

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

FELIPE TADEU PELEGRINI

**ANÁLISE DO ACABAMENTO DE PEÇAS DE ALUMÍNIO TORNEADAS POR BITS E
INCERTOS DE METAL DURO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2019

FELIPE TADEU PELEGRINI

**ANÁLISE DO ACABAMENTO DE PEÇAS DE ALUMÍNIO TORNEADAS
POR BITS E INCERTOS DE METAL DURO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Guarapuava, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Aldo Przybysz

GUARAPUAVA

2019



Ministério da Educação **Universidade
Tecnológica Federal do Paraná** Câmpus
Guarapuava

Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Mecânica
Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE DO ACABAMENTO DE PEÇAS DE ALUMÍNIO TORNEADAS POR BITS E
INCERTOS DE METAL DURO**

por

FELIPE TADEU PELEGRINI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 10 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

(Aldo Przybysz)
Prof.(a) Orientador(a)

(Sílvia do Nascimento Rosa)
Membro titular

(Ricardo Vinicius Bubna Biscaia)
Membro titular

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedico esse trabalho à minha família, mulher, filha e amigos que foram sempre meu incentivo e meu suporte em todos os momentos dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente à minha mãe, pelo suporte concedido e necessário, por me incentivar e acreditar na minha capacidade.

À minha mulher, pelo amor, paciência e apoio incondicional, tornando minha vida mais leve e fazendo com que eu me esforce para ser cada dia uma pessoa melhor.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, com os quais passo a maior parte do meu dia e me acompanharam durante quase toda a graduação.

Ao professor e orientador Aldo Przybysz, por toda sua orientação e disposição ao longo da elaboração desse trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná do campus de Guarapuava e todo seu corpo docente, que me capacitaram e acrescentaram conhecimento em minha vida.

“Dizem que antes de um rio entrar no mar, ele treme de medo. Olha para trás, para toda a jornada que percorreu, para os cumes, as montanhas, para o longo caminho sinuoso que trilhou através de florestas e povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto, que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. O rio precisa de se arriscar e entrar no oceano. É somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece, porque apenas então o rio sabe que não se trata de desaparecer no oceano, mas de tornar-se o oceano.”

(Osho)

RESUMO

PELEGRINI, Felipe Tadeu. **Análise do acabamento de peças torneadas por bits.** 2019. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019.

Este trabalho visa a verificação do acabamento através da rugosidade média de peças de alumínio quando torneadas por bits de aço rápido de seção quadrada, que é uma ferramenta muito utilizada em oficinas, e por pastilhas de metal duro com formato T, pois seu formato é facilmente replicável no bit. O objetivo principal é comparar o acabamento das peças utilizando um rugosímetro para obter os valores de desvios ao longo da superfície da peça. O valor de profundidade de corte para cada passada é mantido fixo, e a rotação da peça é alterada em cada etapa. Ambas as ferramentas de corte utilizadas possuem suas vantagens e desvantagens, no bit é possível moldá-lo de acordo com a geometria desejada e também afiar várias vezes a aresta de corte, porém requer afiações frequentes, fato tal que aumenta o tempo de produção, enquanto a pastilha possui vida útil maior em cada aresta, porém o preço é elevado se comparado ao bit, visando o acabamento superficial, será estudado qual dessas ferramentas permite uma maior qualidade na usinagem. A escolha do alumínio foi por ser um material de alta ductilidade e possuir boas propriedades térmicas e mecânicas. A validação do resultado se dá pela influência da rotação na rugosidade e a discussão dos demais parâmetros que causam defeitos superficiais na peça. No trabalho foi possível visualizar que a pastilha consegue atingir resultados melhores no acabamento superficial, enquanto o bit até determinada rotação possuir valores esperados, porém em rotações elevadas o desgaste resultante como o aparecimento de aresta postiça de corte atrapalhou a qualidade do acabamento.

Palavras-chave: Torneamento. Alumínio. Bits. Inserto. Acabamento. Rugosidade.

ABSTRACT

PELEGRINI, Felipe Tadeu. **Analysis of finishing of turned parts by bits**. 2019. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso – Mechanical Engineering, Federal University of Technology - Paraná. Guarapuava, 2019.

The purpose of this work is to verify the finish through the average roughness of aluminum parts when turned by section square high speed steel bits, which is a tool widely used in workshops, and by T-shaped carbide inserts, because their shape is easily replicable in bit. The main objective is to compare the finish of the parts using a surface roughness tester to obtain the values of deviations along the surface of the part. The depth of cut value for each pass is kept fixed, and the part rotation changes at each step. Both cutting tools have their advantages and disadvantages, the bit can be shaped according to the desired geometry and also sharpen the cutting edge several times, but requires frequent sharpening, which increases the production time, while The insert has a longer service life on each edge, but the price is high compared to the bit, for surface finish, will be studied which of these tools allows a higher quality machining. The choice of aluminum was because it is a high ductility material and has good thermal and mechanical properties. The result is validated by the influence of rotation on roughness and the discussion of other parameters that cause surface defects in the part. In the work it was possible to see that the insert can achieve better results in the surface finish, while the bit until a certain rotation has expected values, but at high rotations the resulting wear such as the appearance of a cutting edge hindered the quality of the finish.

