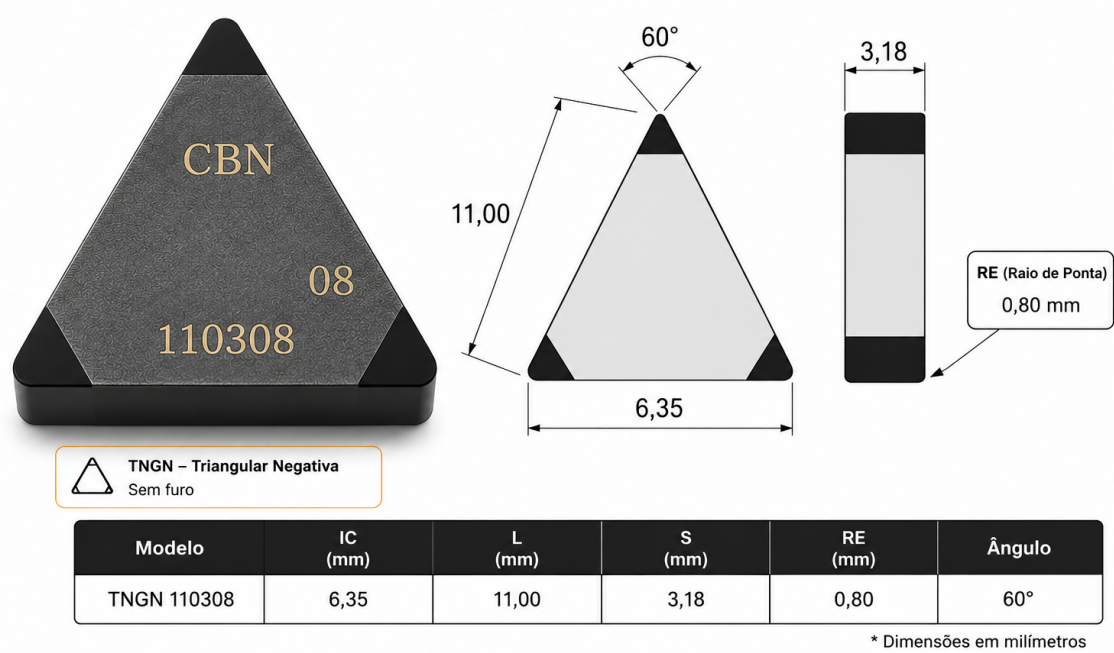


Apostila Técnica de Pastilhas, Insertos e Ferramentas de Usinagem

Estudo geral para seleção, aplicação, leitura de códigos, desgaste, parâmetros de corte, materiais e boas práticas industriais.

CBN TNGN 110308



Objetivo do material

Servir como uma apostila prática para operadores, vendedores técnicos, compradores, programadores CNC e profissionais que precisam entender insertos, pastilhas, fresas, brocas e parâmetros de usinagem sem depender apenas de catálogos comerciais.

Versão 1.0 - material educacional elaborado com base em fontes técnicas de fabricantes e referências de usinagem. Não substitui o catálogo específico do fabricante nem testes práticos no processo real.

Sumário

1. Conceitos fundamentais de usinagem por corte
2. O que são pastilhas e insertos intercambiáveis
3. Materiais de ferramenta: metal duro, cerâmica, CBN, PCD e cermet
4. Grupos ISO P, M, K, N, S e H
5. Como ler códigos de insertos ISO/ANSI
6. Geometria, raio, folga e quebra-cavaco
7. Classes, coberturas e seleção por aplicação
8. Insertos de torneamento
9. Insertos de fresamento, furação, canal, corte e rosca
10. Fresas inteiriças
11. Parâmetros de corte e fórmulas essenciais
12. Desgaste, falhas e diagnóstico
13. Roteiro de consulta técnica
14. Estratégias por material ISO
15. Quebra-cavaco e controle de cavaco
16. Preparação de aresta
17. CBN, cerâmica e PCD
18. Torneamento de aço endurecido
19. Fresamento: estratégia, entrada e saída
20. Furação, corte, canal e rosqueamento
21. Custo por peça e vida econômica
22. Segurança e armazenamento
23. Ficha técnica de aplicação
24. Glossário e referências

1. Conceitos fundamentais de usinagem por corte

Usinagem por corte é o processo de remoção controlada de material por meio de uma aresta cortante. A ferramenta pode ser inteiriça, como uma fresa de metal duro, ou montada com pastilhas intercambiáveis, como em torneamento, fresamento, furação, canal e rosqueamento. O desempenho depende da combinação entre material da peça, material da ferramenta, geometria, fixação, rigidez, refrigeração e parâmetros de corte.

Na prática, a ferramenta deve produzir cavaco de forma estável, controlar temperatura, resistir ao desgaste e manter a dimensão da peça dentro da tolerância. Nenhum inserto é universal: cada escolha é um compromisso entre produtividade, acabamento, vida útil, segurança e custo por peça.



Figura 1 - A seleção correta raramente maximiza todos os objetivos ao mesmo tempo; ela busca o melhor equilíbrio para a operação.

A diferença entre uma aplicação instável e uma aplicação produtiva geralmente está em detalhes: raio de ponta adequado, quebra-cavaco coerente com o avanço, classe compatível com o material, balanço reduzido, porta-ferramenta rígido e parâmetros dentro da janela técnica.

Regra prática

Quando houver problema de vida útil, não troque apenas a classe da pastilha. Verifique também a geometria, a formação de cavaco, a fixação, a refrigeração e a condição da máquina.

2. O que são pastilhas e insertos intercambiáveis

Pastilhas ou insertos intercambiáveis são elementos de corte substituíveis fixados em suportes mecânicos. Em vez de afiar a ferramenta inteira, troca-se ou indexa-se a pastilha. Isso reduz tempo de setup, melhora repetibilidade e permite usar geometrias e classes diferentes no mesmo porta-ferramenta.

