

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – CAMPUS BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

IGOR GALINDO RANZONI

**ANÁLISE DOS DADOS DE CORTE EM OPERAÇÃO DE DESBASTE POR
FRESAGEM CNC DO AÇO SAE 1045, OBTIDOS EM CATÁLOGOS TÉCNICOS E
ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIO APLICADO A PROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA
QUE ATUAM NO SEGMENTO DE USINAGEM MECÂNICA POR FRESAMENTO.**

Betim

2021

IGOR GALINDO RANZONI

**ANÁLISE DOS DADOS DE CORTE EM OPERAÇÃO DE DESBASTE POR
FRESAGEM CNC DO AÇO SAE 1045, OBTIDOS EM CATÁLOGOS TÉCNICOS E
ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIO APLICADO A PROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA
QUE ATUAM NO SEGMENTO DE USINAGEM MECÂNICA POR FRESAMENTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso
Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto
Federal de Minas Gerais – Campus Betim para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Mestre Evanilton José Alves Barbosa
Coorientador: Prof. Doutor André Félix

Betim

2021

R214a Ranzoni, Igor Galindo.
Análise dos dados de corte em operação de desbaste por fresagem CNC do aço SAE 1045, obtidos em catálogos técnicos e através de questionário aplicado a profissionais da indústria que atuam no segmento de usinagem mecânica por fresamento. [manuscrito] / Igor Galindo Ranzoni – Betim: Instituto Federal de Minas Gerais, 2021.
63 f.; il., color.

Orientador: Prof. Evanilton José Alves Barbosa.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Minas Gerais –
Campus Betim, Bacharelado em Engenharia Mecânica.

1. Fresagem (Trabalhos em metal). 2. Ferramentas para cortar metais.
3. Metais - corte. I. Barbosa, Evanilton José Alves. II. Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Betim. III. Título

CDU 621.7

Catálogo: Luciana Batista Neves - CRB-6/2000

IGOR GALINDO RANZONI

ANÁLISE DOS DADOS DE CORTE EM OPERAÇÃO DE DESBASTE POR FRESAGEM CNC DO AÇO SAE 1045, OBTIDOS EM CATÁLOGOS TÉCNICOS E ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIO APLICADO A PROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA QUE ATUAM NO SEGMENTO DE USINAGEM MECÂNICA POR FRESAMENTO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Betim para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em 24/09/2021 pela banca examinadora:



Prof. Me. Evanilton José Alves Barbosa - CEFET (Orientador)



Prof. Dr. André Felix - UFMG (Coorientador)



Prof. Me. Bruno de Souza Baptista - UFMG



Prof. Me. Vinicius Maia de Sá - PUC

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a minha mãe, ao meu orientador e coorientador, a minha namorada e ao meu irmão, pois graças a eles, fui capaz de concluir o mesmo com maestria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço a minha mãe Terezinha e ao meu irmão Washington, pelo incentivo, apoio e confiança proporcionados a mim. A minha namorada Letícia pelo amor, apoio, paciência e cumplicidade.

Ao programa de Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais.

Aos amigos, orientador e coorientador, Prof. Me. Evanilton José Alves Barbosa e Prof. Dr. André Félix, pelas orientações, apoio e companheirismo.

A todos os colaboradores, que contribuíram de maneira direta ou indireta, para a realização e finalização deste trabalho.

RESUMO

O aço SAE 1045 é um material amplamente utilizado na indústria mecânica para construções diversas com ou sem tratamento térmico, dependendo da aplicação. Conhecer os dados de corte aplicado ao fresamento, é entender como se processa a usinagem deste material. Desta forma, este trabalho apresenta comparativamente os dados de corte de fabricantes de ferramentas, os dados de corte praticados no chão de fábrica por meio dos usuários das máquinas ferramentas e as características e estratégias de fresamento. Os dados foram pesquisados em catálogos de fabricantes de ferramentas e por meio de questionário aplicado a profissionais do segmento de usinagem mecânica. Foram realizadas análises comparativas que apontam para uma ineficiência na aplicação dos dados de corte e estratégias de usinagem. O estudo levou em conta a geometria da ferramenta de corte, a relação entre o diâmetro da ferramenta e largura de corte e o posicionamento da ferramenta de corte em relação ao material. A pesquisa aponta para grandes possibilidades de aumento de produtividade por meio de treinamento profissional com impacto direto aos processos manuais ou CNC.

Palavras-chaves: Fresamento, parâmetros de corte, ferramenta de corte.

ABSTRACT

SAE 1045 steel is a material widely used in the mechanical industry for various constructions with or without heat treatment, depending on the application. Knowing the cutting data applied to milling is to understand how the machining of this material is processed. Thus, this work presents comparatively the cutting data of tool manufacturers, the cutting data practiced on the shop floor by the users of the machine tools and the characteristics and milling strategies. Data were researched in tool manufacturers' catalogs and through a questionnaire applied to professionals in the mechanical machining segment. Comparative analyzes were carried out that point to an inefficiency in the application of cutting data and machining strategies. The study took into account the geometry of the cutting tool, the relationship between tool diameter and cutting width, and the positioning of the cutting tool in relation to the material. The research points to great possibilities for increasing productivity through professional training with a direct impact on manual or CNC processes.

Keywords: Milling, cutting parameters, cutting tool.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Principais processos de fabricação.	19
FIGURA 2 - Processos de fresamento.	20
FIGURA 3 - Máquina-ferramenta.	21
FIGURA 4 - Movimentos concordante, discordante e combinado.	22
FIGURA 5 - a) Fresamento tangencial concordante, b) Fresamento tangencial discordante, c) Fresamento frontal concordante, d) Fresamento frontal discordante.	22
FIGURA 6 - Ângulos e elementos dimensionais da fresa.	24
FIGURA 7 - Representação do Diâmetro efetivo da ferramenta, diâmetro da ferramenta e profundidade de corte.	29
FIGURA 8 - Avanço por corte (f_c), avanço por dente (f_z) e avanço efetivo (f_e).	31
FIGURA 9 - Penetração de trabalho (a_e), profundidade ou largura de usinagem (a_p) e penetração de avanço (a_f).	32
FIGURA 10 - Força de usinagem e suas componentes atuantes sobre o processo de fresamento.	33
FIGURA 11 - Ângulo de posição.	34
FIGURA 12 - Ângulo de posição de pastilha redonda.	34
FIGURA 13 - Orientação dos esforços de corte em função do ângulo de posição.	35
FIGURA 14 - Ângulos de folga saída e cunha.	37
FIGURA 15 – Critérios para seleção da ferramenta e dados de corte.	38
FIGURA 16 - Geometria da aresta de corte de uma pastilha redonda.	39
FIGURA 17 - Diferenças entre uma pastilha tradicional e uma pastilha "alisadora".	40
FIGURA 18 – Percentuais dos materiais utilizados para ferramenta de corte.	41
FIGURA 19 - Arco de contato estabelecido em uma operação de faceamento.	45
FIGURA 20 - Desgaste de flanco.	46
FIGURA 21 - Evidência do desgaste de flanco.	46
FIGURA 22 - Desgaste de entalhe.	47
FIGURA 23 - Desgaste de cratera.	48
FIGURA 24 - Deformação plástica.	48
FIGURA 25 - Lascamento.	49
FIGURA 26 - Trinca.	49
FIGURA 27 - Processo de formação da aresta postiça de corte (APC).	50

FIGURA 28 - Modelo do questionário.....	52
FIGURA 29 - Análise gráfica das médias dos dados coletados.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Composição química dos aços carbonos.	25
TABELA 2 - Característica da usinabilidade do aço.	26

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Informações (Catálogo SANDVIK).....	27
QUADRO 2 - Informações (Catálogo WALTER).....	27
QUADRO 3 - Informações (Catálogo MITSUBISHI).....	28
QUADRO 4 - Informações (Catálogo ISCAR).....	28
QUADRO 5 - Fatores multiplicadores do avanço por aresta de corte.	35
QUADRO 6 - Passos de fresas de facear.	39
QUADRO 7 - Fatores multiplicadores do avanço por aresta de corte.	40
QUADRO 8 - Fatores multiplicadores do avanço em função da imersão radial.	45
QUADRO 9 - Comparação dos dados obtidos no questionário com dados do catálogo.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ae – Penetração de Trabalho

af – Penetração de Avanço

AISI – “American Iron and Steel Institute”

(Sistema Americano para Classificação de Aços)

ap – Profundidade de corte

ASME – “American Society of Mechanical Engineer”

(Sociedade Americana de Engenharia Mecânica)

ASTM – “American Society for Testing and Materials”

(Sociedade Americana para Teste e Materiais)

$A\alpha$ – Superfície de Folga

$A\gamma$ – Superfície de Saída

CNC – Comando Numérico Computadorizado

CVD – “Chemical Vapor Deposition”

(Deposição Química de Vapor)

d – Diâmetro

D_c – Diâmetro da Ferramenta

D_e – Diâmetro Efetivo de Contato da Ferramenta

EA – Energia Acumulada

EU – Energia de Usinagem

f – Avanço

F_{ap} – Força de Apoio

f_c – Avanço por Corte

F_c – Força de Corte

f_e – Avanço Efetivo de Corte

F_f – Força de Avanço

F_n – Força de Compressão

F_p – Força Passiva

F_{RT} – Força Ativa

f_z – Avanço Por Dente

$h_{\text{mín}}$ – Espessura Mínima de Usinagem
HSM – “High Speed Machining”
(Usinagem em Alta Velocidade)
IS – Integridade de Superfície
ISO – “International Organization For Standardization”
(Organização Internacional de Normalização)
MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura
MQL – Mínimas Quantidades de Lubrificantes
 n – Rotação da Ferramenta
NBR – Normas Técnicas Brasileiras
PACVD – “Plasma activated by Chemical vapor deposition”
(Plasma Ativado por Deposição Química em Fase de Vapor)
PCBN – Nitreto de Boro Cúbico Policristalino
 P_f – Plano Admitido de Trabalho
 P_r – Plano de referência
 P_{re} – Plano de Referência Efetivo
 P_s – Plano Principal de corte
 P_s' – Plano secundário de corte
PVD – “Physical vapor deposition”
(Deposição Física de Vapor)
 Q – Quantidade de Calor
 r_ε – Raio da Ponta
 s – Superfície de Saída
SAE – “Society of Automobile Engineers”
(Sociedade de Engenheiros de Automóveis)
 V_c - Velocidade de Corte
 V_{ce} – Velocidade Efetiva
 V_f – Velocidade de Avanço
 z – Número de Dentes da Fresa
 α – Ângulo de Folga
 β – Ângulo de Cunha
 γ – Ângulo de Saída

ε – Ângulo de Quina

λ_s – Ângulo de Inclinação

χ_r – Ângulo de Cunha Cortante

χ'_r – Ângulo de Posição Secundário da Ferramenta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa.....	18
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivo específico.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Usinagem.....	19
3.2	Fresamento	20
3.2.1	Fresas	22
3.3	Aços carbono.....	25
3.4	Grandezas físicas associadas ao processo de usinagem	28
3.4.1	Ângulo de posição da ferramenta (KAPR)	33
3.4.2	Ângulo de ponta da ferramenta (ϵ_r).....	36
3.4.3	Ângulo de inclinação (λ_s)	36
3.4.4	Ângulo de folga (α_o).....	36
3.4.5	Ângulo de saída (γ_o)	36
3.4.6	Ângulo de cunha (β_o).....	37
3.4.7	Raio de ponta (r_ϵ)	37
3.5	Seleção da ferramenta de corte.....	37
3.5.1	Metal Duro	41
3.6	Imersão radial da fresa no faceamento	44
3.7	Desgastes e avarias da ferramenta.....	45
3.7.1	Desgaste de flanco.....	46
3.7.2	Desgaste de entalhe	47
3.7.3	Desgaste de cratera.....	47
3.7.4	Deformação plástica.....	48

3.7.5 Lascamento	49
3.7.6 Trinca	49
3.7.7 Aresta postiça de corte (APC).....	50
3.7.8 Formação do cavaco.....	50
3.8 Usinagem a seco	51
4 METODOLOGIA	51
4.1 Resultados e discussões.....	52
4.1.1 Análise dos resultados.....	58
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Conforme Walker (1996), a usinagem vem sendo por um longo período, um processo de fabricação muito usual, em consequência da alta produtividade oferecida. Divide-se basicamente em torneamento, fresamento e retificação, podendo ser desenvolvidos de forma manual ou controlados por computador. As principais vantagens destes processos são os altos níveis de tolerância e acabamentos alcançados. As empresas que demandam deste processo de fabricação estão situadas nas áreas: automobilística, metalmecânica e siderurgia. Os componentes produzidos podem variar desde dimensões milimétricas até dimensões superiores à dez metros.

Segundo Ferraresi (1977), o fresamento é um processo de usinagem, cujo objetivo se fundamenta em produzir peças com superfícies planas, com o auxílio de ferramentas multicortantes, na qual, tanto a ferramenta como a peça, executam o movimento segundo uma trajetória definida. Cabe salientar que esse processo tem grande representatividade dentro das indústrias de metalmecânica, pela elevada taxa de remoção de material, apresentando uma grande diversidade em suas operações, além de inúmeras ferramentas de corte e geometrias oferecidas aos produtos a serem usinados (FILHO, 1998). Portanto, as indústrias que adotam este processo de fabricação, necessitam constantemente de aprimorar o conhecimento acerca deste assunto, objetivando redução nos custos e no tempo de produção, possibilitando um crescimento na qualidade dos componentes usinados (SANDVIK, 2010). Logo, pesquisas e estudos direcionados à composição do material da ferramenta, da sua geometria, da vida útil, bem como condições e parâmetros de corte se tornam necessários.

De acordo com Machado et al., (2011), a definição da ferramenta e dos parâmetros de corte utilizados asseguram a produtividade e confiabilidade, além de reduzir a necessidade de trocas excessivas da ferramenta de corte. Por outro lado, a má utilização destes dados combinados, como por exemplo, velocidade de corte, profundidade de corte e avanço, comprometem a integridade física da ferramenta, a qualidade do produto e, conseqüentemente, o aumento do custo de produção. Estes dados variam de acordo com o material e a ferramenta, na qual, a gama de materiais envolvidos varia entre metais ferrosos e não ferrosos, destacando para o primeiro grupo os aços, ferros fundidos, alumínio e bronze e para o segundo grupo os polímeros. Quanto à ferramenta, elas são monocortantes ou multicortantes, e podem trabalhar no estado estacionário ou rotativo.

Os levantamentos dos dados de corte podem ser encontrados em livros técnicos e catálogos de fabricantes de ferramentas, no entanto, é necessário fazer uma correlação com o tipo de material, a condição de usinagem e a aplicação.

