta a vida da ferramenta.
	Quebra-cavacos de perfil arredondado assimétrico para passo grosso. A assimetria do quebra-cavacos reduz da vibração e aumenta a vida da ferramenta.

## TIPOS DE FRESAMENTO DE TOPO

Há muitas diferentes operações que estão compreendidas sob o termo “fresamento de topo”. Para cada operação há um tipo ótimo de fresa. Três parâmetros influenciam a escolha do tipo de fresa:

- Direção de utilização da fresa
- MRR (Taxa de Remoção do Material)
- Aplicação

# Fresamento

## DIREÇÃO DE UTILIZAÇÃO DA FRESA

Pode-se desdobrar a faixa das fresas em relação às possíveis direções de operação sobre a superfície da peça de trabalho. Há três tipos diferentes:

3 Direções	2 Direções	1 Direção

Note que a direção axial só é possível com as fresas de topo com corte central.

## MRR (TAXA DE REMOÇÃO DE MATERIAL) Q

Podemos calcular a taxa de remoção de material Q como o volume de material removido dividido pelo tempo gasto para removê-lo. O volume removido é o volume inicial da peça de trabalho menos o volume final. O tempo de corte é o tempo necessário para o deslocamento da ferramenta ao longo da peça de trabalho. Este parâmetro tem uma forte influência sobre o grau do acabamento da peça de trabalho.

$$Q = \frac{a_p * a_e * v_f}{1000} \quad \begin{matrix} Q = \text{MRR (cm}^3/\text{min)} \\ a_p = \text{profundidade axial (mm)} \end{matrix} \quad \begin{matrix} a_e = \text{profundidade radial (mm)} \\ v_f = \text{velocidade do avanço mm/min} \end{matrix}$$

## APLICAÇÕES

A MRR e as aplicações estão fortemente relacionadas. Para cada diferente aplicação temos um diferente MRR que aumenta com a área da fresa que age sobre a peça de trabalho. O Catálogo Dormer mais recente foi elaborado com ícones simples que mostram as diversas aplicações.

Fresamento lateral	Fresamento facial	Fres. de ranhuras	Fres. de mergulho	Fres. de rampas
A profundidade radial do corte deverá ser inferior a 0.25 do diâmetro da fresa de topo.	A profundidade radial do corte não deverá ser mais de 0.9 do diâmetro, a profundidade axial do corte menor que 0.1 do diâmetro.	Usinagem de um rasgo para chaveta. A profundidade radial do corte é igual ao diâmetro da fresa de topo.	Só é possível furar a peça de trabalho com uma fresa de topo com corte central. Nesta operação o avanço deverá ser dividido por 2.	Entradas tanto axial quanto radial na peça de trabalho.



## P9 Ranhurar

É importante destacar a capacidade de executar rasgos com tolerância P9 (veja tabela na página 29 do capítulo Informações Gerais). Nossas fresas aptas para ranhurar com esta tolerância têm o ícone P9.

## FRESAMENTO - CONVENCIONAL X ASCENDENTE

A ação de corte ocorre tanto por fresamento convencional como por fresamento em subida.



Fresamento Convencional



Fresamento Ascendente

## FRESAMENTO CONVENCIONAL

No fresamento convencional, a maior espessura do cavaco é no final do corte. O movimento de avanço é oposto ao da rotação da ferramenta.

### Vantagens:

- A operação da faca não é uma função de características da superfície da peça de trabalho.
- Contaminações ou escamas na superfície não afetam a vida da ferramenta.
- O processo de corte é suave, desde que as facas da fresa estejam bem afiadas.

### Desvantagens:

- A ferramenta tem a tendência de trepidar.
- A peça de trabalho tem a tendência de ser puxada para cima, sendo importante uma fixação adequada.
- Desgaste mais rápido da ferramenta do que no fresamento ascendente.
- Os cavacos caem na frente da fresa – disposição dos cavacos é difícil.
- A força para cima tende a levantar a peça de trabalho.
- É necessária uma potência maior devido ao atrito aumentado ocasionado pelo começo do cavaco na espessura mínima.
- O acabamento da superfície é prejudicado devido aos cavacos serem carregados para cima pela aresta de corte.