Elemento	Função	Impacto no processo
Pastilha / inserto	Aresta de corte removível.	Define vida útil, acabamento, controle de cavaco e produtividade.
Porta-ferramenta	Sustenta e posiciona o inserto.	Influencia rigidez, ângulo de entrada, refrigeração e segurança.
Classe / grade	Material e cobertura do inserto.	Equilibra resistência ao desgaste, tenacidade e estabilidade térmica.
Geometria / quebra-cavaco	Forma da face de saída e preparação da aresta.	Controla cavaco, esforço de corte, calor e qualidade superficial.

Insertos podem ser positivos, negativos, com furo, sem furo, com uma face ou dupla face, com arestas reforçadas, afiadas, retificadas, wiper, de canal, rosca, furação ou fresamento. A nomenclatura ISO ajuda a padronizar a identificação, mas cada fabricante pode acrescentar sufixos de classe e quebra-cavaco.

3. Materiais de ferramenta: metal duro, cerâmica, CBN, PCD e cermet

O material da ferramenta define o limite de temperatura, dureza, tenacidade e resistência ao desgaste. O material mais comum para insertos é o metal duro, geralmente carboneto de tungstênio com ligante de cobalto e cobertura CVD ou PVD. Para aplicações especiais, usam-se cerâmicas, CBN, PCD e cermets.

Material de ferramenta	Onde costuma ir bem	Limitações típicas
Metal duro sem cobertura	Baixas a médias velocidades, operações com arestas afiadas, materiais não ferrosos.	Menor resistência ao desgaste em alta velocidade.
Metal duro com cobertura CVD	Torneamento de aço e ferro fundido, médias e altas velocidades, produção seriada.	Aresta tende a ser menos afiada; nem sempre é ideal para cortes leves e instáveis.
Metal duro com cobertura PVD	Arestas mais afiadas, inox, acabamento, cortes interrompidos moderados.	Camadas normalmente mais finas; janela depende da classe.
Cermet	Acabamento em aços, boa resistência ao desgaste e acabamento brilhante.	Menor tenacidade em interrupção severa.
Cerâmica	Alta velocidade em ferro fundido e aços endurecidos conforme classe.	Sensível a choque térmico e interrupções dependendo da composição.
CBN	Aços endurecidos, ferro fundido duro, materiais abrasivos e alta dureza.	Custo elevado; exige rigidez e aplicação correta.
PCD	Alumínio, cobre, compósitos e materiais não ferrosos abrasivos.	Não indicado para aços ferrosos em altas temperaturas.

A cobertura CVD costuma oferecer boa resistência ao desgaste e ampla aplicação; a cobertura PVD permite arestas mais afiadas e pode preservar melhor a geometria em ferramentas que exigem corte leve ou acabamento. As páginas técnicas da Mitsubishi Materials destacam que PVD pode prolongar a vida útil em relação ao metal duro sem cobertura e permite cobertura de arestas afiadas sem alterar significativamente o substrato.

CBN e cerâmica exigem atenção especial: eles toleram temperaturas elevadas, mas precisam de estabilidade mecânica. Uma aplicação de CBN em aço endurecido pode ser excelente se a peça, o suporte e o parâmetro forem estáveis; com vibração ou interrupção severa, a aresta pode lascrar rapidamente.

4. Norma ISO: grupos de materiais P, M, K, N, S e H

A classificação ISO agrupa materiais usinados por comportamento metalúrgico e usinabilidade. Essa divisão é usada em catálogos de fabricantes para orientar classes, geometrias e parâmetros. Segundo a Sandvik Coromant, os materiais de peça são divididos em seis grandes grupos ISO, cada um com propriedades próprias de usinabilidade.

Grupo ISO	Material típico	Desafios frequentes	Tendência de ferramenta
P	Aços carbono, aços baixa liga e aço fundido.	Cavaco longo, calor, craterização, variação de dureza.	Metal duro CVD/PVD, geometria conforme acabamento/desbaste.
M	Aços inoxidáveis.	Encruamento, adesão, aresta postiça, calor.	Geometria positiva/afiada e classe resistente a adesão.
K	Ferro fundido cinzento, nodular e maleável.	Abrasão, pó de grafita, variação de estrutura.	Classes resistentes ao desgaste, cerâmica/CBN em casos específicos.
N	Alumínio, cobre, latão, plásticos e não ferrosos.	Empastamento, cavaco volumoso, necessidade de aresta polida.	Aresta muito afiada, PCD para alta produção.
S	Ligas de titânio e superligas resistentes ao calor.	Baixa condutividade térmica, alta carga térmica na aresta.	Classes tenazes, PVD, refrigeração e parâmetros conservadores.
H	Aços endurecidos e ferros fundidos endurecidos.	Alta dureza, abrasão, estabilidade dimensional.	CBN, cerâmica ou metal duro específico, processo rígido.

Aplicação técnica

Sempre identifique primeiro o material ISO da peça. A mesma pastilha pode ter resultado excelente em P e péssimo em M ou S, mesmo com dureza parecida.

5. Como ler códigos de insertos ISO/ANSI

A nomenclatura ISO/ANSI identifica características geométricas do inserto. No torneamento, códigos como CNMG 120408, CCMT 09T304 ou WNMG 080408 informam formato, folga, tolerância, fixação, tamanho, espessura e raio de ponta. Catálogos de fabricantes ainda adicionam sufixos para quebra-cavaco e classe.

Exemplo de leitura: CNMG 120408



Obs.: o significado exato depende da norma ISO/ANSI e da tabela dimensional do fabricante.

Figura 2 - Exemplo didático de decomposição de código. A leitura deve sempre ser confirmada pela tabela do fabricante.