1.1 JUSTIFICATIVA

Identificar os dados de corte para usinagem do aço ABNT 1045 por meio de consulta aos catálogos de fabricantes de ferramentas e por meio de pesquisa junto aos profissionais da indústria, analisar comparativamente, levando em conta características da ferramenta, aplicação e condições de usinagem no sentido de avaliar a produtividade e implementar melhorias ao processo de usinagem por fresamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Conhecer características dos processos de fresamento, identificar os recursos técnicos na aplicação das ferramentas e principais processos de desgaste, compreender os fatores envolvidos na usinagem do aço ABNT 1045, identificar dados de corte aplicados na indústria e analisar comparativamente com dados obtidos em catálogos de fabricantes de ferramentas.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Compreender fundamentos dos processos de fresamento;
- Identificar a seleção de fresas para operações de faceamento;
- Selecionar dados de corte para operações de faceamento;
- Pesquisar dados de corte utilizados na indústria mecânica;
- Identificar os fabricantes de ferramentas de corte por meio de pesquisa;
- Identificar ângulos de posição da fresa;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa, serão retratados conceitos teóricos de usinagem, grandezas físicas atribuídas ao fresamento do aço ABNT 1045, assim como, as características de um aço ABNT 1045. Dentre os conceitos relacionados à usinagem, será abordado ferramentas de corte, corte a seco, processo de formação do cavaco e fluido de corte.

3.1 USINAGEM

Segundo Doyle (1964), o processo de usinagem é aquele em que há formação de cavaco por meio da penetração da ferramenta de corte sobre o material usinado, gerando uma rugosidade superficial, além de tolerâncias reduzidas, se comparado com os processos em que não há remoção de material na forma de cavaco. A usinagem pode ser dividida em convencional e não convencional, sendo a primeira caracterizada por ser manual ou CNC. A figura 1 ilustra as etapas dos processos de usinagem.

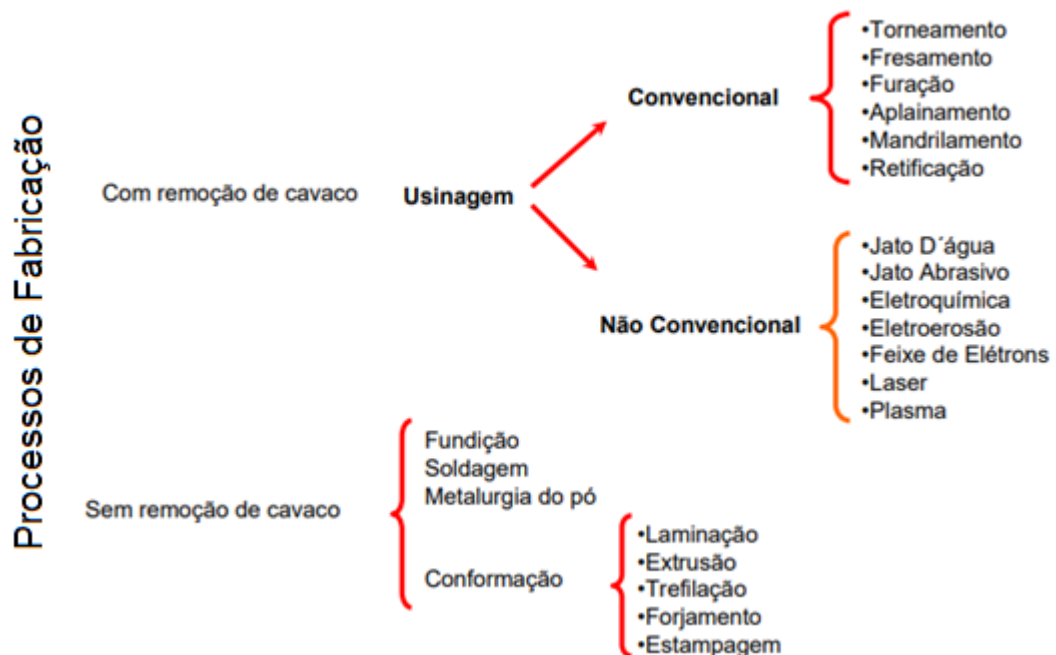


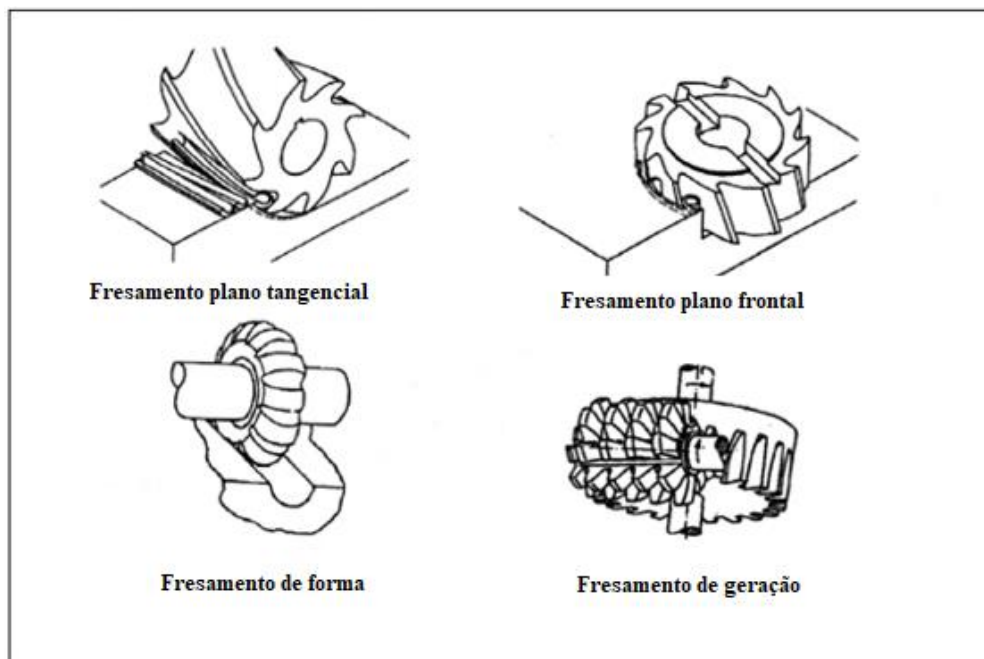
Figura 1 - Principais processos de fabricação.

Fonte: Adaptado de MACHADO et al., (2011) e outros, p.18.

3.2 FRESAMENTO

A fresagem se caracteriza por ser um tipo de usinagem de superfícies planas, de perfil e de usinagem por geração, por meio destes processos se desenvolvem operações de faceamento, abertura de rasgos, usinagem de dentes de engrenagem etc. A trajetória da ferramenta e seu formato, definem as características da superfície usinada. (NBR 6175, 1971). As ferramentas utilizadas geralmente possuem arestas multicortantes e são rotativas. As operações de Fresagem são desenvolvidas nas máquinas ferramentas conhecidas como Fresadoras, as quais podem possuir até 6 eixos de trabalho, sendo três de translação e três de rotação. As vantagens provenientes do processo, se dão na variedade de produtos com diferentes formas que podem ser obtidos, na qualidade superficial, nas altas taxas de remoção de cavaco, na gama de variedades geométricas e tamanhos que se tem das ferramentas, sendo essas obtidas de acordo com a necessidade de produção de superfícies complexas e variação na gama de materiais utilizados. O processo de fresamento é dividido em função da superfície formada, do perfil da ferramenta e da cinemática de corte. A figura 2, ilustra processos de fresamento. (ALBERTO, 2002).

Figura 2 - Processos de fresamento.

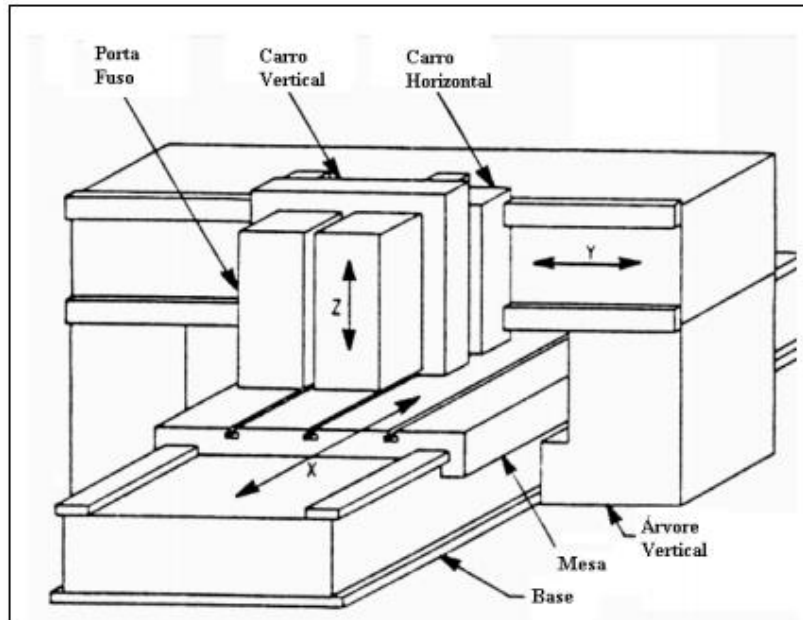


Fonte: STEMMER adaptado (1995).

As máquinas-ferramentas responsáveis por realizar o processo de fresamento são denominadas de fresadoras, construídas para assegurar a realização de movimentos relativos da

peça e da ferramenta na construção do produto (ALBERTO, 2002). A figura 3 apresenta uma máquina ferramenta de 3 eixos.

Figura 3 - Máquina-ferramenta.

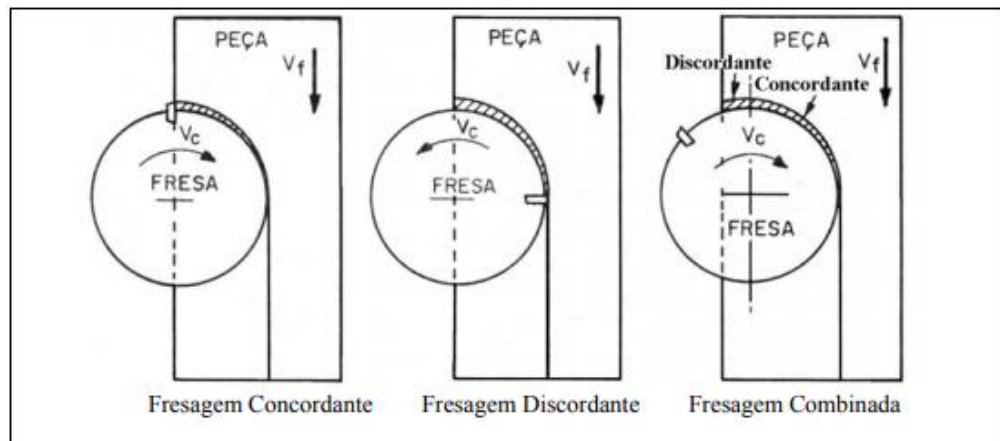


Fonte: ELECTRIC (1980).

Os movimentos estão de acordo com as direções de corte e de avanço, diferenciando-se em fresamento concordante ou discordante. O fresamento concordante é aquele em que o sentido de avanço da mesa tem o mesmo sentido de uma das componentes da força de corte, favorecendo um menor desgaste da ferramenta, devido a uma retirada maior de material na entrada e uma menor quantidade de material na saída. Este fenômeno é conhecido como “regra de ouro do fresamento”. Ao contrário disto, tem-se o processo de fresamento discordante, que se contraria ao que foi apresentado pelo fresamento concordante, estabelecendo desta forma maior atrito e desgaste sobre a ferramenta (SANDVICK, 2002).

A interceptação do eixo da fresa sobre o material da peça, favorece a combinação desses movimentos, sendo caracterizado por se ter um fresamento combinado (STEMMER, 1995). A Figura 4 representa esses movimentos.

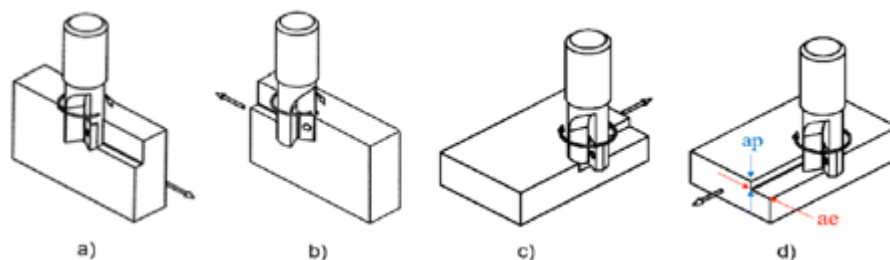
Figura 4 - Movimentos concordante, discordante e combinado.



Fonte: STEMMER (1995).

A usinagem por fresamento tangencial é compreendido por executar boa parte do seu processo na superfície cilíndrica da ferramenta ($a_p > a_e$), enquanto o fresamento horizontal, grande parte é executada na superfície horizontal da ferramenta ($a_p < a_e$), sendo “ a_e ” designado por ser a profundidade radial enquanto “ a_p ” profundidade axial (DIB et al., 2015). A figura 5 apresenta os tipos de usinagem e as profundidades empregadas no corte.

Figura 5 - a) Fresamento tangencial concordante, b) Fresamento tangencial discordante, c) Fresamento frontal concordante, d) Fresamento frontal discordante.



Fonte: DIB et al., (2015).

3.2.1 Fresas

São ferramentas rotativas, providas de múltiplos gumes cortantes, organizados simetricamente ao redor do seu eixo axial, são fabricadas principalmente em metal duro e aço rápido (HSS), podem possuir cobertura ou não, as ferramentas de metal duro em sua maioria são de pastilhas intercambiáveis, mas também são comercializadas na forma integral ou sólidas,

as geometrias comercializadas das ferramentas são vastas, podendo atender diversas formas solicitadas de produtos. (STEMMER, 1995).