# Fresamento

## FRESAMENTO ASCENDENTE

No fresamento ascendente o corte inicia-se na localização mais grossa do cavaco. O deslocamento do avanço e a rotação da ferramenta têm a mesma direção.

### Vantagens:

- O componente para baixo da força de corte mantém a peça de trabalho no seu lugar, especialmente para peças finas.
- Disposição dos cavacos mais fácil – os cavacos são removidos por detrás da fresa.
- Menor desgaste – a vida da ferramenta aumenta em até 50%.
- Melhor acabamento da superfície – é menos provável que os cavacos sejam carregados pelos dentes.
- Necessita-se potência menor – Pode ser utilizada fresa com ângulo de incidência elevado.
- Este fresamento exerce uma força para baixo na peça de trabalho – dispositivos de fixação simples e mais econômicos.

### Desvantagens:

- Devido às elevadas forças de impacto que resultam quando as facas atingem a peça de trabalho, esta operação exige uma montagem rígida e se deve eliminar o contra golpe do mecanismo do avanço da mesa.
- Este fresamento não é adequado para usinar peças que tenham escamas superficiais, tais como os metais trabalhados a quente, forjados e fundidos. As escamas são duras e abrasivas, e causam desgaste excessivo e danos às facas da fresa, reduzindo assim a vida da ferramenta.

## FRESAS DE TOPO COM PONTA ESFÉRICA

Uma fresa de topo com ponta redonda, também conhecida como fresa de topo esférica, tem uma semi-esfera na extremidade da ferramenta. As fresas de topo com ponta esférica são usadas extensamente na usinagem de modelos, moldes, e em peças de trabalho com superfícies complexas nas indústrias automotiva, aeroespacial e de defesa.

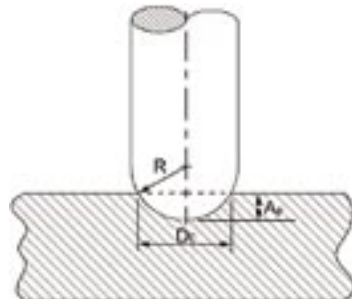
O diâmetro operacional é o fator principal usado no cálculo da velocidade necessária no fuso. O diâmetro operacional é definido como o diâmetro real da fresa na linha da profundidade de corte axial. O diâmetro operacional é afetado por dois parâmetros: o diâmetro da ferramenta e a profundidade axial do corte.

$$D_E = 2 * \sqrt{R^2 - (R - A_p)^2}$$

$D_E$  = Diâmetro operacional

$R$  = Raio da ferramenta

$A_p$  = Profundidade Axial do corte



O diâmetro operacional substitui o diâmetro da fresa para o cálculo da velocidade de corte efetiva  $V_c$  para o fresamento com ponta esférica. A fórmula é:

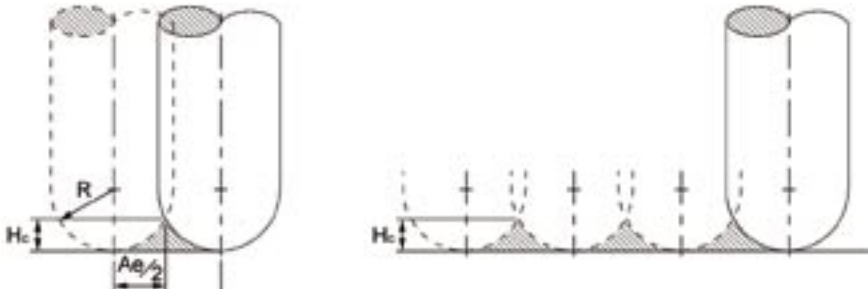
$$V_c = \frac{\pi * D_E * n}{1000}$$

$V_c$  = Velocidade de corte (m/min)

$D_E$  = Diâmetro operacional (mm)

$n$  = Velocidade de rotação (rpm)

Quando uma fresa com a extremidade não-plana, tal como uma fresa com ponta esférica, é utilizada para cortar uma superfície num padrão em zig-zag, cria-se uma faixa não cortada entre os dois passos de corte. A altura destas faixas indesejadas, é chamada de altura da cúspide.