Posição	Exemplo	O que indica	Observação
1	C	Formato do inserto.	C = losango 80°, D = 55°, T = triangular, W = trigon etc.
2	N	Ângulo de folga.	N geralmente indica inserto negativo sem folga; C, P, D etc. indicam folgas positivas.
3	M	Classe de tolerância.	Define tolerâncias dimensionais e precisão.
4	G	Tipo de fixação e furo/quebra-cavaco.	Varia conforme norma e família.
5-6	12	Tamanho/IC ou comprimento característico.	Em mm ou código equivalente conforme padrão.
7-8	04	Espessura.	Código dimensional.
9-10	08	Raio de ponta.	08 geralmente = 0,8 mm; 04 = 0,4 mm; 12 = 1,2 mm.

Exemplo prático: CNMG 120408 costuma indicar inserto C, negativo, tolerância M, com furo/fixação G, tamanho 12, espessura 04 e raio 0,8 mm. Já CCMT 09T304 é um inserto positivo muito usado para acabamento e semiacabamento, com raio menor.

Na fresagem e furação com insertos, existem códigos específicos como APKT, APMT, SEKT, XNEX, WCMX, SPMG e outros. A lógica de formato, dimensão e geometria permanece, mas a leitura detalhada depende da norma aplicável e da tabela dimensional do fabricante.

6. Geometria: formato, folga, quebra-cavaco, raio e ângulo de posição

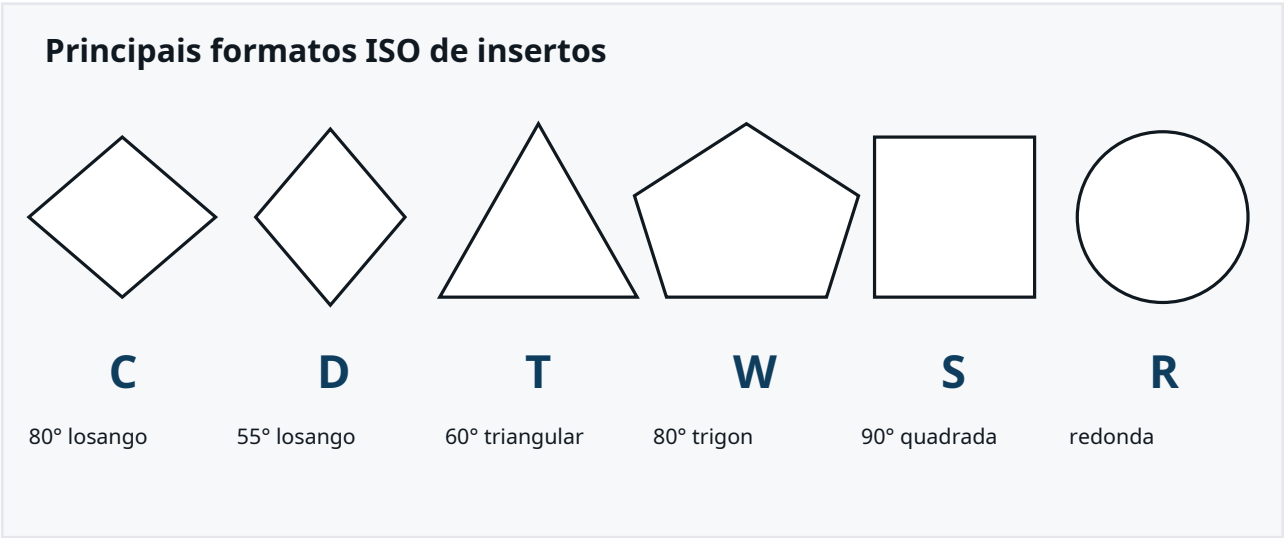


Figura 3 - Formatos de insertos influenciam resistência da aresta, acessibilidade e direção dos esforços.

O formato determina ângulo de ponta, número de arestas, robustez e acesso ao perfil. Insertos redondos e quadrados são fortes, mas nem sempre entram em regiões estreitas. Insertos D e V acessam perfis finos, porém têm menor massa de aresta. O ângulo de posição do porta-ferramenta muda a direção do esforço, a espessura do cavaco e a tendência de vibração.

Variável	Efeito principal	Quando aumentar	Quando reduzir
Raio de ponta	Acabamento, resistência da aresta e força radial.	Para maior robustez e melhor acabamento teórico.	Para reduzir vibração, força radial e copiar cantos menores.
Ângulo de saída / positividade	Esforço de corte e facilidade de cisalhamento.	Materiais adesivos, máquinas leves, acabamento.	Desbaste pesado, cortes interrompidos, maior robustez.
Preparação de aresta	Proteção contra lascamento.	Interrupção, desbaste, materiais duros.	Corte leve, acabamento, materiais macios.
Quebra-cavaco	Controle do cavaco e zona de avanço.	Quando cavaco enrola ou não quebra.	Se gerar esforço demais, vibração ou acabamento ruim.

Raio de ponta e avanço

O raio deve conversar com o avanço. Raio grande com avanço muito baixo pode esfregar e vibrar; raio pequeno com avanço alto pode quebrar ou piorar acabamento.

7. Classes, coberturas e seleção por aplicação

Classe ou grade é a combinação de substrato, ligante, tamanho de grão, cobertura e tratamento de aresta. A escolha correta depende do material, tipo de operação, severidade de interrupção, refrigeração e objetivo. Fabricantes como Sandvik Coromant orientam selecionar classe com base no material da peça, método de usinagem e condições do processo.