A classificação da fresa se dá por dois critérios: a forma geométrica e a sua construção.

a) Classificação quanto a sua forma geométrica:

- Fresas de disco;
- Fresas angulares;
- Fresas de haste ou de topo;
- Fresas cilíndricas;
- Fresas de forma;

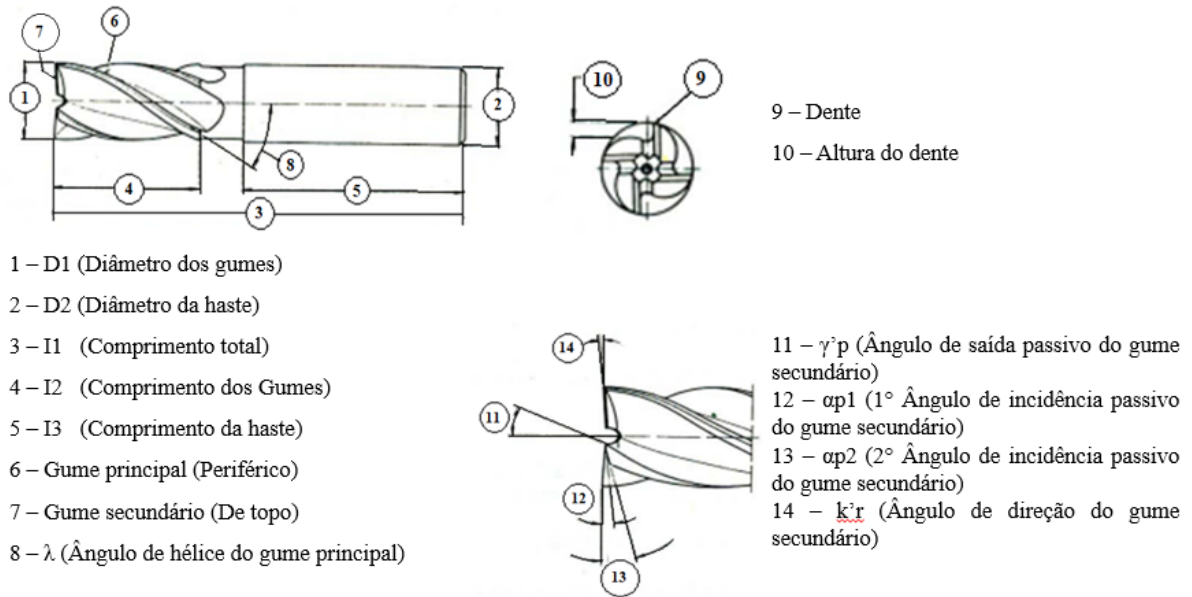
Fresas de topo

De acordo com Alberto (2002), as fresas de topo são destinadas a usinar, ranhurar, executar bolsões, rebaixos, gravações, matrizes, rasgos de tipos e tamanhos diversos, fresar contornos etc. Este tipo de fresa é utilizado para cortar tanto na periferia, como também, na parte frontal, sendo utilizadas em Fresadoras, Mandrilhadoras e Centros de Usinagem.

Fresas de topo de haste cilíndrica

Segundo a norma NBR ISO 1641-1 (2019), mediante ao diâmetro apresentado pelas fresas, elas devem ter no mínimo 2 gumes e no máximo 10 gumes. A figura 6 representa os ângulos e elementos dimensionais da fresa.

Figura 6 - Ângulos e elementos dimensionais da fresa.



Fonte: STEMMER (1995) adaptado.

b) Classificação quanto a sua construção:

- Fresas intercambiáveis: Conforme Alberto (2002), as fresas intercambiáveis são as mais usuais e mais versáteis, pois nesta é possível utilizar insertos, que podem ser facilmente montados e desmontados sobre a suas extremidades. Os insertos diferem em tamanhos, geometrias e composição estrutural.
- Fresas soldadas: São construídas de um corpo de aço, cujos “dentes” do material de corte são soldados, sendo a composição destes, de aços rápidos, metal duro, cerâmicos etc. A vantagem que essas apresentam em relação as inteiriças, se dá no reaproveitamento do seu corpo após os desgastes dos “dentes cortantes”.
- Fresas inteiriças: Em relação as que já foram apresentadas, essa apresenta um melhor custo, pelo fato de ser composta geralmente por apenas um material estrutural, sendo esse, aços rápidos, cuja sua utilização se destina a pequenas produções ou para uso geral em ferramentarias.

3.3 AÇOS CARBONO

De acordo com Silva e Neto (2012), os aços são compreendidos por serem ligas compostas de ferro e carbono, cuja porcentagem de carbono compreende valores entre 0,008 e 2,11%, se diferenciando dos ferros fundidos, cujo teor de carbono está por volta dos 2,06% e 6,67%.

Em função da sua ductibilidade, os aços são mais facilmente deformados, por um processo de conformação mecânica se comparado com peças de ferro fundido. Em sua composição, os aços apresentam alguns elementos de liga, que podem melhorar as suas características. Um exemplo é a presença de níquel, molibdênio, cromo e outros, que são elementos que confere ao aço boa usinabilidade (BEZERRA, D.C. e MACHADO, I.F., 2008).

O aço SAE 1045 é classificado como aço de médio teor de carbono com concentração de carbono em sua composição de 0,45%, apresentando boas propriedades mecânicas, que confere a ele boa usinabilidade quando laminado a quente ou normalizado. São amplamente utilizados para manufatura de componentes de máquinas e aplicações estruturais devido ao seu custo relativamente baixo. Dentre os aços presentes, o SAE 1045 é utilizado na fabricação de peças para a indústria mecânica em geral, além de aplicações estruturais (JOSÉ, BERTELLI e FREITAS, 2019).

A tabela 1 apresenta a composição química dos aços carbonos, sendo expressa a concentração em (%).

Tabela 1 - Composição química dos aços carbonos.

SAE-AISI	C	P	Si	S	Mn
1040	0,37 - 0,44	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,60 - 0,90
1042	0,40 - 0,47	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,60 - 0,90
1043	0,40 - 0,47	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,70 - 1,00
1044	0,43 - 0,50	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,30 - 0,60
1045	0,43 - 0,50	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,60 - 0,90
1046	0,43 - 0,50	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,70 - 1,00
1049	0,46 - 0,53	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,70 - 1,00
1050	0,48 - 0,55	0,04 máx.	0,60 máx.	0,50 máx.	0,60 - 0,90

Fonte: GALLO, GIULLIANO, A. (2006).

A tabela 2 representa a caracterização da usinabilidade do aço em função da sua microestrutura (SALDARRIAGA, PABLO, A.C. 2008).

Tabela 2 - Característica da usinabilidade do aço.

Teor de carbono	Característica da usinabilidade
(Baixo carbono) $\leq 0,2\%$	Usinados em estado laminado. Quando submetidos ao encruamento (Ex.:trefilação a frio) a dureza aumenta e produz um grão ferrítico pequeno, melhorando sua usinabilidade.
(Médio carbono) 0,2% a 0,3%	Apresentam melhor usinabilidade quando apresentam estrutura Perlítica em seções acima de 75 mm de diâmetro. A melhor microestrutura é obtida através do tratamento térmico de normalização.
(Médio carbono) 0,3% a 0,4%	Possuem boa usinabilidade quando apresentam uma microestrutura Perlítica grosseira, com um mínimo de Ferrita obtida por recozimento.
(Médio e alto carbono) 0,3% a 0,6%	Apresentam melhor usinabilidade quando sua microestrutura é Perlítica lamelar e esferoidizada.
(Alto Carbono) $> 0,6$	Apresenta melhor usinabilidade com estrutura esferoidizada.

Fonte: SALDARRIAGA, PABLO, A.C. (2008).

Os aços que possuem grãos austeníticos pequenos, inferiores a 5, de acordo com a escala ASTM, se tornam mais complexos de usar, em relação a outros, que apresentam tamanhos de grãos superiores a 5. Além disto, grãos menores, são preferenciais para obtenção de um melhor acabamento superficial (SILVA e NETO, 2012).

Fresamento do aço 1045

Segundo Brandão (2019) na publicação de seu estudo, ele nos mostra que para realizar um processo de desbaste de um aço SAE 1045 em um fresamento deve-se adotar apenas três parâmetros de corte: Velocidade de corte, profundidade de corte e avanço, sendo que, cada um

desses valores deve obedecer às recomendações indicadas e fornecidas pelos fabricantes de ferramentas a serem utilizados na realização do processo de usinagem.

No processo de usinagem por fresamento, existe uma grande diversidade de fabricantes de ferramentas que atuam no seguimento industrial, mas no estudo em questão, levou-se em conta os fabricantes: Sandvik, Iscar, Walter e Mitsubishi, que foram mencionados na pesquisa. Cada um deles fornecem valores específicos para definição dos parâmetros de corte no processo de fresamento de desbaste de um aço SAE 1045, conforme é apresentado no quadro 1 ao 4.

Quadro 1 - Informações (Catálogo SANDVIK).

SANDVIK
Resumo do inserto intercambiável
Aços baixa liga 180 HB até 350 HB.
KAPR = 45°
Material ABNT 1045 (P2).
Aplicação: Fresamento médio.
Fresamento sem refrigeração
Designação: Coromill 245 – Primeira escolha para produção mista – Usinagem média.
Dados de corte:
Fz = 0,24 mm
Vc = 215 m/min
Ap = 3 mm
Fonte: Catálogo SANDVIK Ferramentas Rotativas 2020.

Fonte: SANDVIK (2020) adaptado.

Quadro 2 - Informações (Catálogo WALTER).

WALTER
Resumo do inserto intercambiável
Aços baixa liga 180 HB até 350 HB.
KAPR = 45°.
Material ABNT 1045 (P2).
Aplicação: Fresamento médio.
Fresamento sem refrigeração
Designação: F2010 – CLASSE: WKP25S – Inserto para usinagem média.
Dados de corte:
Fz = 0,15 a 0,20 mm
Vc = 170 m/min
Ap = 3 mm
Fonte: Catálogo Geral Walter 2017.

Fonte: WALTER (2017) adaptado.

Quadro 3 - Informações (Catálogo MITSUBISHI).

MITSUBISHI
Resumo do inserto intercambiável
Aços baixa liga 180 HB até 350 HB.
KAPR = 45°
Material ABNT 1045 (P2).
Aplicação: Fresamento médio.
Fresamento sem refrigeração
Designação: F2010 –WSSX445 MP6130 (1ª recomendação) – Usinagem média.
Dados de corte:
Fz = 0,15 a 0,25 mm
Vc = 150 a 250 m/min
Ap = 3 mm
Fonte: CATÁLOGO MITSUBISHI. Ferramentas Rotativas FRESAMENTO 2019.

Fonte: MITSUBISHI (2019) adaptado.

Quadro 4 - Informações (Catálogo ISCAR).

ISCAR
Resumo do inserto intercambiável
Aços baixa liga 180 HB até 350 HB.
KAPR = 45°.
Material ABNT 1045 (P2).
Aplicação: Fresamento médio.
Fresamento sem refrigeração.
Designação: SEHW-AFTN – Inserto para usinagem média.
Dados de corte:
Fz = 0,12 a 0,20 mm
Vc = 125 a 150 m/min
Ap = 3 mm
Fonte: Catálogo ISCAR Online MILLING INSERTS 2019.

Fonte: ISCAR (2019) adaptado.

3.4 GRANDEZAS FÍSICAS ASSOCIADAS AO PROCESSO DE USINAGEM

Segundo a Norma Brasileira NBR 6162 (1989), as grandezas físicas são conceitos utilizados para a configuração da máquina-ferramenta, sendo ajustados diretamente ou indiretamente, promovendo a formação do cavaco, sendo eles:

- a) Movimento de corte: É realizado entre a peça e aresta de corte da ferramenta, provocando a remoção de material durante uma única rotação da ferramenta.
- b) Movimento de avanço: Movimento efetuado entre a peça e ferramenta, que juntamente combinado ao movimento de corte, permite a remoção contínua de material ao longo da peça.
- c) Movimento efetivo: É a resultante da combinação do movimento de corte com o movimento de avanço, realizados simultaneamente.
- d) Velocidade de corte (V_c): Compreende-se por ser a velocidade tangencial instantânea da ferramenta resultante da rotação, sendo representada pela seguinte expressão, conforme a equação 1:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Em que:

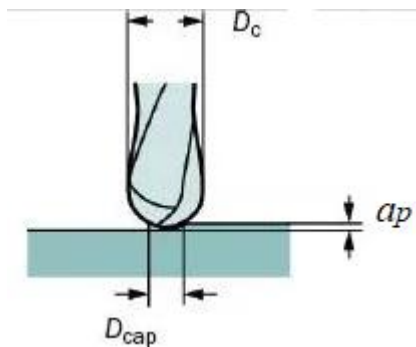
V_c : Velocidade de corte (m/min)

d : Diâmetro da ferramenta (mm)

n : Rotação da ferramenta (rpm).

- e) Velocidade de corte efetiva (V_{ce}): Compreende-se por ser a velocidade tangencial instantânea do movimento efetivo, em um determinado ponto. Para uma melhor representatividade segue a figura 7. O diâmetro efetivo de contato da ferramenta (D_{cap}) é menor se equiparado ao diâmetro da ferramenta (D_c).

Figura 7 - Representação do Diâmetro efetivo da ferramenta, diâmetro da ferramenta e profundidade de corte.



Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

- f) Velocidade de avanço (V_f): Compreendido por ser a velocidade instantânea do movimento de avanço, calculada da seguinte maneira, conforme a equação 2:

$$V_f = f_z \cdot n \cdot z \quad (2)$$

Em que:

V_f : Velocidade de avanço (mm/min)

f_z : Avanço por dente (mm)

n : Rotação (rpm)

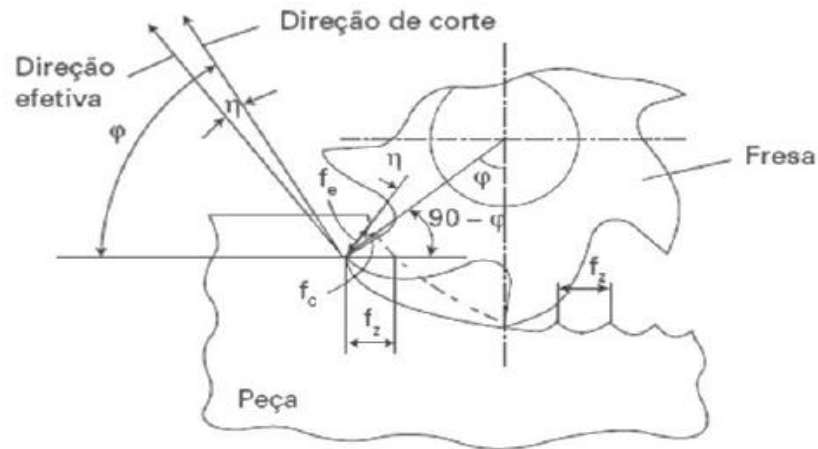
z : Número de dentes da fresa

De acordo com Machado et al., (2011) e Ferraresi (1977), as grandezas de corte devem ser ajustadas na máquina, direta ou indiretamente, sendo parâmetros utilizados no processo de fresamento conforme definidos abaixo:

- Avanço (f): É a distância percorrida pela fresa a cada volta completa, medida no plano de trabalho.
- Avanço por dente (f_z): É o deslocamento de avanço por cada dente aferido na direção de avanço da ferramenta. Este ainda, pode ser subdividido no avanço por corte (f_c) e no avanço efetivo de corte (f_e), sendo evidenciado na figura 8. Para o primeiro caso, (f_c) pode ser interpretado como sendo a distância presenciada entre duas superfícies consecutivas de usinagem, medida a partir da direção perpendicular à direção de corte no plano de trabalho. Tal afirmação é representada pela equação 3:

$$f_c = f_z \cdot \text{sen}\varphi \left(\frac{\text{mm}}{\text{dente}} \right) \quad (3)$$

Figura 8 - Avanço por corte (f_c), avanço por dente (f_z) e avanço efetivo (f_e).