A altura da cúspide pode ser calculada

$$H_c = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{Ae}{2}\right)^2}$$

OU

$$Ae = 2 \sqrt{R^2 - (R - H_c)^2}$$

$H_c$  = Altura de cúspide

$R$  = Raio da ponta da ferramenta

$Ae$  = Valor da superposição entre dois passos de corte

A correlação entre  $H_c$  e  $R_A$  (rugosidade da superfície) é aproximadamente:

$H_c$ ( $\mu\text{m}$ )	0,2	0,4	0,7	1,25	2,2	4	8	12,5	25	32	50	63	100
$R_A$ ( $\mu\text{m}$ )	0,03	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	8	12,5	16	25

$R_A$  é aprox. 25 % de  $H_c$

# Fresamento

## FRESAS DE TOPO COM PONTA ESFÉRICA EM AÇOS TEMPERADOS

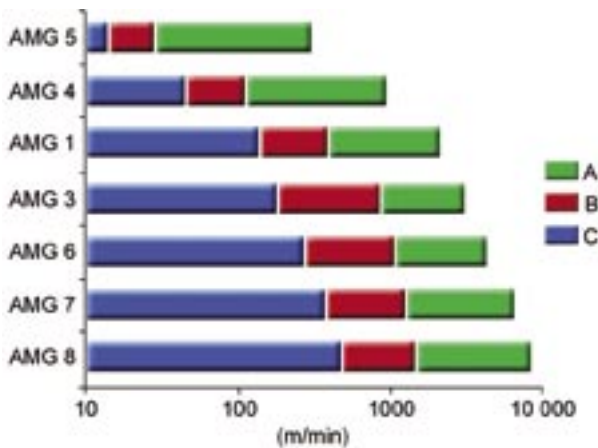
As orientações seguintes podem ser utilizadas para a profundidade axial na usinagem de aço temperado.

Dureza (HRC)	Profundidade Axial = $A_p$
$30 \leq 40$	$0,10 \times D$
$40 \leq 50$	$0,05 \times D$
$50 \leq 60$	$0,04 \times D$

## USINAGEM EM ALTA VELOCIDADE

A Usinagem em Alta Velocidade (HSM) pode ser definida em diversos modos. Com relação às velocidades de corte atingíveis, sugere-se que a operação com velocidades de corte significativamente mais elevadas que as utilizadas tipicamente para um determinado material sejam denominadas HSM.

A = Faixa HSM, B = Faixa de Transição, C = Faixa Normal



## DEFINIÇÃO DE HSM

A uma determinada velocidade de corte (5-10 vezes mais alta que na usinagem convencional), a temperatura de remoção dos cavacos na aresta de corte começa a diminuir.

## VANTAGENS DA HSM

<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização aumentada da máquina-ferramenta</li> <li>Melhor qualidade das peças</li> <li>Tempo de usinagem reduzido</li> <li>Mão de obra reduzida</li> <li>Custos reduzidos</li> <li>Baixa temperatura da ferramenta</li> <li>Desgaste minimizado da ferramenta em altas velocidades</li> <li>Utilização de menos ferramentas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forças de corte são baixas (devido à carga de cavacos reduzida)</li> <li>Necessidade de potência baixa e rigidez baixa</li> <li>Menor deflexão das ferramentas</li> <li>Obtém-se melhor precisão e acabamento</li> <li>Capacidade para usinar espessuras finas</li> <li>Tempo reduzido na seqüência do processo</li> <li>Possibilidade de maior estabilidade contra força de corte com vibrações</li> </ul>
--	--

## ESTRATÉGIAS NO FRESAMENTO

### CORREÇÃO DE AVANÇOS QUANDO DO FRESAMENTO DE CONTORNOS INTERNOS E EXTERNOS

Contorno interno	Contorno externo
$v_{f\,prog} = v_f * \frac{R2 - R}{R2}$	$v_{f\,prog} = v_f * \frac{R2 + R}{R2}$
<p>A = Caminho seguido na peça de trabalho            B = Deslocamento do ponto central da fresa            R = Raio da fresa            R1 = Raio para o caminho de deslocamento da fresa            R2 = Raio a ser fresado na peça de trabalho</p>	

**Importante:** Alguns sistemas de comando de máquinas têm correção automática, a função M.

### AVANÇO TIPO RAMPAS

Recomendações para ângulos de rampa máximos ( $\infty$ ) para fresas de topo HM.