Condição da operação	Prioridade técnica	Tendência de escolha
Acabamento estável	Baixo esforço, boa superfície, precisão.	Geometria positiva, raio compatível, classe mais resistente ao desgaste.
Semiacabamento geral	Equilíbrio entre vida útil, controle de cavaco e produtividade.	Geometria média e classe universal da família do material.
Desbaste	Tenacidade, evacuação de cavaco, segurança.	Aresta reforçada, raio maior, classe tenaz.
Corte interrompido	Resistência ao impacto e lascamento.	Classe tenaz, aresta preparada, reduzir velocidade.
Aço endurecido	Resistência a abrasão e estabilidade térmica.	CBN, cerâmica ou metal duro específico conforme dureza e estabilidade.

Em catálogos, é comum ver classes distribuídas por faixas de aplicação: P10/P20/P30, M15/M25, K10/K20 etc. Números menores tendem a indicar maior resistência ao desgaste e menor tenacidade; números maiores tendem a indicar maior tenacidade, mas menor resistência ao desgaste. Isso é uma regra geral, não substitui a matriz do fabricante.

Coberturas CVD normalmente são fortes em desgaste e calor, muito comuns em torneamento de aço e ferro fundido. PVD é frequente em arestas afiadas, inox, ligas especiais e ferramentas rotativas. Em aplicações de alto acabamento, a microgeometria e o polimento podem ser mais decisivos do que a cobertura isolada.

8. Insertos de torneamento: famílias e uso prático

Torneamento inclui operações externas, internas, faceamento, perfilamento, acabamento, semiacabamento e desbaste. A família do inserto deve ser compatível com o porta-ferramenta, o acesso ao perfil e a direção de corte.

Família	Características	Uso comum
CCMT / CCGT	Losango 80° positivo, boa acessibilidade e baixo esforço.	Acabamento e semiacabamento, principalmente interno ou peças menores.
CNMG / CNMA	Losango 80° negativo, robusto e dupla face.	Torneamento geral, semiacabamento e desbaste.
DNMG / DCMT	Losango 55°, bom acesso a perfis.	Perfilamento, semiacabamento e acabamento.
TNMG / TNGN	Triangular 60°, múltiplas arestas.	Uso geral; TNGN/CBN aparece em aço endurecido conforme aplicação.
WNMG / WNGA	Trigon 80°, robusto e versátil.	Torneamento geral, faceamento e produtividade.
VNMG / VBMT	35° com alto acesso.	Perfis complexos e acabamentos leves.
SNMG / SNMA	Quadrado 90°, robusto.	Desbaste, faceamento e materiais abrasivos.

CBN TNGN 110304

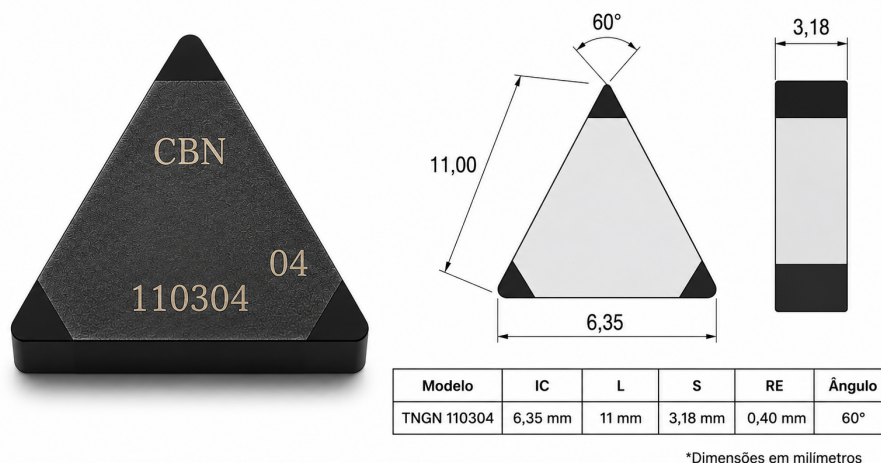


Figura 4 - Exemplo de inserto triangular sem furo, apresentado de forma didática.

A seleção de uma família deve começar pela peça: diâmetro, perfil, rigidez, material, interrupção, acabamento exigido e capacidade da máquina. Depois definem-se porta-ferramenta, geometria, classe, raio e parâmetros.

9. Insertos de fresamento, furação, canal, corte e rosca

Em fresamento, o inserto trabalha com corte intermitente por natureza. Isso aumenta exigência de tenacidade, fixação e controle de vibração. Em faceamento, ombro, alto avanço e fresamento de perfis, a geometria do corpo da fresa e o ângulo de entrada são tão importantes quanto a classe do inserto.

Operação	Famílias típicas	Pontos críticos
Fresamento geral	APKT, APMT, SEKT, XNEX, SDMT.	Balanço, rigidez, entrada/saída da peça, avanço por dente.
Alto avanço	Insertos com geometria específica para pequena profundidade axial.	Força axial elevada, máquina rígida, avanço alto com ap baixo.
Furação com inserto	WCMX, SPMG, centrais/periféricos.	Evacuação de cavaco, refrigeração interna, estabilidade.
Corte e canal	Insertos estreitos tipo MGMN, MGMx, parting.	Alinhamento, altura de centro, refrigeração e cavaco estreito.
Rosqueamento	Insertos perfil total/parcial, interno/externo.	Passos, perfil, penetração, sincronismo e acabamento do flanco.

Em fresamento, o parâmetro central é o avanço por dente (f_z), que multiplicado pelo número de dentes efetivos e rotação gera o avanço de mesa. Insertos com mais arestas podem reduzir custo por aresta, mas exigem corpo compatível e aplicação correta.

10. Fresas inteiriças: topo reto, ball nose, corner radius, roughing e long neck

Fresas inteiriças de metal duro são ferramentas de corpo único, sem pastilha intercambiável, usadas em rasgos, contornos, cavidades, acabamentos e moldes. A geometria varia conforme o material e a operação. Fresas de 2 cortes favorecem cavaco maior e alumínio; 4 cortes são comuns em aço e inox; roughing tem dente serrilhado para desbaste; ball nose é usada em superfícies 3D; corner radius protege o canto e melhora vida útil.