Fonte: MACHADO et al., (2011).

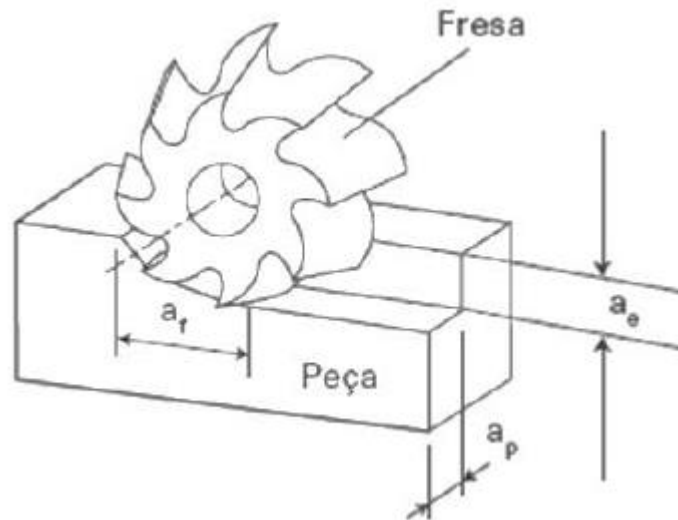
- Avanço efetivo (f_e): É compreendido como sendo a distância existente entre duas superfícies consecutivas de usinagem, medida a partir da direção perpendicular à direção efetiva de corte, no plano de trabalho. Para um melhor entendimento a equação 4 elucida tal situação:

$$f_e = f_z \cdot \text{sen}(\phi - \eta) \left(\frac{\text{mm}}{\text{dente}} \right) \quad (4)$$

- Profundidade de corte (a_p): É a profundidade de penetração da ferramenta na peça, aferida por meio de uma direção perpendicular ao plano de trabalho.
- Penetração de trabalho (a_e): É a quantidade que uma ferramenta pode ou não penetrar na peça, se distinguindo da profundidade de corte, sendo esta perpendicular à direção de avanço, medida no plano de trabalho.
- Penetração de avanço (a_f): É a grandeza de penetração da ferramenta, aferida no plano de trabalho e na direção de avanço.

Tais grandezas mencionadas são evidenciadas na figura 9.

Figura 9 - Penetração de trabalho (a_e), profundidade ou largura de usinagem (a_p) e penetração de avanço (a_f).



Fonte: MACHADO et al., (2011).

Conhecer sobre a aplicação da força durante um processo de usinagem se torna necessário, fazendo com que o estudo e a compreensão dos componentes que favorecem a sua existência se torne primordial, pois, por meio desta, é possível estipular a potência necessária para o corte, além das componentes das forças que agem sobre a ferramenta de corte. (MACHADO et al., 2011).

Conforme Machado et al., (2011), é notório identificar seis componentes de forças de usinagem mais expressivas durante uma operação de fresamento, sendo elas:

- Força de corte ou principal de corte (F_c): É compreendida como a força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção de corte, a uma dada velocidade de corte.
- Força de avanço (F_f): É compreendida como a força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção de avanço, dada pela velocidade de avanço.
- Força passiva ou de profundidade (F_p): É compreendida como a força de usinagem perpendicular ao plano de trabalho.
- Força ativa (F_{RT}): É compreendido como a força de usinagem sobre o plano de trabalho.
- Força de compressão (F_n): É compreendida como a força de usinagem sobre uma direção perpendicular à superfície principal de corte.

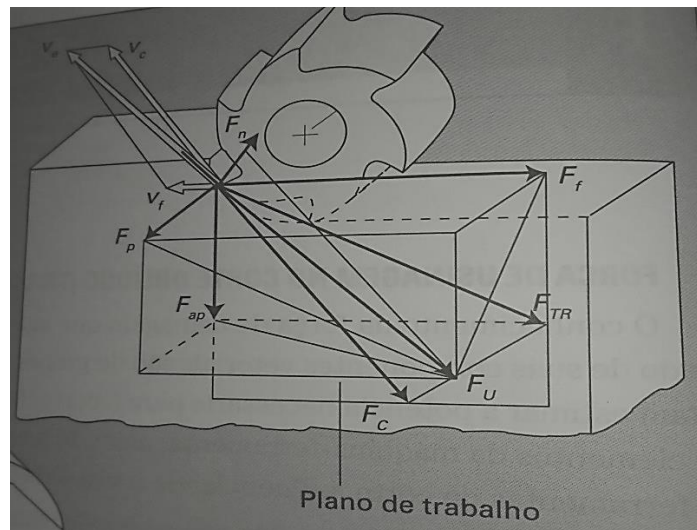
- Força de apoio (F_{ap}): É compreendida como a força de usinagem sobre uma direção perpendicular à direção de avanço, situada no plano de trabalho.

Cabe ressaltar que a força de usinagem é comumente decomposta em três componentes principais, sendo evidenciada na equação 5.

$$F_U = \sqrt{F_{ap}^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (5)$$

A figura 10 evidencia a atuação das forças de usinagem no processo de fresamento.

Figura 10 - Força de usinagem e suas componentes atuantes sobre o processo de fresamento.



Fonte: FERRARESI, 1977 apud MACHADO et al., (2011) adaptado.

A formação do cavaco e a sua saída se dá em função da geométrica de corte da ferramenta, que influencia diretamente para a sua remoção, sem causar severos danos à ferramenta e a peça usinada. Porém, a geometria da ferramenta não se torna o único fator propício para facilitar a remoção do cavaco, mas sim, os ângulos que a compõem, sendo eles (FERRARESI 1977):

3.4.1 Ângulo de posição da ferramenta (KAPR)

Ângulo situado entre o plano de corte da ferramenta e o plano admitido de trabalho, medido entre a face da aresta de corte da ferramenta com a superfície do material usinado,

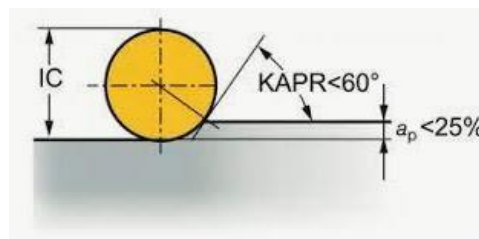
representado pela norma ISO através das siglas KAPR. Os ângulos mais comuns são os de 90°, 45°, 10° e os de pastilhas redondas, os quais estão intimamente relacionados com a profundidade de corte. As figuras 11 e 12 ilustram os ângulos de corte para dois tipos de pastilhas (SANDVIK, 2020).

Figura 11 - Ângulo de posição.



Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

Figura 12 - Ângulo de posição de pastilha redonda.



Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

Os ângulos de posição representam grande importância no processo de usinagem, além de ser um critério que deve ser levado em conta na seleção da ferramenta, pois trata-se de um fator determinante para definição do avanço por aresta de corte, uma vez que, quanto menor o ângulo, maior poderá ser o avanço. O quadro 5 representa os fatores de multiplicação do avanço por aresta de corte para diferentes ângulos de posição. Para o ângulo de posição de 90° o valor do avanço por aresta não sofre alteração (SANDVIK, 2021).

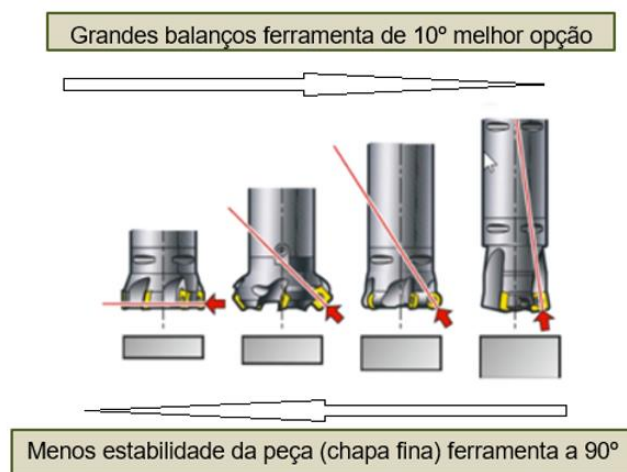
Quadro 5 - Fatores multiplicadores do avanço por aresta de corte.

Ângulo de posição KAPR (PSIR)	h_{ex} relativo a f_z	Fator de modificação	Avanço por dente, f_z , mm/z (pol./z):		
			0,1 (0,004)	h_{ex} mm (pol.) 0,15 (0,006)	0,2 (0,008)
90° (0°)	1,00	1,0	0,10 (0,004)	0,15 (0,006)	0,20 (0,008)
75° (15°)	0,97	1,04	0,10 (0,004)	0,16 (0,0063)	0,21 (0,0082)
65° (25°)	0,91	1,1	0,11 (0,0043)	0,17 (0,0067)	0,22 (0,0087)
45° (45°)	0,71	1,4	0,14 (0,0055)	0,21 (0,0083)	0,28 (0,011)
10° (80°)	0,17	5,8	0,58 (0,0228)	0,86 (0,0339)	1,15 (0,0453)

Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

Os ângulos de posição contribuem também para a estabilidade na usinagem do material, evitando vibrações, devido as forças de corte serem direcionadas em função do ângulo, tornando-se um fator importante para seleção da ferramenta em função da geometria do material, pois superfícies de pequena espessura podem sofrer deformações devido ao esforço axial da ferramenta sobre a face do material usinado. A figura 13 apresenta a orientação dos esforços de corte em função do ângulo de posição e orienta a escolha quanto a espessura do material e balanço da ferramenta (SANDVIK, 2021).

Figura 13 - Orientação dos esforços de corte em função do ângulo de posição.



Fonte: Adaptada de SANDVIK (2021).

3.4.2 Ângulo de ponta da ferramenta (ϵ_r)

Está situado entre o plano principal de corte (Ps) e o secundário de corte (Ps'), sendo medido no plano de referência, cuja finalidade é assegurar a resistência da ponta da ferramenta e sua capacidade de dissipar calor (MACHADO et al., 2011).

3.4.3 Ângulo de inclinação (λ_s)

De acordo com Machado et al., (2011), este se encontra situado no plano principal de corte (Ps) e o plano de referência (Pr), sendo medido na aresta de corte (s), apresentando a indicação da ponta de corte através de seu vértice, sendo sempre agudo. Suas funções são:

- Influi no direcionamento do cavaco;
- Preserva o gume da ferramenta contra impactos;
- Reduz as vibrações quando negativo;

3.4.4 Ângulo de folga (α_o)

Pode ser denominado também como ângulo de incidência, ele está situado entre a superfície de folga ($A\alpha$) e o plano de corte principal (Ps), medido no plano ortogonal, variando de 5° a 20°, cuja função é reduzir o atrito provocado entre a peça e a superfície de folga da ferramenta (DINIZ et al., 2001).

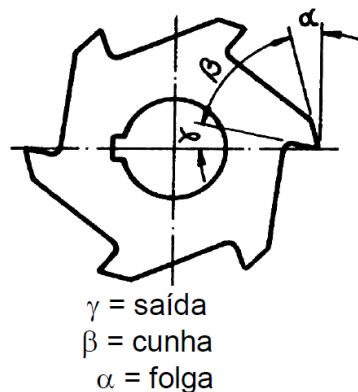
3.4.5 Ângulo de saída (γ_o)

Segundo Machado et al., (2011), este é situado entre a superfície de saída ($A\gamma$) e o plano de referência (Pr), medido no plano ortogonal, definido de acordo com o material da peça, pelo fato de influenciar a força, a potência necessária de corte e conseqüentemente o acabamento e do calor gerado. Vale ressaltar que, a sua variação proporciona uma melhor quebra do cavaco, na qual, quanto maior for o ângulo (γ_o), menor será o dobramento do cavaco e vice-versa.

3.4.6 Ângulo de cunha (β)

Está situada entre a superfície de folga ($A\alpha$) e a de saída ($A\gamma$), sendo medido no plano ortogonal, determina a resistência oferecida à ferramenta de maneira a receber os choques com maior ou menor intensidade. A figura 14 representa o ângulo de cunha (MACHADO et al., 2011).

Figura 14 - Ângulos de folga saída e cunha.



Fonte: SENAI MG (1984).

3.4.7 Raio de ponta (r_ϵ)

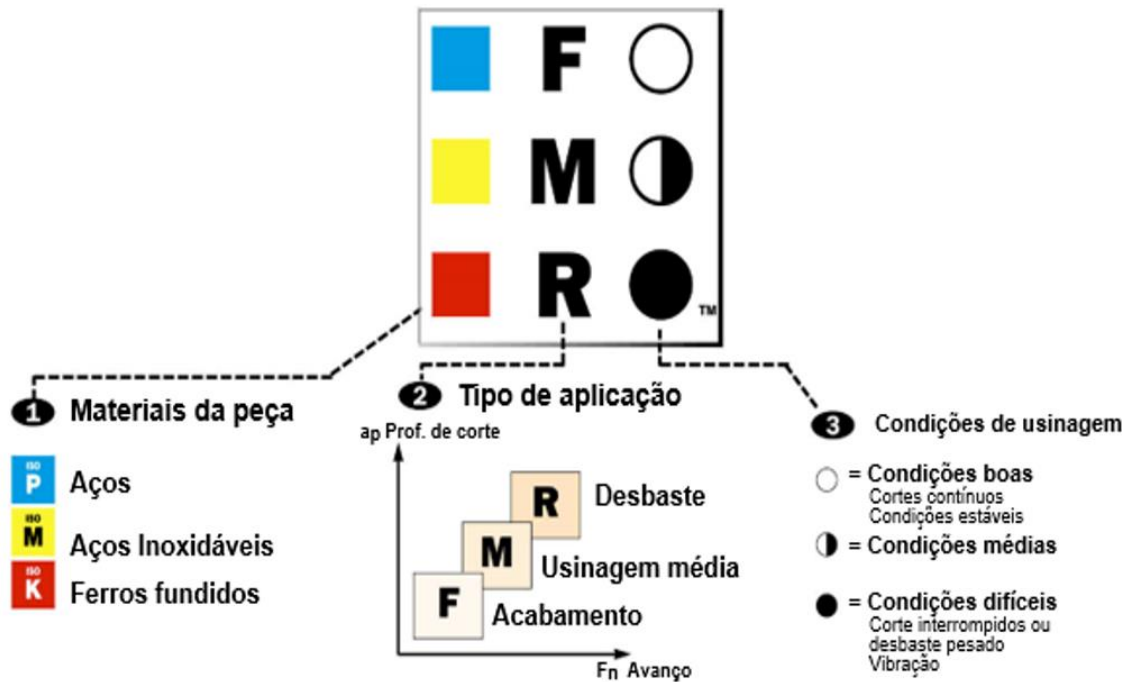
Está situado entre o plano principal (P_s) e o secundário (P_s'), sendo medido no plano de referência, representando o raio da ponta da ferramenta que, porventura, desempenha uma forte influência atribuída a rugosidade. Mediante a isso, ressalta-se que o seu aumento propicia em uma resistência mecânica mais elevada em sua ponta, proporcionando maior contato com a peça, que em contrapartida, induz vibrações (DINIZ et al., 2001).