Keywords: Turning. Aluminum. Bits. Insert. Finishing. Roughness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos processos de fabricação.....	18
Figura 2 – Exemplo de torneamento na usinagem de metais	20
Figura 3 – Representação das partes e componentes de um torno mecânico	21
Figura 4 – Representação das principais operações de torneamento	22
Figura 5 – Movimentos realizados no torneamento.....	24
Figura 6 – Ferramenta retirando cavaco da peça.....	27
Figura 7 – Efeito do avanço e profundidade de corte na forma do cavaco	29
Figura 8 – Tipos de forma do cavaco	30
Figura 9 – Partes construtivas da ferramenta.....	32
Figura 10 – Planos de referência da ferramenta	33
Figura 11 – Planos de referência da ferramenta	34
Figura 12 – Ângulos da cunha de corte da ferramenta	36
Figura 13 – Ângulos da ferramenta visto sobre o plano de referência.	37
Figura 14 – Ângulos da ferramenta visto sobre o plano de corte principal	37
Figura 15 – Elementos do acabamento superficial.....	38
Figura 16 – Marcas de avanço de uma ferramenta nova no torneamento	39
Figura 17 – Desgaste de flanco.....	42
Figura 18 – Desgaste de cratera	42
Figura 19 – Deformação plástica da aresta.....	43
Figura 20 – Lascamento.....	43
Figura 21 – Trincas de origem térmica	44
Figura 22– Trincas de origem mecânica	44
Figura 23 – Quebra	44
Figura 24 – Tarugos utilizados como corpo de prova.	47
Figura 25 – Medição das dimensões do bit após afiação.....	48
Figura 26 – Ferramentas prontas para usinar	48
Figura 27 – Torno convencional	49
Figura 28 – Rugosímetro portátil	50
Figura 29 – Impressão da amostra utilizando a pastilha na rotação de 1600 rpm	51

Figura 30 – Desgaste por cratera encontrado na pastilha.....	53
Figura 31 – Aresta postiça de corte encontrado no bit.	54
Figura 32 – Forma do cavaco no torneamento com pastilha.	55
Figura 33 – Forma do cavaco no torneamento com bit.	56
Figura 34 – Deformação do cavaco em altas rotações na usinagem com bit.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros da rugosidade.....	41
Tabela 2 – Parâmetros da rugosidade utilizando inserto.....	57
Tabela 3 – Parâmetros da rugosidade utilizando bit.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação entre rotação e rugosidade média para a pastilha.....	59
Gráfico 2 – Relação entre rotação e rugosidade média para o bit.	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.2	JUSTIFICATIVA	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	18
2.2	USINAGEM	19
2.3	TORNEAMENTO	20
2.3.1	Operações	22
2.4	CONCEITOS DE CORTE	23
2.4.1	Movimentos	24
2.4.2	Direções	25
2.4.3	Percursos	25
2.4.4	Velocidades	26
2.4.5	Tempos	26
2.5	GERAÇÃO DE CAVACO	27
2.5.1	Tipos de Cavacos	28
2.5.2	Formas do Cavaco	28
2.5.3	Grandezas do Cavaco	31
2.6	GEOMETRIA DA FERRAMENTA	31
2.6.1	Parte Construtiva	32
2.6.2	Planos de Referência	33
2.6.3	Ângulos da Cunha	35
2.7	ACABAMENTO SUPERFICIAL	38
2.7.1	Efeitos de Parâmetros na Rugosidade Superficial	39
2.7.2	Medição da Rugosidade	41

2.8	DESGASTES	42
2.9	MATERIAIS PARA FERRAMENTA.....	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	46
3.2	CORPO DE PROVA.....	47
3.3	FERRAMENTAS	47
3.4	TORNEAMENTO.....	49
3.5	RUGOSÍMETRO	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	ANÁLISE DAS FERRAMENTAS	53
4.2	ANÁLISE DO CAVACO	55
4.3	ANÁLISE DA RUGOSIDADE	57
4.4	RELAÇÃO ENTRE ROTAÇÃO E RUGOSIDADE MÉDIA.....	59
4.5	COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DAS FERRAMENTAS	61
5	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Ao observar os objetos ao redor, entende-se a importância da fabricação, pois todos os elementos possuem formas e dimensões, e estes elementos necessitam passar por diversos processos até resultarem no produto final (MACHADO et al., 2004). Assim, o processo de fabricação se resume em transformar a matéria-prima em produto acabado, podendo ser sem remoção de material (fundição, soldagem, metalurgia do pó, conformação e outros) e com remoção de material (usinagem convencional ou não-convencional) (GROOVER et al., 2014).