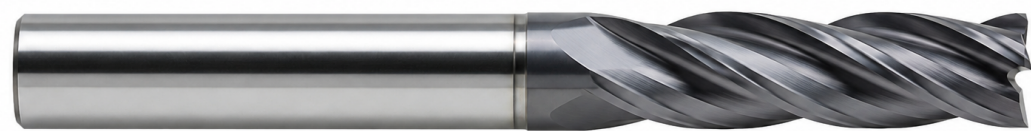


Figura 5 - Exemplo visual de fresa topo reto de 4 cortes em fundo branco.

Família	Características	Aplicação típica
Topo reto 2 cortes	Maior espaço para cavaco, menor contato.	Alumínio, rasgos e materiais com cavaco volumoso.
Topo reto 4 cortes	Mais arestas, boa estabilidade em aço.	Aço, inox, acabamento lateral e rasgos leves.
Ball nose	Ponta esférica.	Moldes, cavidades 3D e acabamento de superfícies curvas.
Corner radius	Topo reto com raio no canto.	Reduz lascamento e melhora vida em ombros.
Roughing	Dente serrilhado/quebra-cavaco.	Desbaste com menor esforço e cavaco fragmentado.
Long neck / corte curto	Pescoço longo e região de corte curta.	Alcance em cavidades profundas com menor contato lateral.

Em fresas inteiriças, o risco de quebra aumenta com balanço excessivo, entrada agressiva, evacuação ruim de cavaco e vibração. Para cavidades profundas, é preferível reduzir o comprimento de corte e usar pescoço aliviado, preservando rigidez da haste.



Figura 6 - Exemplo de fresa ball nose para superfícies 3D.

11. Parâmetros de corte e fórmulas essenciais

Parâmetros de corte são a linguagem do processo. A velocidade de corte (V_c), rotação (n), avanço (f ou f_z), profundidade de corte (a_p), largura de corte (a_e) e avanço de mesa (v_f) determinam produtividade, calor, força e desgaste. Fontes técnicas da Sandvik Coromant e Mitsubishi Materials apresentam fórmulas para calcular rotação, velocidade, tempo de corte e avanços em torneamento e fresamento.

Grandeza	Símbolo	Fórmula básica	Uso
Velocidade de corte	V_c	$V_c = (\pi \times D \times n) / 1000$	Define velocidade periférica em m/min.
Rotação	n	$n = (V_c \times 1000) / (\pi \times D)$	Calcula rpm a partir de diâmetro e V_c .
Avanço em torneamento	f	mm/volta	Controla espessura do cavaco e acabamento.
Avanço de mesa	v_f	$v_f = n \times z \times f_z$	Usado em fresamento.
Tempo de corte	T_c	$T_c = \text{comprimento usinado} / \text{avanço por minuto}$	Estimativa de tempo de usinagem.
Remoção de material	Q	depende de a_p , a_e e avanço	Indicador de produtividade em fresamento.

Sequência de ajuste

Se o desgaste é térmico, reduza V_c antes de reduzir avanço. Se o cavaco não quebra, ajuste avanço e quebra-cavaco. Se há vibração, verifique raio, balanço, rigidez e força radial.

Os valores de catálogo são ponto de partida. A condição real da máquina, refrigeração, batimento, fixação da peça, dureza e lote do material podem exigir correções. Em produção, o ideal é registrar parâmetro, vida por aresta, falha dominante e custo por peça.

12. Desgaste, falhas e diagnóstico de processo

Desgaste é normal; falha prematura não. A análise da aresta usada é uma das ferramentas mais importantes para melhorar custo por peça. Sandvik Coromant associa tipos de desgaste a mecanismos como abrasão, reações químicas, adesão e efeitos térmicos; Seco Tools destaca que o desgaste de flanco tende a ser mais previsível e desejável quando controlado.



Figura 7 - Diagnóstico visual de desgaste ajuda a decidir se o problema está em velocidade, avanço, classe, geometria ou estabilidade.

Falha	Sintomas	Causas prováveis	Ações recomendadas
Desgaste de flanco	Faixa uniforme na lateral da aresta.	Abrasão natural, Vc alta, classe pouco resistente.	Classe mais resistente, reduzir Vc, melhorar refrigeração.
Cratera	Depressão na face de saída.	Calor, reação química, Vc/feed elevados.	Reduzir Vc, geometria mais aberta, classe adequada.
Aresta postiça	Material soldado na aresta, acabamento irregular.	Baixa Vc, material adesivo, geometria pouco afiada.	Aumentar Vc dentro do limite, PVD/polida, refrigeração.
Lascamento	Quebras pequenas na aresta.	Interrupção, vibração, aresta frágil.	Classe tenaz, aresta reforçada, reduzir avanço/choque.
Deformação plástica	Aresta amassada/deprimida.	Temperatura e pressão elevadas.	Reduzir Vc/feed, classe mais quente/resistente.
Trinca térmica	Trincas perpendiculares à aresta.	Choque térmico, refrigeração intermitente.	Refrigeração consistente ou corte seco conforme caso.
Quebra catastrófica	Fratura completa da pastilha.	Sobrecarga, batida, cavaco preso, fixação ruim.	Checar setup, porta, aperto, cavaco, entrada e saída.

O diagnóstico deve ser feito logo após a falha, antes que a aresta seja destruída. Uma pastilha totalmente quebrada conta pouco sobre a causa inicial; uma aresta retirada no fim normal de vida revela muito mais.

13. Boas práticas de aplicação e roteiro de consulta técnica

Uma consulta técnica eficiente coleta dados antes de escolher produto. Isso evita tentativa e erro, reduz consumo de pastilhas e aumenta confiança do cliente. Abaixo está um roteiro prático para vendas técnicas e aplicação.