3.5 SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE CORTE

A seleção da ferramenta de corte deve levar em conta o material da peça, o tipo de aplicação e a condição de usinagem. Cada material apresenta um grau de usinabilidade que favorece ou dificulta o corte, sendo necessário uma ferramenta específica ou de condições versátil para várias aplicações. A aplicação define o tipo de usinagem quanto a acabamento, usinagem média ou desbaste e, para cada uma delas, tem-se uma geometria da pastilha e uma

geometria específica da aresta de corte. A condição de usinagem orienta quanto as condições de fixação, rugosidade do material a ser usinado, cortes interrompidos, entre outros (SANDVIK, 2021).





Figura 15 – Critérios para seleção da ferramenta e dados de corte.



Fonte: SANDVIK (2021).

Outro fator a considerar é o passo da Fresa, o qual pode impactar na eliminação da vibração, no acabamento, desbaste, tipos de materiais etc. O passo se refere ao espaçamento dos dentes e este pode ser uniforme ou não. O quadro 6 apresenta os diferentes passos de fresas.




Quadro 6 - Passos de fresas de facear.

Largo - L		Fino - M		Extra-fino - H		Extra-fino plus - HX	
<ul style="list-style-type: none"> • Passo diferencial; •Primeira escolha para set-ups instáveis; •As mais baixas forças de corte; •Utilize onde houver situações de potência; •Ferramenta longa; •Fresamento de canais em cheio; •Materiais que produzem cavacos longos; 		<ul style="list-style-type: none"> •Passo uniforme ou diferencial (dependendo do conceito); •Primeira escolha para desbaste em condições estáveis; •Boa produtividade; •Bom espaço para escoamento de cavacos, para desbaste em materiais ISO P, M e S; 	<ul style="list-style-type: none"> •Passo uniforme; •Primeira escolha para uma alta produtividade com baixa ae; •Desbaste e acabamento em ISO K; •Desbaste em materiais ISO S, em combinação com pastilhas redondas; 	<ul style="list-style-type: none"> •Passo uniforme com o número máximo de pastilhas; •Primeira escolha para uma alta produtividade em excelentes condições; •Desbaste e acabamento em ISO K; •Desbaste em ISO S, em combinação com pastilhas redondas; 			

Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

A geometria da pastilha pode ser entendida quanto a forma geométrica geral do inserto que pode ter vários formatos, são eles: redondo, triangular, quadrado etc. A geometria de corte do inserto, possui as formas representadas pelas letras: L – M – H, as quais se referem, ao ângulo de saída, face da aresta e arredondamento da aresta. A figura 16 apresenta a geometria da aresta de corte de uma pastilha redonda (SANDVIK, 2021).

Figura 16 - Geometria da aresta de corte de uma pastilha redonda.

		
Extra-positivo	Geometria de uso geral	Aresta de corte reforçada
Usinagem leve	Taxas de avanço médias	Usinagem pesada
Baixas forças de corte	Operações médias até desbaste leve	A mais alta segurança de aresta
Baixas taxas de avanço		Altas taxas de avanço

Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

As pastilhas redondas seguem a mesma regra, uma vez que, a aplicação destas pastilhas ocorre com variação dos ângulos de posição. Para a pastilha redonda, o ângulo de posição de 90°, corresponde a uma profundidade igual ao valor do raio da pastilha e a espessura do cavaco é igual ao valor do avanço por pastilha. Para valores de profundidades menores, o ângulo de

posição será menor e a espessura do cavaco também. Desta forma, o fator de multiplicação do avanço vem para compensar esta redução na espessura do cavaco. O quadro 7 representa os fatores de multiplicação do avanço por aresta de corte (SANDVIK, 2021).

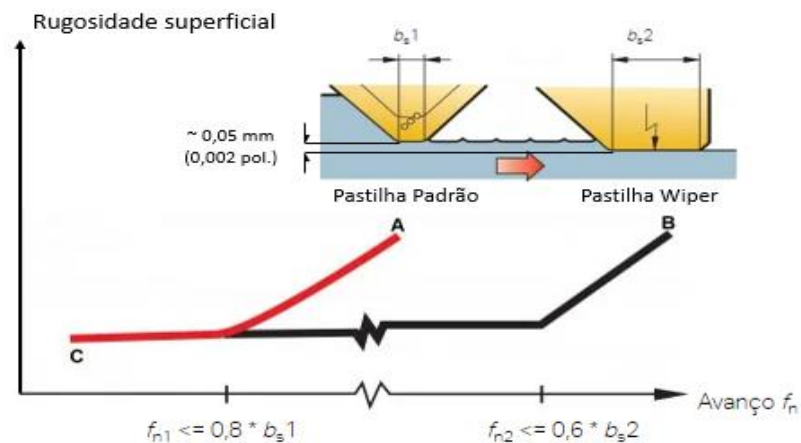
Quadro 7 - Fatores multiplicadores do avanço por aresta de corte.

IC	Espessura máx. dos cavacos, h_{ex} CoroMill 300 E-PL			Avanço por dente, f_z , mm/z (pol./z)							
				a_p , mm (pol.)							
	Min.	Início	Máx.	0,5 (0,020)	1,0 (0,039)	1,5 (0,059)	2,0 (0,098)	2,5 (0,098)	3,0 (0,118)	3,5 (0,138)	4,0 (0,157)
8	0,10 (0,0039)	0,15 (0,0059)	0,20 (0,0079)	0,31 (0,0122)	0,23 (0,0091)	0,19 (0,0075)	0,17 (0,0067)				
10	0,10 (0,0039)	0,20 (0,0079)	0,25 (0,0098)	0,46 (0,0181)	0,33 (0,0130)	0,28 (0,0110)	0,25 (0,0098)	0,23 (0,0091)			
12	0,10 (0,0039)	0,20 (0,0079)	0,25 (0,0098)	0,50 (0,0197)	0,36 (0,0142)	0,30 (0,0118)	0,27 (0,0106)	0,25 (0,0098)	0,23 (0,0091)		
16	0,10 (0,0039)	0,20 (0,0079)	0,25 (0,0098)	0,57 (0,022)	0,41 (0,0134)	0,34 (0,0134)	0,30 (0,0118)	0,28 (0,0110)	0,26 (0,0102)	0,24 (0,0094)	0,23 (0,0091)

Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

As pastilhas alisadoras, também conhecida como Wiper, apresentam alta produtividade, desenvolvidas para trabalhar com o dobro do avanço das pastilhas tradicionais e possibilitar o mesmo acabamento. Sua aplicação é voltada para a usinagem de semi-acabamento e acabamento. Os valores atribuídos as pastilhas alisadoras se tornam os mesmos utilizados pelas pastilhas tradicionais, se diferenciando apenas pelo raio de contato da pastilha com o material, sendo que, para essa, a região de contato se torna superior em comparação a uma pastilha tradicional. A figura 17 representa, de forma comparativa, a pastilha tradicional e a pastilha alisadora com parâmetros de avanço e rugosidade superficial.

Figura 17 - Diferenças entre uma pastilha tradicional e uma pastilha "alisadora".

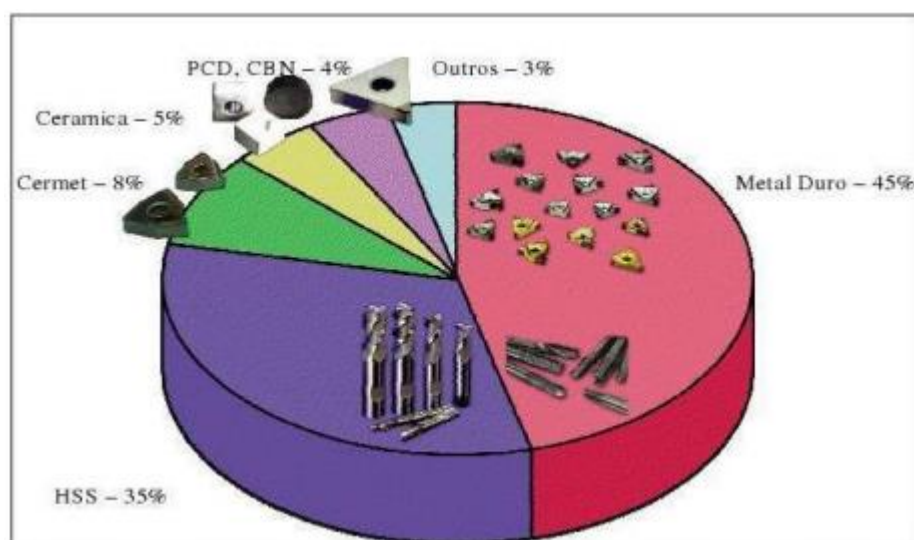


Fonte: Adaptado de SANDVIK (2021).

3.5.1 Metal Duro

Segundo Diniz et al. (2001), o metal duro é um material obtido por meio da metalurgia do pó, com grande utilização na usinagem, apresentando uma excelente combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica e tenacidade. A sua constituição se dá por meio da mistura de diversos pós-metálicos que são prensados e sinterizados, formando matérias de elevada densidade, como no caso dos compostos de carbonetos de tungstênio combinados com os carbonetos de titânio, tântalo ou nióbio incrustado no metal ligante. A figura 18 representa os percentuais dos tipos de ferramentas utilizados nos processos de usinagem.

Figura 18 – Percentuais dos materiais utilizados para ferramenta de corte.



Fonte: ISCAR (2011).

A origem do metal duro se deu na Alemanha no ano de 1923, por meio da combinação de cobalto com tungstênio – WC/Co (MITSUBISHI, 2001). No passar do tempo, ele foi sendo aprimorado, se tornando um dos materiais mais nobres a serem utilizados na confecção e construção de ferramentas utilizadas na usinagem. Uma das características presenciada com a obtenção e utilização do metal duro na usinagem é a elevada velocidade de corte, em relação aos aços rápidos, chegando a 250 e 300m/min, para os metais duros, enquanto para os aços rápidos, faixas médias de velocidade de 35m/min (MACHADO et al.,2011).

Antes da adição dos elementos de liga ao metal duro, a sua composição original apresentava cerca de 81% WC, 6% C e 13% Co (STEMMER, 1995). Por volta do ano de 1930, foi adicionado ao metal duro, elementos ligantes, como o carboneto de titânio (TiC), carboneto

de tântalo (TaC) e carboneto de nióbio (NbC), que contribuíram para amenizar os efeitos provocados após e durante o processo de usinagem, tais como o desgaste de cratera durante a usinagem de aços. Características ligadas a resistência ao desgaste, altos níveis de tenacidade e alta resistência mecânica, contribuíram para o metal duro, por meio da adição de elementos ligantes em sua composição, a versatilidade e utilidade em processos de usinagem, principalmente quando se trata de usinagem de materiais não ferrosos e ferro fundidos. Cabe salientar que, outra importante característica que é conferida ao metal duro com a adição dos elementos ligante é resistência a dureza a quente, sendo situada por volta de 400 HV a 1000 °C, (ABRÃO, 1993 apud SILVA 2007).

A adoção do metal duro em processos de usinagem, se tornou muito benéfico, pois favoreceu para que, matrizes de diamante, que antes eram muito usuais no processo de usinagem, fossem substituídas, promovendo redução nos custos de usinagem, visto que estas, por sua vez, tinham um elevado custo em relação ao metal duro. Devido a sua elevada resistência ao desgaste, o metal duro é uma ferramenta de corte muito usual em operações de fresamento a altas velocidades, além de apresentarem propriedades refratárias (UPADHYAYA, 1998 apud OLIVEIRA, 2007).

As ferramentas de corte utilizadas no processo de usinagem foram classificadas de acordo com a norma ISO 513:2004, sendo divididas por letras K, M e P, de acordo com as características básicas do metal duro (DINIZ et al., 2001; FERRARESI, 1977). As letras H, N e S também são utilizadas, relacionando o metal duro com outros materiais para aplicações mais específicas (WALTER, 2000 apud SANDVIK, 2002). Tais classificações são definidas a seguir:

- Classe H – Representam os metais duros e os materiais cerâmicos ($Al_2O_3 + TiC$ e PCBN) na qual, são utilizados em usinagem de ferros fundidos temperados, aços temperados, ferro fundido coquilhado e aço manganês;
- Classe K – Foi o grupo pioneiro, sendo constituído principalmente pelo carboneto de tungstênio aglomerado por cobalto. Sua aplicação é destinada para a usinagem de metais frágeis, ligas ferrosas e materiais não metálicos, visto que, a sua elevada dureza, favorece para o desgaste de cratera;
- Classe M – Grupo de metais duros que possuem propriedades intermediária, adotados em ferramentas que possuem múltiplas aplicações, sendo destinado a usinagem de metais e ligas ferrosas que formam cavacos tanto curtos quanto longos, durante o processo de usinagem. Os materiais em que são submetidos a usinagem com a utilização

das características atribuídas a este grupo são: aços inoxidáveis autênticos, martensíticos e ferríticos; aços-manganês; ferros fundidos; aços fundidos e ferros fundidos maleáveis;

- Classe N – Representam o PCD e os metais duros, cuja aplicação se destina vários tipos de alumínio assim como em metais não ferrosos, plásticos e madeira;
- Classe P – Representa os metais duros com alto teor de TaC e TiC, proporcionando elevada dureza a quente e resistência ao desgaste para os ferramentais, na qual as suas ferramentas de corte são destinadas a usinagem de aços de alta liga, aços fundidos, ferros maleáveis e aços não ligantes. Um fator que trona agravante durante a utilização é o desgaste de cratera, pois o atrito proporcionado entre a ferramenta de corte e o cavaco se torna alto o suficiente para promover elevadas temperaturas na superfície de saída da ferramenta. Por isso, não são recomendados para a usinagem de aços inoxidáveis com estrutura austenítica;
- Classe S – Grupo situado entre os metais duros e os cerâmicos ($Al_2O_3 + SiC$), sendo recomendados para a usinagem de ligas que apresentam elevada resistência ao calor, em especial ligas que são a base de níquel ou cobalto; aços de alta liga; titânio e suas ligas, assim como também, matérias que apresentam alta resistência de formação de cavaco durante a usinagem;