Número de facas da fresa de topo	2	3	$\geq 4$
Para aço e ferro fundido	$\leq 15$	$\leq 10$	$\leq 5$
Para alumínio, cobre e plásticos	$\leq 30$	$\leq 20$	$\leq 10$
Para aços temperados	$\leq 4$	$\leq 3$	$\leq 2$



# Fresamento

## AVANÇO – TIPO ESPIRAL

Recomendações para avanços tipo espiral em diferentes materiais.

Material	ap recomendado
Aço	< 0,10 x D
Alumínio	< 0,20 x D
Aço temperado	< 0,05 X D

$$D_{bmax} = 2 * (D - R)$$

$D_{bmax}$  = Diâmetro máximo possível de furação

D = Diâmetro da fresa

R = Raio da aresta da fresa

Utilizar o diâmetro máximo de furação (próximo de  $D_{bmax}$ ) para boa evacuação dos cavacos.

## MERGULHO AXIAL

Nesta operação, a taxa de avanço deve ser dividida pelo número de facas. É favor considerar que não é aconselhável mergulho axial com uma fresa de topo com mais do que quatro facas.



## SOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO FRESAMENTO

Problema	Causa	Solução
Quebra	Remoção exagerada de material	Diminuir o avanço por faca
	Avanço elevado demais	Diminuir o avanço
	Comprimento dos canais ou total grandes demais	Introduzir mais a haste no porta-ferramenta, utilizar fresa de topo mais curta
Desgaste	Material da peça de trabalho duro demais	Verificar Catálogo ou Selector para ferramenta correta com material de classe mais elevada e/ou revestimento adequado
	Avanço e velocidade inadequados	Verificar Catálogo ou Selector para parâmetros de corte corretos
	Evacuação de cavacos deficientes	Reposicionar as linhas do refrigerante
	Fresamento convencional	Fresamento ascendente
	Hélice de corte inadequada	Ver recomendações no Catálogo/ Selector para alternativa correta de ferramenta
Escamação	Taxa de avanço elevada demais	Reduzir taxa de avanço
	Trepidação	Reduzir as RPM
	Baixa velocidade de corte	Aumentar as RPM
	Fresamento convencional	Fresamento ascendente
	Rigidez da ferramenta insuficiente	Escolher uma ferramenta mais curta e/ou colocar a haste mais para dentro do porta-ferramentas
	Rigidez insuficiente da peça de trabalho	Fixar firmemente a peça de trabalho
Vida útil curta da ferramenta	Material de trabalho tenaz	Verificar Catálogo ou Selector por alternativa correta da ferramenta
	Ângulo de corte e alívio primário inadequados	Mudar para ângulo de corte correto
	Atrito fresa/ peça de trabalho	Utilizar ferramenta revestida
Acabamento da superfície ruim	Avanço rápido demais	Diminuir para avanço correto
	Velocidade baixa demais	Aumentar a velocidade
	Cavacos mordidos	Diminuir a remoção de material
	Desgaste da ferramenta	Substituir ou reafiar a ferramenta
	Acúmulo de cavacos	Mudar para ferramenta com hélice maior
Baixa precisão na peça de trabalho	Cavacos falsos	Aumentar a quantidade do fluido refrigerante
	Deflexão da ferramenta	Escolher uma ferramenta mais curta e/ou colocar a haste mais para dentro do porta-ferramentas
	Número de canais insuficiente	Usar uma ferramenta com mais canais
	Porta-ferramentas solto ou gasto	Consertar ou substituir o porta-ferramenta
	Baixa rigidez do porta-ferramenta	Substituir por porta-ferramenta mais curto/ rígido
Trepidação	Rigidez deficiente do fuso	Utilizar fuso maior
	Avanço e velocidade elevados demais	Corrigir avanço e velocidade com o auxílio do Catálogo/ Selector
	Comprimento dos canais ou total grandes demais	Introduzir mais a haste no porta-ferramenta, usar fresa de topo mais curta
	Corte profundo demais	Diminuir profundidade do corte
	Não há rigidez suficiente (máquina e porta-ferramenta)	Verificar o porta-ferramenta e trocar se necessário
	Rigidez insuficiente da peça de trabalho	Fixar firmemente a peça de trabalho