Pergunta	Por que importa
Qual material da peça e dureza?	Define grupo ISO, classe e faixa de velocidade.

Pergunta	Por que importa
Qual operação? Tornear, facear, fresar, furar, canal, rosca?	Define família de ferramenta e geometria.
Acabamento, semiacabamento ou desbaste?	Define raio, quebra-cavaco, avanço e robustez.
Corte contínuo ou interrompido?	Define tenacidade e preparação de aresta.
Máquina rígida ou leve? Há vibração?	Influencia raio, avanço e geometria.
Usa refrigeração? Interna, externa ou seco?	Define risco térmico e evacuação de cavaco.
Qual problema atual?	Permite atacar causa: desgaste, cavaco, acabamento, quebra ou custo.
Qual ferramenta/código atual e vida por aresta?	Base para comparação técnica e econômica.

Indicador principal

O melhor KPI não é apenas “quantas peças por aresta”, mas custo por peça com qualidade estável, menor parada e menor risco de refugo.

Para aplicações críticas, registre dados em uma ficha de teste: código da ferramenta, classe, geometria, V_c , rpm, avanço, ap, ae, refrigeração, material, dureza, vida por aresta, modo de falha e acabamento obtido. Sem histórico, a empresa perde conhecimento a cada troca de operador ou fornecedor.

14. Estratégias por material ISO

Cada grupo ISO exige uma leitura diferente do processo. A seguir estão recomendações gerais para iniciar uma aplicação. Elas devem ser validadas com catálogo e teste de campo.

Grupo	Estratégia inicial	Risco comum	Sinal de correção
P - aços	Começar com classe CVD/PVD universal, quebra-cavaco médio e Vc dentro da faixa.	Cratera, cavaco longo, calor.	Cavaco controlado, desgaste de flanco previsível.
M - inox	Usar aresta mais positiva, classe resistente à adesão e evitar esfregamento.	Aresta postiça e encruamento.	Cavaco sem solda e acabamento estável.
K - ferro fundido	Priorizar resistência ao desgaste abrasivo e evacuação de pó/cavaco.	Abrasão rápida, micro-lascamento.	Desgaste uniforme e baixa vibração.
N - alumínio	Usar aresta polida, muito afiada e alta evacuação de cavaco.	Empastamento e cavaco aderido.	Superfície brilhante, cavaco limpo, baixa força.
S - superligas/titânio	Parâmetro conservador, refrigeração forte e classe tenaz.	Calor concentrado e entalhe.	Desgaste controlado sem trinca/lascamento.
H - endurecidos	CBN/cerâmica/metal duro específico, setup rígido, corte estável.	Lascamento por vibração.	Aresta desgastando sem fratura prematura.

15. Quebra-cavaco e controle de cavaco

Controle de cavaco é segurança, produtividade e qualidade. Um cavaco inadequado pode riscar a peça, danificar a ferramenta, travar o processo ou causar acidente. O quebra-cavaco depende da profundidade de corte, avanço e geometria da face de saída.

Condição	Sinal visual	Causa provável	Ação
Cavaco não quebra	Fita longa enrolada.	Avanço baixo ou quebra-cavaco muito aberto.	Aumentar avanço, reduzir raio, usar geometria mais fechada.
Cavaco muito quebrado/poeira	Pequenos fragmentos quentes.	Avanço alto, geometria agressiva ou material frágil.	Reduzir avanço ou usar geometria mais aberta.
Cavaco bate na peça	Marcas na superfície.	Direção de saída ruim.	Mudar porta, quebra-cavaco, refrigeração ou estratégia.
Cavaco prende no canal	Travamento em corte/canal.	Canal estreito e evacuação ruim.	Refrigeração dirigida, pausas ou geometria específica.

Em torneamento interno, cavaco é ainda mais crítico porque há pouco espaço para saída. Em furação, cavaco preso pode quebrar broca ou danificar a parede do furo. Em fresamento, cavaco recortado aumenta desgaste e pode quebrar aresta.

Boa prática

Nunca avalie apenas a peça pronta. Observe o cavaco durante o corte: cor, forma, direção de saída e temperatura contam a história do processo.

16. Preparação de aresta: afiada, hone, chanfro e wiper

A microgeometria da aresta define como a ferramenta entra no material. Aresta muito afiada corta com menos esforço, mas pode lascas em interrupção. Aresta arredondada ou chanfrada suporta mais carga, mas pode exigir maior força e gerar calor. Geometrias wiper têm aresta alargada para melhorar acabamento em avanços maiores.

Preparação	Vantagem	Atenção
Aresta afiada	Baixo esforço, bom para acabamento e materiais adesivos.	Menor resistência a impacto.
Hone/arredondada	Melhor resistência a micro-lascamento.	Pode aumentar força e temperatura.
Chanfro/T-land	Muito robusta para desbaste e materiais duros.	Exige máquina rígida e parâmetro adequado.
Wiper	Melhor acabamento com avanço mais alto.	Pode aumentar força radial e vibração em peça fina.