A finalidade que um revestimento proporciona à ferramenta é a longevidade da sua vida útil por meio do aumento da resistência ao desgaste da camada superior, sujeita ao contato entre o cavaco com a peça. Tais revestimentos são de óxidos de alumínio, nitreto de titânio, carboneto de titânio e carbonitreto de titânio, se dando a sua deposição na ferramenta de corte por meio do processo deposição química em fase de vapor (CVD) e da deposição física em fase vapor (PVD) (GRAHAM, 1994). Os tipos de revestimentos existentes são mencionados logo abaixo:

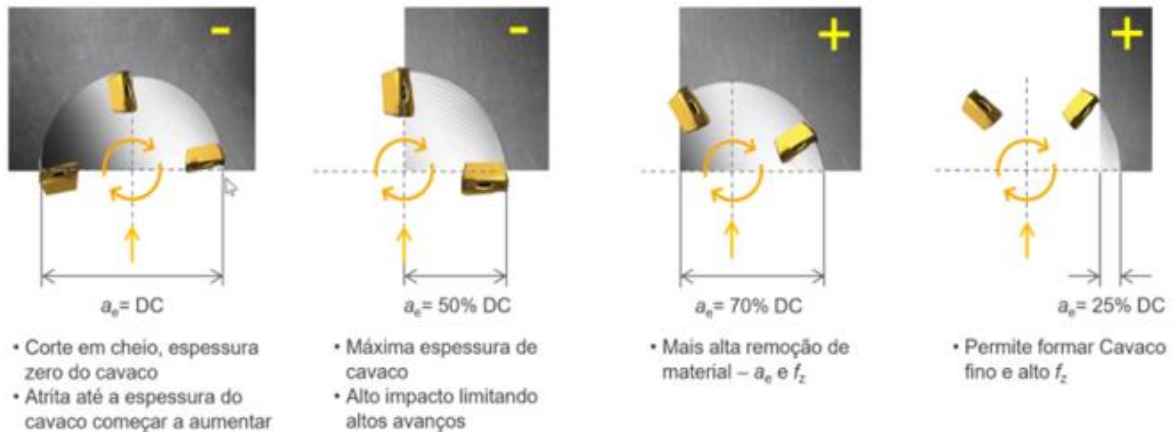
- Revestimento de Nitreto de Titânio-Alumínio (TiAlN): Este processo se dá por meio da deposição física em fase vapor (PVD), conferindo a ferramenta elevada tenacidade e estabilidade contra a oxidação. Sua aplicação se torna ideal para processos que necessitam de elevadas velocidades de corte e altos avanços. Este tipo de revestimento é submetido a brocas e machos, em processos de corte sem lubri-refrigeração;
- Revestimento de Carbonitreto de Titânio (TiCN): Da mesma maneira que o processo anterior, a sua deposição na superfície da ferramenta de corte é por meio do processo PVD, sendo um revestimento que proporciona maior dureza em relação ao de nitreto de titânio (TiN), apresentando menor coeficiente de atrito. A presença da tenacidade confere uma boa resistência ao desgaste, sendo recomendado para ferramentas de fresar.

- Revestimento de TiAlN-X: É uma variação dos revestimentos apresentados em que, a sua deposição é feita em camadas mais finas (nano camadas), que proporciona ao material, elevada resistência à temperatura, elevada tenacidade e dureza, sendo indicado para ferramentas destinadas a operações que não necessitam de fluido de corte e corte de materiais de elevada dureza;
- Revestimentos de Nitreto de Cromo (CrN): Revestimento destinado para aços de baixa liga e ligas de alumínio, apresentando baixa resistência na formação de gume postiço na ferramenta;
- Revestimento de Nitreto de Zircônio (ZrN): Assim como o revestimento de (TiCN), este se dá por meio do processo PVD, sendo também um revestimento cerâmico, utilizado em ferramentas destinadas a usinagem de alumínio e suas ligas;
- Revestimento de Diamante: É destinada para usinagem de ligas de alumínio de baixo silício, sendo constituído por uma camada de diamante amorfo, com baixo coeficiente de atrito e elevada tenacidade.

3.6 IMERSÃO RADIAL DA FRESA NO FACEAMENTO

A posição da Fresa em relação ao material a ser usinado em uma operação de faceamento, determina o arco de contato, que é a razão entre a largura de corte e o diâmetro da Fresa. Este arco de contato deve ser organizado de tal maneira que se obtenha um cavaco espesso na entrada e um cavaco fino na saída, sendo este processo conhecido como “Regra de ouro no fresamento”. O posicionamento favorece a vida útil, contribuindo com a produtividade, permitindo o aumento do avanço por aresta. Os arcos recomendados para o faceamento são: $a_e = 70\%DC$ e $a_e = 25\%DC$. A entrada com corte em cheio $a_e = 100\%DC$ e a entrada com a máxima espessura de cavaco $a_e = 50\%DC$, devem ser evitadas quando possível. A figura 19 apresenta posições de imersão radial (SANDVIK, 2021).

Figura 19 - Arco de contato estabelecido em uma operação de faceamento.



Fonte: SANDVIK (2021).

O aumento do avanço é possível uma vez que, para valores de imersão menor que 50%, a espessura do cavaco diminui, desta forma pode-se fazer a correção. O quadro 8 apresenta os fatores de multiplicação do avanço em função da imersão radial para as relações a_e/DC apresentadas (SANDVIK, 2021).

Quadro 8 - Fatores multiplicadores do avanço em função da imersão radial.

Relação de diâmetro da largura de corte	Fator de modificação	Avanço/dente para uma determinada espessura dos cavacos		
		$h_{ex} 0,1 \text{ mm}$ (0,004 pol.)	$h_{ex} 0,15 \text{ mm}$ (0,006 pol.)	$h_{ex} 0,20 \text{ mm}$ (0,008 pol.)
25%	1,16	0,116 (0,0046)	0,174 (0,007)	0,232 (0,0093)
20%	1,25	0,125 (0,005)	0,188 (0,0075)	0,25 (0,01)
15%	1,4	0,140 (0,0056)	0,21 (0,0084)	0,28 (0,0112)
10%	1,66	0,166 (0,0066)	0,249 (0,010)	0,332 (0,0133)
8%	2,3	0,230 (0,0092)	0,343 (0,0138)	0,46 (0,0184)

Fonte: SANDVIK (2021).

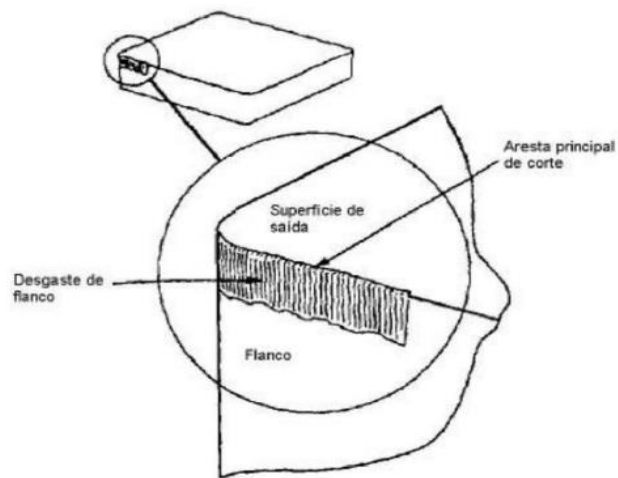
3.7 DESGASTES E AVARIAS DA FERRAMENTA

O desgaste é entendido por ser o resultado direto da ação do corte, aferido pela perda contínua de partículas, mesmo em níveis microscópicos, sendo classificados pelas seguintes categorias (SOUTO, 2007 apud TRENT, 2000).

3.7.1 Desgaste de flanco

O processo de desgaste de flanco é o mais evidente e frequente dentre os demais, se incidindo na superfície de folga da ferramenta, sendo originado pelo contato estabelecido entre a peça e a ferramenta, sendo possível se prever, por meio desta análise, o fim da vida útil da ferramenta. O fator que o origina, se deve a aplicação de elevadas velocidades de corte, durante o processo de usinagem (MARKUS, 2001). A figura 20 evidencia tal desgaste presenciado em uma pastilha de usinagem.

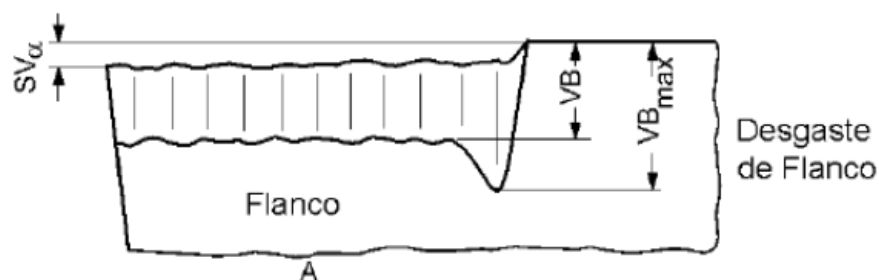
Figura 20 - Desgaste de flanco.



Fonte: XAVIER (2003).

Através da norma ISO 3685 (1993), é possível se estabelecer o fim da vida útil da ferramenta, por meio de análise feita dos níveis dos desgastes de flanco médio e máximo, ilustrados na figura 21. A norma nos orienta a substituir ou reafiar as ferramentas de metal duro, quando o seu desgaste de flanco compreenda um valor maior ou igual a 0,3 mm (XAVIER, 2003).

Figura 21 - Evidência do desgaste de flanco.

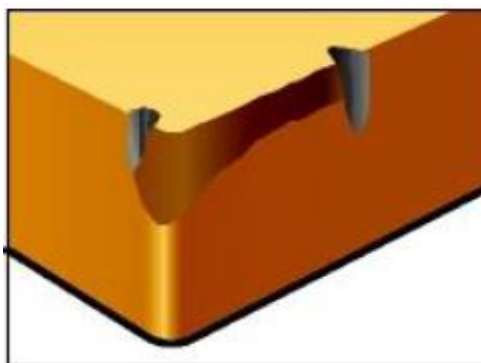


Fonte: Modificado, STOETERAU (2017).

3.7.2 Desgaste de entalhe

O acréscimo da temperatura e da velocidade de corte favorece a aparição do desgaste de entalhe, sendo possível se identificar nos extremos do contato entre a peça e a superfície de folga, sendo ilustrada pela figura 22. É perceptível que este cause modificações na geometria da ponta da ferramenta, provocando acabamento irregular na superfície da peça usinada (DINIZ et al. 2001).

Figura 22 - Desgaste de entalhe.

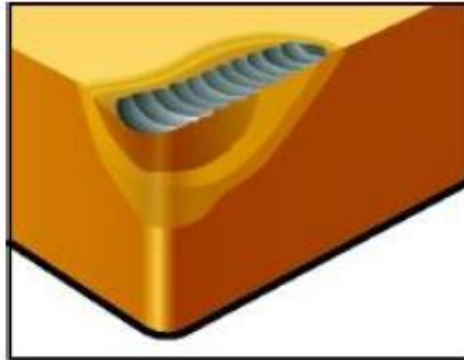


Fonte: SANDVICK (2020).

3.7.3 Desgaste de cratera

O atrito originado entre a ferramenta e o cavaco contribui para aparição do desgaste de cratera, que se inicia sobre a superfície de saída da ferramenta, podendo levar a quebra da ferramenta, caso ele se encontre com o desgaste frontal. O mecanismo que leva a sua formação é a difusão, sendo este, um processo que tem a transferência de átomos entre o metal da ferramenta e o da peça, por consequência de elevadas temperaturas atingidas no processo de usinagem, na região da zona de corte. Tal situação se torna menos recorrente, quando o material da peça a ser trabalhado, seja mais frágil, enquanto o cavaco originado, mais curto, além de utilizar ferramentas de corte de metal duro ou cerâmica (DINIZ et al., 2001). Segue a figura 23 como ilustração do que foi apresentado.

Figura 23 - Desgaste de cratera.

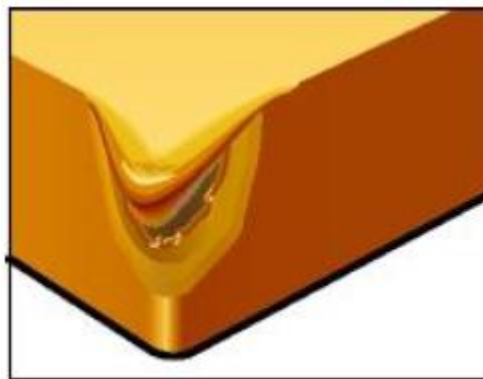


Fonte: SANDVICK (2020).

3.7.4 Deformação plástica

A deformação ocorre na ferramenta de corte através de um processo de cisalhamento, aliado a altas temperaturas durante a operação de usinagem. Essa acarreta mudanças na geometria da aresta através do deslocamento do material, sendo representado pela figura 24. A fim de controlar esta deformação, a adição de elementos de liga se faz necessário, mas isto, por conseguinte, acaba comprometendo a tenacidade da ferramenta, devido ao aumento da fragilidade na aresta de corte. Dito isto, cabe salientar que, a deformação plástica é frequente em ferramentas mais tenazes, como por exemplo, o aço rápido (SOUTO, 2007).

Figura 24 - Deformação plástica.

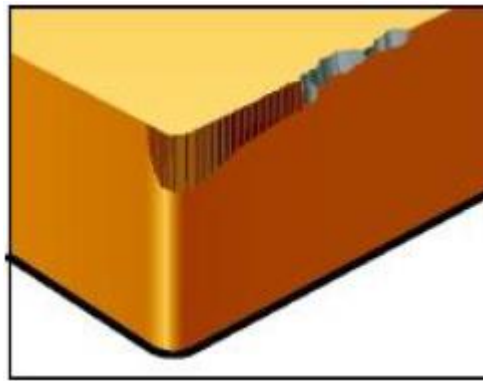


Fonte: SANDVICK (2020).

3.7.5 Lascamento

Quando se utiliza uma ferramenta de material frágil ou aresta postiça de baixa resistência, o fenômeno mais presenciado é o lascamento. Uma porção de partículas de grandes dimensões se separam da ferramenta instantaneamente, durante a sua utilização em um processo de usinagem. Isto induz a quebra da ferramenta, como também à má qualidade da superfície usinada (DINIZ et al., 2001). O desgaste pode ser visualizado na figura 25.

Figura 25 - Lascamento.

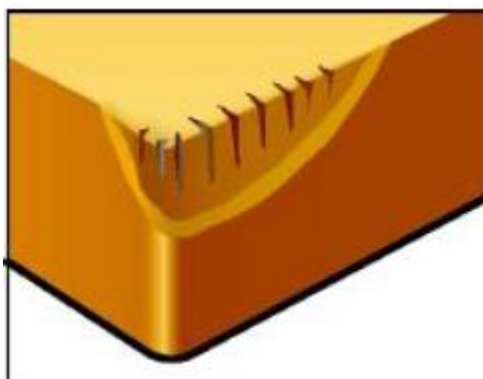


Fonte: SANDVICK (2020).

3.7.6 Trinca

A variação térmica gerada em uma operação de usinagem submete ao acúmulo de tensões térmicas na ferramenta de corte, em decorrência dos elevados esforços mecânicos, que por conseguinte, gera trincas. Este desgaste é notado na figura 26, sendo perceptível a sua aparição perpendicular à aresta de corte (DINIZ et al., 2001).

Figura 26 - Trinca.

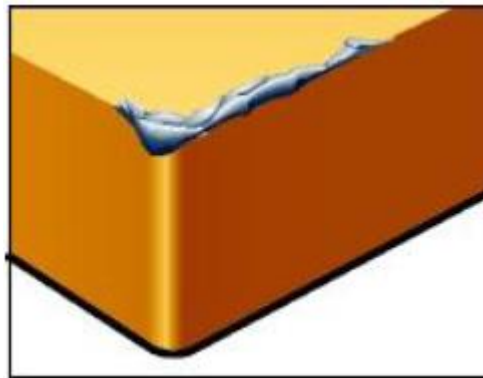


Fonte: SANDVICK (2020).

3.7.7 Aresta postiça de corte (APC)

De acordo com Reis (2000), o acúmulo de cavaco na superfície de saída da ferramenta, aderida a aresta de corte, origina a aresta postiça de corte (APC), que se torna o fator causador do desgaste da ferramenta e o péssimo acabamento superficial da peça usinada, devido a alteração provocada na força de corte. Este processo é influenciado pela adoção de velocidades de corte baixas, que acaba ocasionando uma pressão sobre a zona de aderência, provocando a “soldagem” da parte inferior do cavaco à ferramenta. Isso, no decorrer do processo de usinagem, acaba se deformando e encruando, favorecendo o aumento da resistência mecânica, se comportando como aresta de corte. Por sua vez, no decorrer do processo de usinagem, a aresta tende a aumentar, chegando a um ponto que leva ao seu cisalhamento, originando perturbações dinâmicas, além de um desgaste frontal, prejudicando o acabamento superficial e as tolerâncias dimensionais da peça usinada. A figura 27 ilustra a aresta postiça de corte.

Figura 27 - Processo de formação da aresta postiça de corte (APC).



Fonte: SANDVICK (2020).

A fim de se evitar a constituição da aresta postiça de corte, após operação de usinagem, deve-se elevar a velocidade de corte, favorecendo a rugosidade da peça usinada (DINIZ et al., 2001).

3.7.8 Formação do cavaco

Segundo Ferraresi (1977), a formação do cavaco se dá por meio da penetração da ferramenta de corte sobre a peça, sob determinadas condições de avanço e velocidade de corte,

provocando uma deformação primeiramente elástica e posteriormente plástica, levando a sua ruptura.

Segundo Loewen e Shaw (1954), o cavaco influencia na dissipação de calor do processo, pois leva consigo parte da energia térmica.

3.8 USIANGEM A SECO

Segundo Alberto (2002), a ausência do fluido de corte pode resultar em alguns malefícios ao processo, dentre eles: maiores atritos e adesão entre a ferramenta e o material usinado e elevadas cargas térmicas submetida a ferramenta e a peça, entretanto, alguns aspectos positivos podem ser obtidos com a usinagem a seco, sendo esses a redução do choque térmico, com consequente diminuição da formação de fissuras sobre a ferramenta que atua com cortes interrompidos.

A fim de investigar quais fatores são presenciados durante um processo de fresamento frontal de um aço ABNT 1045, sem a utilização do fluido de corte, Melo et al. (2006), detalhou em seu estudo, os fatores presenciados por meio de análise realizada, conforme descrito abaixo.

Em seu artigo, realizou-se ensaios de fresamento frontal em barras de aço ABNT 1045 a seco com ferramentas de metal duro P40, variando-se a penetração de trabalho. De acordo com os testes, a penetração de trabalho se torna um fator importante a se considerar, pelo fato desta alterar diretamente a relação entre os tempos ativos e inativos, variando também o delta de temperatura. Logo, foi possível concluir que, quanto maior for a penetração de trabalho, maior será o tempo ativo e menor o delta de temperatura, que consequentemente contribui para redução e/ou eliminação de trincas formadas. Ressalta-se que, as trincas de origem térmica, estão relacionadas com os dados de corte e material a ser usinado, logo, a usinagem a seco exige requer uma definição criteriosa de parâmetros para realização do processo.

4 METODOLOGIA

Com o objetivo de investigar o desempenho na usinagem do aço ABNT 1045 por fresamento, buscou-se inicialmente compreender as estratégias de corte, características, seleção de ferramentas e características do material a ser usinado.

Nesta seção serão descritos os procedimentos para seleção e análise dos dados de cortes. A metodologia foi desenvolvida de forma não presencial, com informações obtidas dos

participantes por meio da internet e por meio de consultas online e off-line em catálogos técnicos. A seleção dos profissionais da área foi definida por meio de pesquisa no meio acadêmico, onde foram identificados os participantes da pesquisa através da indicação de alunos do campus Betim.

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento desta etapa foi o questionário qualitativo/quantitativo, em escala nominal e dicotômica, elaborada na plataforma Google Forms. O questionário apresenta oito perguntas relacionadas ao processo de fresamento do aço ABNT 1045. A figura 28 traz uma referência do modelo de questionário proposto.

Figura 28 - Modelo do questionário.

IFMG – Campus Betim
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPTº - ENGENHARIA MECÂNICA

QUESTIONÁRIO: Avaliação do Processo de Fresagem CNC do aço SAE 1045

Objetivo: Este questionário se destina ao trabalho de conclusão de curso no IFMG campus Betim. O objetivo é avaliar comparativamente o desempenho de ferramentas de corte no processo de Fresagem CNC, considerando a aplicação em uma operação de desbaste, levando em conta, a condição de usinagem, o ângulo de incidência e dados de corte praticados no chão de fábrica e retirados do catálogo. O mesmo é destinado aos profissionais e indústrias do ramo de usinagem mecânica.


1) A empresa trabalha com usinagem de desbaste do aço SAE 1045 pelo processo de Fresagem CNC? (Em caso afirmativo, favor responder as demais).

a) Sim b) Não

2) O processo de usinagem de desbaste do aço SAE 1045, trabalhado pela empresa é feito:

a) A seco b) Com fluido de corte

3) Quais dos modelos abaixo de inserts são empregados nesta empresa para o processo de desbaste por fresagem CNC do aço SAE 1045?



4) Qual o ângulo de ataque é comumente empregado?

a) 15° b) 45° c) 90° d) Outro (Citar) _____

5) Nas operações de desbaste do aço SAE 1045 pelo processo de fresagem CNC, qual é o fabricante de ferramenta mais utilizado nesta empresa?

a) Sandvik
b) Iscar
c) Walter
d) Mitsubishi
e) Outros (citar) _____

6) Quais são os dados de corte mais comumente empregados nas operações de faceamento em desbaste com fresa de facear ou planetária, que utilizam pastilhas intercambiáveis de metal duro?

a) Avanço por pastilha (Citar um valor médio) _____ (mm/aresta)
b) Velocidade de corte (Citar um valor médio) _____ (m/min)
c) Profundidade de corte (Citar um valor médio) _____ (mm)

7) Em sua opinião, qual dos itens apresentados abaixo, comprometem mais a produtividade das pastilhas de corte? Caso haja algum outro fator que possa comprometer a produtividade dela, favor representá-lo no item OUTROS.

a) Profundidade de corte
b) Avanço
c) Velocidade de corte
d) Outros: _____

8) Espaço para comentários ou observações:

O IFMG campus Betim agradece sua participação e assegura que nenhuma pessoa ou instituição será identificada no trabalho de conclusão de curso.

Betim, 07 de abril de 2021

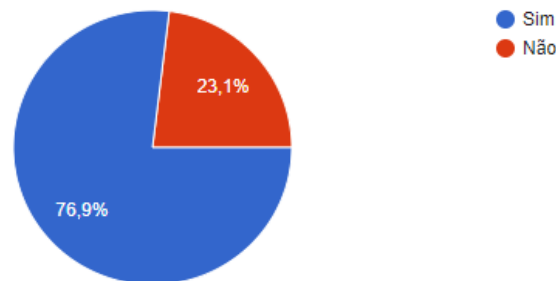
Fonte: Próprio autor.

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises e considerações finais tomadas para este estudo, se fundamentaram a partir das respostas obtidas pelo público-alvo na qual o questionário foi aplicado.

1) A empresa trabalha com usinagem de desbaste do aço SAE 1045 pelo processo de Fresagem CNC? (Em caso afirmativo, favor responder as demais. Em caso negativo ir para questão 10).

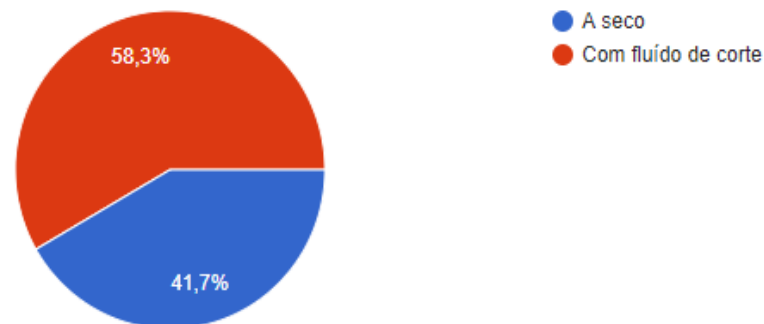
13 respostas



A primeira questão nos mostra que a maior parcela dos entrevistados trabalha com usinagem, em desbaste do aço SAE 1045, por um processo de fresagem CNC. A proposta desta questão foi deixar claro que a pesquisa era direcionada para profissionais que atuam diretamente com o processo de usinagem CNC do aço SAE 1045.

2) O processo de usinagem de desbaste do aço SAE 1045, trabalhado pela empresa é feito:

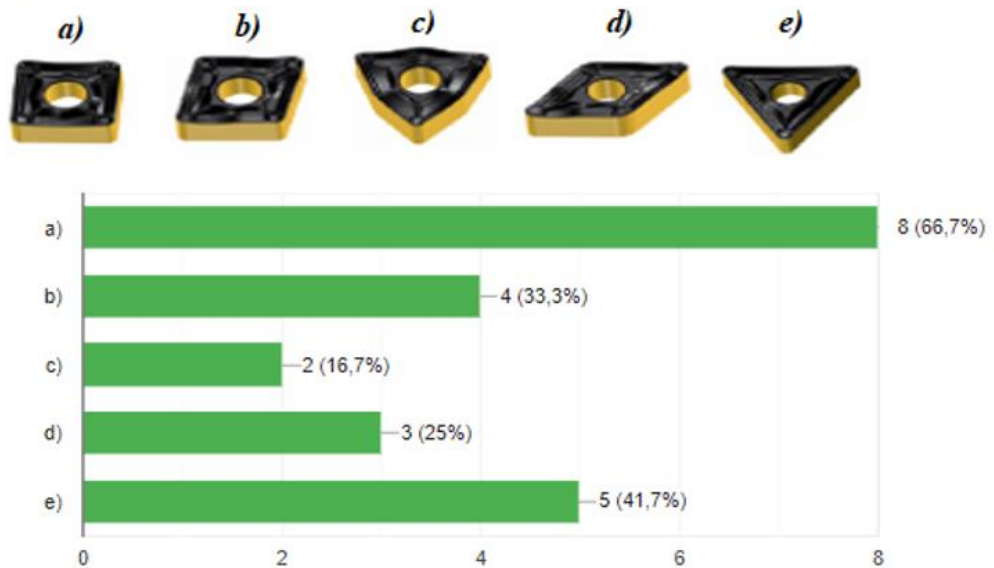
12 respostas



Grande parte dos entrevistados responderam que, o processo de usinagem desempenhado por eles é feito com a utilização de fluido de corte. Esta evidência contribui para o entendimento da prática profissional e desperta para pesquisa sobre custos, tratamentos de efluentes, técnicas de aplicação e seleção de fluidos de corte nos processos de usinagem para entendimento da relação custo-benefício, levando em conta o meio ambiente.

3) Quais dos modelos abaixo de insertos são empregados nesta empresa para o processo de desbaste por fresagem CNC do aço SAE 1045?

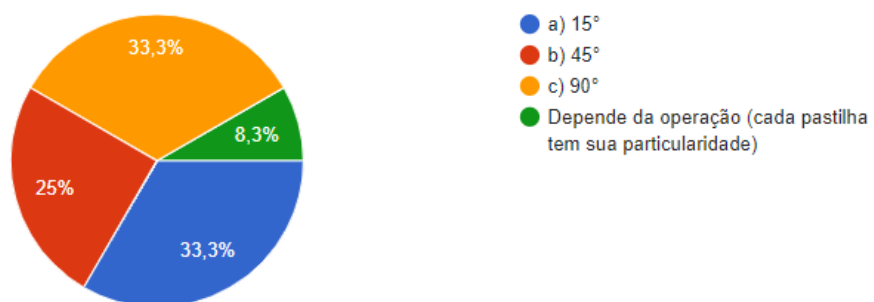
12 respostas



A pastilha com maior percentual de escolha, apresenta o maior ângulo de cunha, segundo a pesquisa, está característica atribui maior resistência mecânica a ferramenta de corte. A prática nos mostra que esta característica é um critério de seleção.

4) Qual o ângulo de ataque é comumente empregado:

12 respostas

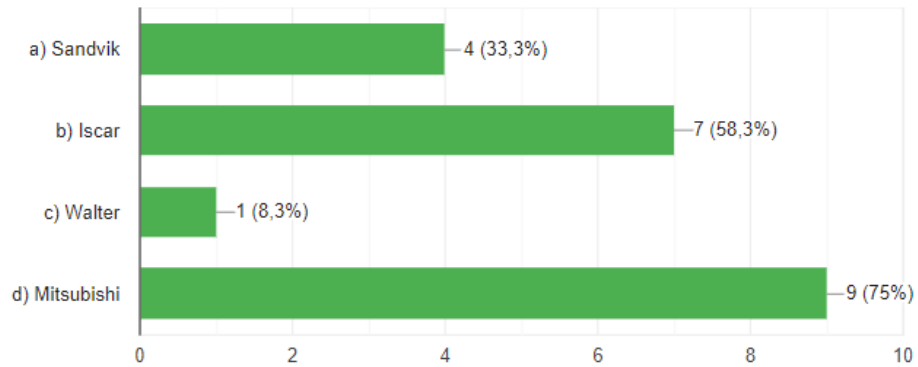


Os resultados apresentados mostram um alto índice na seleção para pastilhas com ângulos de posição de 90°, este resultado entendemos como adequado, uma vez que muitas peças usinadas possuem ângulos entre faces de 90°, as ferramentas com ângulo de posição de 15° e 45° também apresentam índices altos de seleção, estes resultados são adequados segundo a literatura para operações de faceamento, pois favorecem o aumento do avanço de corte e a distribuição das forças de corte. As respostas estão intimamente relacionadas com a opção: O

ângulo de ataque depende da operação. No entanto, apenas 8,3% conseguiram fazer esta correlação.