CERÂMICA WNGA 080412

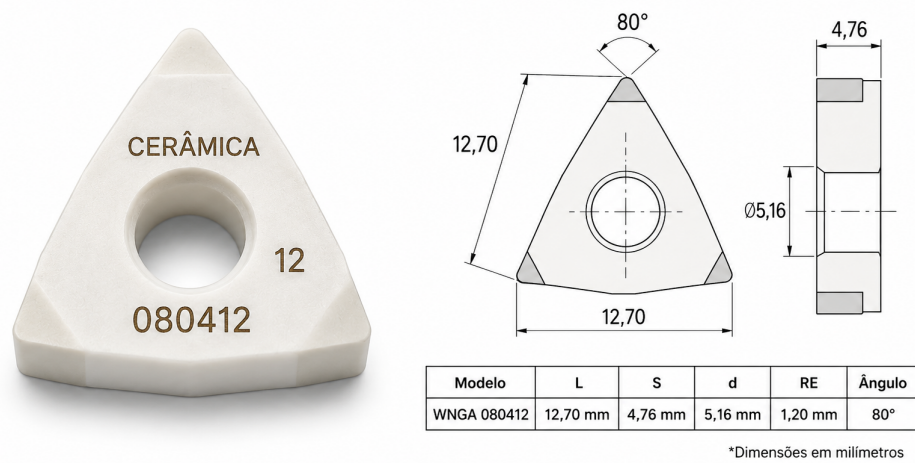


Figura 8 - Exemplo didático de inserto com raio e cotas, útil para treinamento de leitura dimensional.

17. Aplicações especiais: CBN, cerâmica e PCD

CBN, cerâmica e PCD não devem ser vistos como versões “melhores” do metal duro. Eles são materiais diferentes, com janelas diferentes. O CBN é excelente para aços endurecidos e materiais abrasivos, mas requer estabilidade. Cerâmicas trabalham bem em alta temperatura, porém podem sofrer com choque térmico e interrupção. PCD é muito forte em não ferrosos abrasivos, especialmente alumínio com silício, cobre e compósitos.

Material	Aplicação forte	Evitar ou cuidar
CBN	Aço endurecido, ferro fundido duro, acabamento fino em dureza elevada.	Interrupção severa sem suporte rígido, vibração e batidas.
Cerâmica	Altas velocidades em ferro fundido e algumas operações em endurecidos.	Refrigeração irregular e choque térmico.
PCD	Alumínio, cobre, latão, grafite, compósitos e materiais abrasivos não ferrosos.	Aços e ferrosos em alta temperatura.

Ao vender ou aplicar superduros, a justificativa deve ser custo por peça, estabilidade e redução de paradas. O preço unitário costuma ser maior, mas a produtividade pode compensar quando o processo é adequado.

18. Torneamento de aço endurecido

Torneamento duro é uma alternativa à retífica em determinadas peças. A qualidade depende de rigidez, batimento baixo, suporte correto, CBN ou cerâmica adequada, cavaco controlado e estabilidade térmica. O raio de ponta deve ser escolhido conforme acabamento, força radial e perfil da peça.

Fator	Recomendação geral
Rigidez	Minimizar balanço, usar porta robusto e fixação da peça confiável.
Interrupção	Reduzir agressividade, escolher classe tenaz e aresta preparada.
Acabamento	Controlar raio, avanço e estabilidade; considerar wiper quando aplicável.
Falha típica	Lascamento por vibração ou desgaste abrasivo em peça muito dura.
Monitoramento	Acompanhar dimensão, rugosidade e desgaste antes da quebra.

19. Fresamento: estratégia, entrada e saída da ferramenta

No fresamento, a aresta entra e sai do corte repetidamente. A estratégia de entrada afeta diretamente vibração e lascamento. Sempre que possível, evite entrar com impacto em cheio; use rampa, interpolação ou aproximação suave. Em materiais duros, reduzir balanço e controlar ae/ap são medidas decisivas.

Estratégia	Quando usar	Cuidado
Concordante	Máquinas CNC rígidas, melhor acabamento e menor atrito.	Exige folga mecânica controlada.
Discordante	Máquinas com folgas ou situações específicas.	Mais atrito e tendência de encruamento.
Rampa	Entrada em cavidade sem pré-furo.	Ângulo deve ser compatível com ferramenta.
Trocoidal	Desbaste eficiente com ae baixo e fz alto.	Requer programação adequada e evacuação de cavaco.
High feed	Remoção rápida com pequena profundidade axial.	Força axial e máquina rígida.

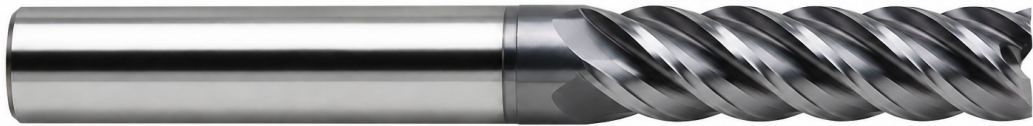


Figura 9 - Exemplo visual de fresa de 4 cortes em fundo branco para treinamento comercial.

20. Furação, corte, canal e rosqueamento

Furação exige evacuação de cavaco e refrigeração. Corte e canal exigem alinhamento perfeito, altura de centro e controle de cavaco estreito. Rosqueamento exige sincronismo, passo correto, penetração adequada e escolha entre perfil total ou parcial.

Operação	Falha comum	Prevenção
Furação	Cavaco preso, furo cônico, quebra.	Refrigeração interna, ciclo adequado e broca curta quando possível.
Corte	Quebra da lâmina/inserto.	Alinhamento, altura de centro e avanço dentro da faixa.

Operação	Falha comum	Prevenção
Canal	Vibração e marca no fundo.	Reduzir balanço, usar largura adequada e geometria correta.
Rosqueamento	Flanco ruim ou quebra no fim.	Entrada/saída programada, inserto correto e passes equilibrados.

21. Custo por peça e vida econômica da ferramenta

A maior vida por aresta nem sempre significa menor custo. Uma pastilha que dura muito, mas opera lentamente, pode custar mais por peça do que uma ferramenta mais produtiva. A análise correta considera preço da aresta, tempo de ciclo, tempo de troca, refugo, estabilidade e disponibilidade da máquina.

Indicador	Como interpretar
Peças por aresta	Mede vida útil, mas não mostra produtividade.
Tempo de ciclo	Impacta diretamente custo/hora da máquina.
Custo por aresta	Preço do inserto dividido por número de arestas utilizáveis.
Custo por peça	Combina ferramenta, tempo e perdas. É o indicador mais forte.
Refugo e retrabalho	Podem anular ganhos de velocidade ou vida útil.

Exemplo de raciocínio

Se uma classe 20% mais cara aumenta vida em 50% e mantém o ciclo, provavelmente reduz custo por peça. Se aumenta vida, mas piora acabamento e gera retrabalho, pode não compensar.

22. Segurança, armazenamento e manuseio

Insertos são pequenos, duros e frágeis. Podem lascar, cortar a pele ou projetar fragmentos durante falha. O manuseio correto preserva a ferramenta e reduz acidentes.

- Use óculos de segurança e nunca observe cavaco próximo sem proteção.
- Não misture insertos soltos em caixas; impactos quebram arestas.
- Limpe o alojamento do porta-ferramenta antes de montar a pastilha.
- Use torque correto no parafuso quando especificado.
- Descarte arestas quebradas em recipiente adequado.
- Nunca altere classe, raio ou geometria em produção sem registrar o teste.

23. Modelo de ficha técnica de aplicação

Campo	Preencher
Cliente / máquina	_____
Material da peça / dureza	_____
Operação	Torneamento / Fresamento / Furação / Canal / Rosca
Ferramenta atual	Código, classe, geometria, raio
Parâmetros atuais	Vc, rpm, avanço, ap, ae, refrigeração
Problema principal	Vida, cavaco, acabamento, quebra, custo, vibração
Ferramenta testada	Código, classe, geometria, raio
Resultado	Peças/aresta, tempo, acabamento, modo de desgaste
Decisão	Aprovado / ajustar / reprovar / novo teste

Esse modelo pode ser usado em visitas técnicas e treinamentos internos. O objetivo é transformar testes em conhecimento acumulado, e não apenas em tentativas isoladas.

24. Glossário técnico

Termo	Definição prática
Aresta de corte	Região da ferramenta que cisalha o material.
Aresta postiça (BUE)	Material da peça que solda temporariamente na aresta.
ap	Profundidade de corte axial/radial conforme operação.
ae	Largura radial de corte em fresamento.
CBN	Nitreto cúbico de boro; superduro usado em materiais endurecidos.
CVD	Deposição química de vapor; tipo de cobertura resistente ao desgaste.
fz	Avanço por dente em fresamento.
IC	Círculo inscrito do inserto; medida dimensional do tamanho.
PVD	Deposição física de vapor; cobertura comum em arestas afiadas.
Raio de ponta	Raio na ponta do inserto que influencia acabamento e resistência.
Tenacidade	Capacidade de resistir a impacto/lascamento.
Vc	Velocidade de corte em m/min.

Referências consultadas

- Sandvik Coromant. How to choose correct turning insert; Turning inserts and grades; Workpiece materials; General turning formulas and definitions; Wear on cutting edges; Troubleshooting turning.
- Mitsubishi Materials. Technical information: coated carbide CVD/PVD and turning formulas.
- ISCAR. ISO Turning Tools.
- Kennametal. Selecting carbide inserts for metalworking; milling insert identification system.
- Seco Tools. Tool wear patterns in machining; ISO application standardization.
- Ingersoll Cutting Tools. Turning insert nomenclature ANSI/ISO.

As informações foram consolidadas a partir de literatura técnica de fabricantes e fontes públicas de usinagem. Para aplicação comercial específica, confirme sempre com catálogo atualizado do fabricante, estoque disponível e teste prático no processo real.

Anexo A - Matriz rápida de seleção por problema

Problema observado	Primeira suspeita	Ajuste inicial	Se persistir
Cavaco longo enrolando	Avanço fora da janela do quebra-cavaco.	Aumentar avanço dentro da faixa ou trocar quebra-cavaco.	Alterar geometria/porta ou refrigeração.
Acabamento ruim	Vibração, aresta postiça, raio inadequado.	Checar fixação, aumentar Vc em adesão, usar geometria afiada.	Reduzir raio, balancear ferramenta ou usar wiper.
Quebra de pastilha	Impacto, excesso de avanço, suporte frouxo.	Reduzir avanço/choque, apertar fixação, classe tenaz.	Alterar estratégia de entrada e aresta reforçada.
Vida muito curta	Vc alta, classe inadequada, calor.	Reduzir Vc e identificar modo de desgaste.	Selecionar classe/geometria específica.
Vibração	Balanço, raio grande, força radial.	Reduzir balanço, raio menor, ajustar ap/ae.	Alterar porta, estratégia ou sequência de corte.
Rebarba excessiva	Aresta gasta ou geometria inadequada.	Trocar aresta e usar geometria mais afiada.	Revisar parâmetros e estabilidade da peça.
Cavaco azul/quente demais	Calor excessivo.	Reduzir Vc ou melhorar refrigeração.	Classe mais resistente a calor.

A tabela não substitui análise técnica, mas ajuda a iniciar o raciocínio. Toda alteração deve ser feita uma variável por vez quando possível.

Anexo B - Checklist de implantação de uma nova pastilha

- Registrar código atual, classe, geometria, vida por aresta e modo de falha.
- Confirmar material ISO da peça, dureza e condição superficial.
- Definir objetivo: aumentar vida, reduzir ciclo, melhorar acabamento ou reduzir custo.
- Escolher família/porta compatível com ângulo, acesso e rigidez.
- Selecionar uma classe base e uma alternativa tenaz/resistente ao desgaste.
- Começar com parâmetro conservador dentro da faixa técnica.
- Medir peça, acabamento e cavaco nos primeiros minutos.
- Retirar aresta antes da quebra para analisar desgaste.
- Calcular custo por peça e estabilidade, não apenas peças por aresta.
- Padronizar se o resultado for repetível em mais de um lote.