5) Nas operações de desbaste do aço SAE 1045 pelo processo de fresagem CNC, quais são os fabricantes de ferramentas mais utilizados nesta empresa?

12 respostas



Fonte: Próprio autor.

Esta questão possui uma informação valiosa, pois apresenta alguns dos grandes fabricantes de ferramentas, o que é muito benéfico para o setor. As diferenças percentuais podem ser entendidas como uma realidade do momento da pesquisa, relação custo-benefício, disponibilidade do produto no mercado dentre outros, acreditamos que uma avaliação mais apurada do consumo e / ou preferência, demanda avaliação de um maior número de resultados em um período maior de avaliação.

6) Quais são os dados de corte mais comumente empregados nas operações de faceamento em desbaste com fresa de facear ou planetária, que utilizam pastilhas intercambiáveis de metal duro? Favor identificar os valores logo abaixo.

8 respostas

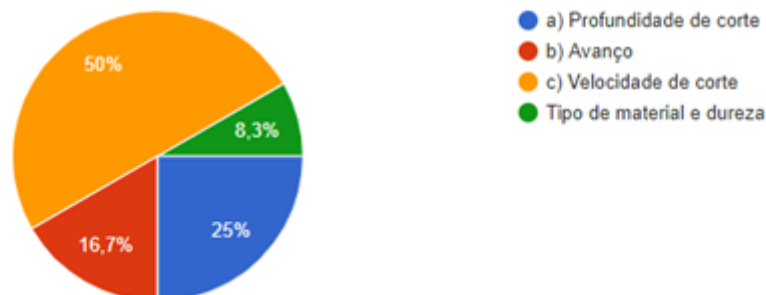
- 1 - 34, 23, 45
- 2 - 125m/min
- 3 - Desbaste de alto avanço: 0,6 mm/aresta - 150 m/min - 0,7 prof. média
- 4 -

0.2mm/aresta
180mm/min
0.25mm prof. Corte
- 5 - $F_z = 0,05\text{mm/dente}$ $V_c = 125 \text{ m/min}$ $a_p = 2\text{mm}$
- 6 - Profundidade de corte
- 7 - $V_c 120$
- 8 - Não sei dizer ao certo

As respostas aqui apresentadas não foram as esperadas, das 8 respostas, apenas 3 apresentaram resultados completos para avanço por aresta, velocidade e profundidade de corte. As respostas dos itens 2, 3, 4, 5 e 7 apresentaram parcialmente ou em sua totalidade coerência com dados técnicos.

7) Em sua opinião, qual dos itens apresentados abaixo, comprometem mais a produtividade das pastilhas de corte? Caso haja algum outro fator que possa comprometer a produtividade dela, favor representá-lo no item OUTRO.

12 respostas



Segundo os entrevistados, o fator mais relevante é a velocidade de corte. De acordo com a pesquisa, a maioria das respostas foram positivas, no entanto, as respostas corretas representam 50% do total.

8) Espaço para comentários ou observações:

Não tivemos respostas.

A questão foi destinada a sugestões e comentários, para complementar informações que porventura não foram citados no questionário, no sentido de melhorar o estudo em questão e despertar para novas pesquisas neste segmento.

Catálogos de fabricantes de ferramentas

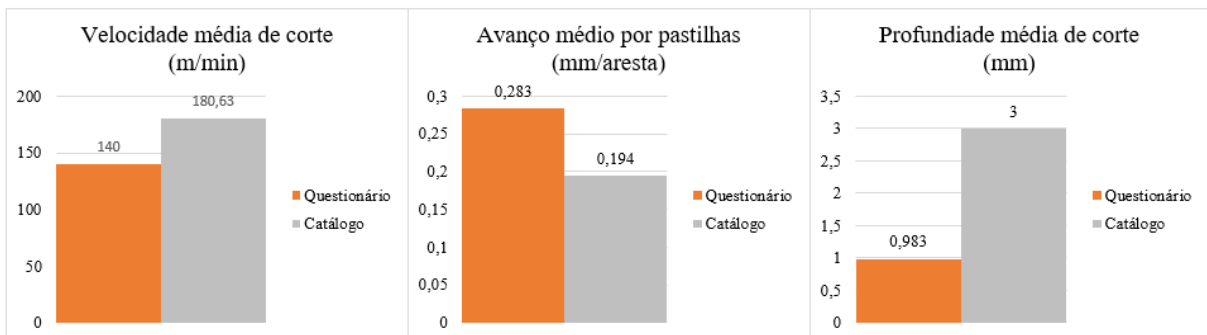
Os catálogos dos respectivos fabricantes de ferramentas citados na pesquisa pelos entrevistados, foram utilizados com o intuito de identificar os dados recomendados e estabelecer uma comparação com os dados de corte coletados, no sentido de identificar uma relação. O critério adotado foi a comparação, tomando como referência a média dos resultados apresentados pelo questionário, relativo às respostas aos itens: 2, 3, 4, 5 e 7 e a média dos valores obtidos com a pesquisa no catálogo. O quadro 9 e a figura 29 evidenciam estas comparações entre as medias calculadas e os valores obtidos.

Quadro 9 - Comparação dos dados obtidos no questionário com dados do catálogo.

Questionário x Catálogo	
$\bar{X} = \frac{(X1 + X2 + X3 + \dots + X4)}{n}$	
Média dos parâmetros de corte obtidos por meio do questionário	Média dos parâmetros de corte obtidos por meio dos catálogos
Velocidade média de corte: 140 m/min	Velocidade média de corte: 180,63 m/min Faixa de velocidade: 125 a 250 m/min
Avanço médio por pastilha: 0,283 mm/aresta	Avanço médio por pastilha: 0,194 mm/aresta
Profundidade média de corte: 0,983 mm	Profundidade média de corte: 3 mm

Fonte: Próprio autor.

Figura 29 - Análise gráfica das médias dos dados coletados.



Fonte: Próprio autor.

4.1.1 Análise dos resultados

A pesquisa nos catálogos de fabricantes, evidenciaram uma gama enorme de opções para a seleção da ferramenta de corte, as quais foram tratadas no referencial teórico. As variações a serem observadas variam em função do material, da aplicação, da condição de usinagem e da característica produtiva de cada empresa conforme sua realidade, as quais estão relacionadas com tipos específicos de escolhas/definição da ferramenta de corte, conhecidas como escolha versátil, otimizada ou personalizada. Diante da complexidade de informações, acreditamos que a obtenção de boa produtividade e melhoria de competitividade está relacionada principalmente com profissionais capacitados e insumos de qualidade.

A pesquisa aplicada por meio do questionário, apesar de não atender a expectativa inicial, com um número maior de pessoas entrevistadas e pesquisa presencial, realizada no chão de fábrica, os resultados apontaram para a importância do uso de fluido de corte, apresentando dados de utilização superiores aos dados de usinagem a seco e necessidade de capacitação técnica. A impossibilidade de avaliar as condições de usinagem, pelo fato de não ser possível a aplicação presencial do questionário, acreditamos não ser motivo suficiente que justifique resultados de avanço por aresta e profundidade de corte com tamanha divergência de resultados quando comparados com dados dos fabricantes. Ainda analisando o questionário, observa-se conhecimento técnico na definição da geometria, ângulo de posição da pastilha e velocidade de corte.

5 CONCLUSÃO

Em análise aos dados apresentados, avaliamos algumas justificativas para os resultados apresentados. Os profissionais podem não ter sido adequadamente selecionados, apesar do critério imposto no questionário e entender também, que são questões extremamente técnicas e deveriam ser direcionadas a técnicos do setor. Acreditamos também na possibilidade de os operadores não serem bem orientados em algumas definições, mas que por experiência profissional, conseguem ajustar dados que permitem a usinagem dos materiais e consequentemente a fabricação das peças, mesmo que com menor produtividade. O trabalho apresentou a necessidade de um estudo aprofundado sobre fluidos de corte, com abordagem sobre aplicação, tipos, tratamentos e custo-benefício. Com todas as possibilidades citadas acima, acreditamos que a pesquisa aponta para uma necessidade de capacitação técnica dos profissionais da indústria uma vez que nenhuma das respostas relativas ao item 6, o qual é o de ordem mais técnica do questionário, apresentaram todos os dados adequados para usinagem do material aço ABNT 1045.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, Fadul Corrêa. **Estudo da nitretação a plasma aplicada em ferramentas para o fresamento**. 2002. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGEM.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul., [S. l.], 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6175: Processos mecânicos de usinagem**. Rio de Janeiro: 1971. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1641-1: Fresas de topo e fresas para ranhuras**. 2º ed. Rio de Janeiro: 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6162: Movimentos e relações geométricas na usinagem dos metais**. Rio de Janeiro: 1989. 37p.

BEZERRA, D. C. e MACHADO, I. F., **Estudo da usinabilidade de aço AISI 1045 após diferentes tratamentos térmicos**. Poli, USP, 2008.

BRANDÃO, Daniel Angelis. **Influência da direção de usinagem na evolução do desgaste na ferramenta de corte no fresamento frontal do aço sae 1045 a seco e com aplicação de mínima quantidade de lubrificante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.

CALDEIRANI, José Filho. **Estudo e Monitoramento do Processo de Fresamento Frontal com Fresa de Insertos Intercambiáveis**. 168 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

DIB, Marcel Henrique Militão; BENJAMIN, Guilherme Machado; JASINEVICIUS, Renato Goulart. Uma análise experimental do fresamento discordante e concordante. **Revista Iuminart**, Ano VII, nº 13, ISSN 1984-8625, Dezembro, 2015.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 3ª ed. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2001.

DOYLE; L. E., MORRIS, J.L., LEACH, J. L e SCHRADER, G.F., **Manufacturing Processes and Materials for Engineers**, Prentice-Hall Inc., 1964, pages. 182 e seguintes.

ELECTRIC, General Co. **Milling Handbook of High-Efficiency Metal Cutting**, Detroit, 10-17, 1980.

FERRARESI, D., 1977. “**Fundamentos da usinagem dos metais**”, 9^a.ed. Editora Edgard, v.1, Blücher Ltda, São Paulo.

GALLO, G. B. **Influência do tratamento térmico sobre a tenacidade de um aço AISI SAE 1045 com médio teor de carbono, avaliada por ensaio de impacto**, Dissertação de mestrado, Unesp, 2006.

GRAHAM, D. E. (1994). **Revestimento de Al₂O₃ para ferramentas de carboneto cementado. Máquinas e Metais**, n. 338, p.22-35, Outubro.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **International Standard – ISO 3685 – Tool-life Testing With Single-point Turning Tools**. 2nd ed. Genève, Switzerland. 1993. 54 p. 42.

ISCAR. **Rotating Tool Lines**, 2019. 428 p.

JOSÉ, W. B.; BERTELLI, F.; FREITAS, E. S. **Estudo da resistência do aço SAE 1045 na presença de cloreto**. Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação – VIII ENPG Vol.3 2019. p. 433.

LOEWEN, E. G.; SHAW, M. C. **On the analysis of cutting tool temperatures**. Trans. *Of ASME*, n. 76,p. 217-221, 1954.

MACHADO, A. R.; COELHO, R. T.; ABRÃO, A. M.; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

MARKUS, W. **Aspectos Tecnológicos da Minimização e Eliminação do Fluido de Corte no Processo de Torneamento com Insetos de Metal-Duro Revestidos Com TiN**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 128. 2001.

MELO, A. C. A. D. et al., 2006, **Some Observations on Wear and Damages in Cemented Carbide Tools**. “Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science & Engineering”, 28, 269-277.

MITSUBISHI CARBIDE. **Ferramentas de Metal Duro para Usinagem**. São Paulo: Catálogo 2002.

MITSUBISHI MATERIALS. **Ferramentas de corte**. 2021. 1816p.

OLIVEIRA, A. J. **Análise do desgaste de ferramentas no fresamento com alta velocidade de aços endurecidos**. 2007. 205 f. Tese (Doutorado) - Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

REIS, A. M. **Influência do ângulo de Posição Secundário da Ferramenta, raio de Ponta e Lubrificação na Usinagem em Presença da Aresta Postiça de Corte**. UFU. Uberlândia, p. 88. 2000.

SALDARRIAGA, P. A. C. **Estudo dos tempos de tensão gerados por inclusões durante o processo de tornemante em aços ABNT 1045 utilizando o método de elementos finitos**. USP, Tese, 2008.

SANDVIK COROMANT. **A verdadeira velocidade de corte: Fresa Ball Nose**. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/pages/default.aspx> Acesso em: 13 jun. 2021.

SANDVIK COROMANT. **Catálogo de ferramentas rotativas**. São Paulo, 2020. 524p.

SANDVIK COROMANT. **Guia de aplicação – Aplicação de moldes e matrizes**. Suécia: 2002. 258p.

SANDVIK COROMANT. **Tecnologia da Usinagem de Metais**. Manual Técnico, 2010.

SILVA, R. L. J. **Fresamento do aço vhsuper nos estados recozido e temperado com metal duro e cermet**. 2007. 244f. Tese (Doutorado) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, Ricardo Angelo; NETO, Antonio Faria. **Estudo da microestrutura do aço SAE 1045 para a melhoria da usinabilidade**. The 4th International Congress on University-Industry

Cooperation – Taubate, SP – Brazil – December 5th through 7th, 2012 ISBN 978-85-62326-96-7

SOUTO, U. B. **Monitoramento do Desgaste de Ferramenta no Processo de Fresamento via Emissão Acústica**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 40. 2007.

STEMMER, C.E., 1995. “**Ferramentas de corte I**”, 3ª edição, Editora da UFSC, Florianópolis.

SENAI - MG **Processos de Fabricação**, 180p. Belo Horizonte, 1984.

WALKER, J. M. **Handbook of Manufacturing Engineering**. New York: Marcel Dekker, 1996.

WALTER AG TOOLS. **Ferramentas de Metal Duro – Catálogo Geral**. Tübingen, Germany: Catálogo. 2000. 752 p.

WALTER ENGINEERING KOMPETENZ. **Catálogo geral**. 2017. 2605p.