A usinagem consiste em basicamente retirar material de uma peça bruta utilizando uma ferramenta de corte com maior dureza através de um mecanismo de cisalhamento mecânico visando a remoção de material, até se obter a forma final desejada. Para isso, é necessário escolher o material da ferramenta de acordo com o material da peça a ser fabricada, que contenha as propriedades desejadas para o processo.

A tecnologia da usinagem se alavancou durante o Taylorismo¹, no mesmo período em que o aço rápido foi descoberto, e foi possível aumentar a produtividade e a competitividade no setor industrial. Nesse contexto, a diferenciação de produtos não era algo explorado, pois a produção era em massa e focada na velocidade de fabricação. No cenário atual, com o avanço da tecnologia e segmentação do mercado, o foco da indústria está na diferenciação de produtos e para atender essa demanda foi necessário modernizar as máquinas e buscar novas ferramentas que trazem maior durabilidade e qualidade ao processo (DINIZ et al., 1999).

Uma forma de verificar a qualidade do processo de usinagem é através da tolerância alcançada de acabamento superficial. As superfícies de peças demonstram algumas irregularidades quando vistas em detalhes por equipamentos de ampliação de imagem, sendo que essas discordâncias são sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta de corte (FERRARESI, 1969). A importância do acabamento superficial aumenta na medida em que se espera uma maior precisão de ajuste entre as peças a serem

¹ O Taylorismo é um sistema de gestão do trabalho desenvolvido no final do século XIX baseado em diversas técnicas para o melhor aproveitamento da mão de obra contratada, enfatizando a eficiência operacional das tarefas realizadas, onde cada aspecto do trabalho deve ser estudado e desenvolvido cientificamente.

acopladas. Porém, as precisões relacionadas a dimensão, a forma e a posição não são suficientes para garantir o encaixe e funcionamento.

Para atingir o acabamento esperado se faz necessário o uso de parâmetros de cortes e ferramentas com geometrias e ângulos específicos convenientes para o acabamento. Há diversos tipos de ferramenta para acabamento no mercado, como pastilhas, ferramentas soldadas, bits, bedames, entre outros. Uma ferramenta que pode ser usada é o bit de aço rápido, que tem o formato de um tarugo com seção transversal quadrada, e são altamente utilizados dentro do segmento de usinagem, podendo ser moldado para se obter ângulos e inclinações ajustadas para se obter um melhor acabamento.

Segundo Rodrigues et al. (2012) nos processos de usinagem convencional uma das ferramentas mais comum é o bit de aço rápido e a grande vantagem de se utilizar bit ao invés de outros tipos de ferramentas como ferramentas soldadas e pastilhas, é que podem ser afiados várias vezes e moldados para diversas geometrias com ângulos com finalidades distintas, utilizado para desbaste ou acabamento. Porém são necessários estudos para comparar a tolerância e o acabamento alcançados por esse tipo de ferramenta com outras, como a pastilha que já possui catálogos do fabricante com os resultados que podem ser obtidos.

A proposta deste trabalho é verificar o acabamento, através da rugosidade, das peças de alumínio usinadas por bits de aço rápido e compará-la com os resultados obtidos pela usinagem feita por pastilha de metal duro, utilizando parâmetros de cortes próximos.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a análise do acabamento de peças de alumínio torneadas por bits de seção quadrada e compará-los com pastilhas intercambiáveis utilizando um torno convencional como máquina de trabalho e usinando em diferentes parâmetros de corte.

Os objetivos específicos são:

- Fabricação do perfil de corte dos bits.
- Estabelecer as rotações.
- Usinar o tarugo cilíndrico no torno convencional.
- Verificar rugosidade, o cavaco e o desgaste e determinar a qualidade do acabamento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Visto a importância do torneamento dentro da usinagem devido à questão econômica que torna viável e muito recorrente o seu uso na indústria, e por ser um processo didático empregado em diversos graus de ensino, é necessário buscar alternativas que reduzem o custo da operação e sem reduzir consideravelmente a qualidade do acabamento.

Visando uma boa usinabilidade, o material escolhido para verificar o acabamento foi o alumínio, pois é dúctil e de fácil acesso de aquisição, além de possuir ponto de fusão mais baixo se comparado ao aço, possui uma fina camada de óxido que o protege contra a corrosão, boa condutibilidade elétrica e térmica, não possui característica magnética, pode ser reciclado, é utilizado como barreira de luz, impermeável a ação da umidade, porém sua principal característica é sua leveza devido ao baixo peso específico (ABAL, 2017).

Nesse contexto o trabalho visa comparar o acabamento de uma peça usinada por pastilha com a usinada por bits de aço rápido com parâmetros de corte próximos, através de um rugosímetro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

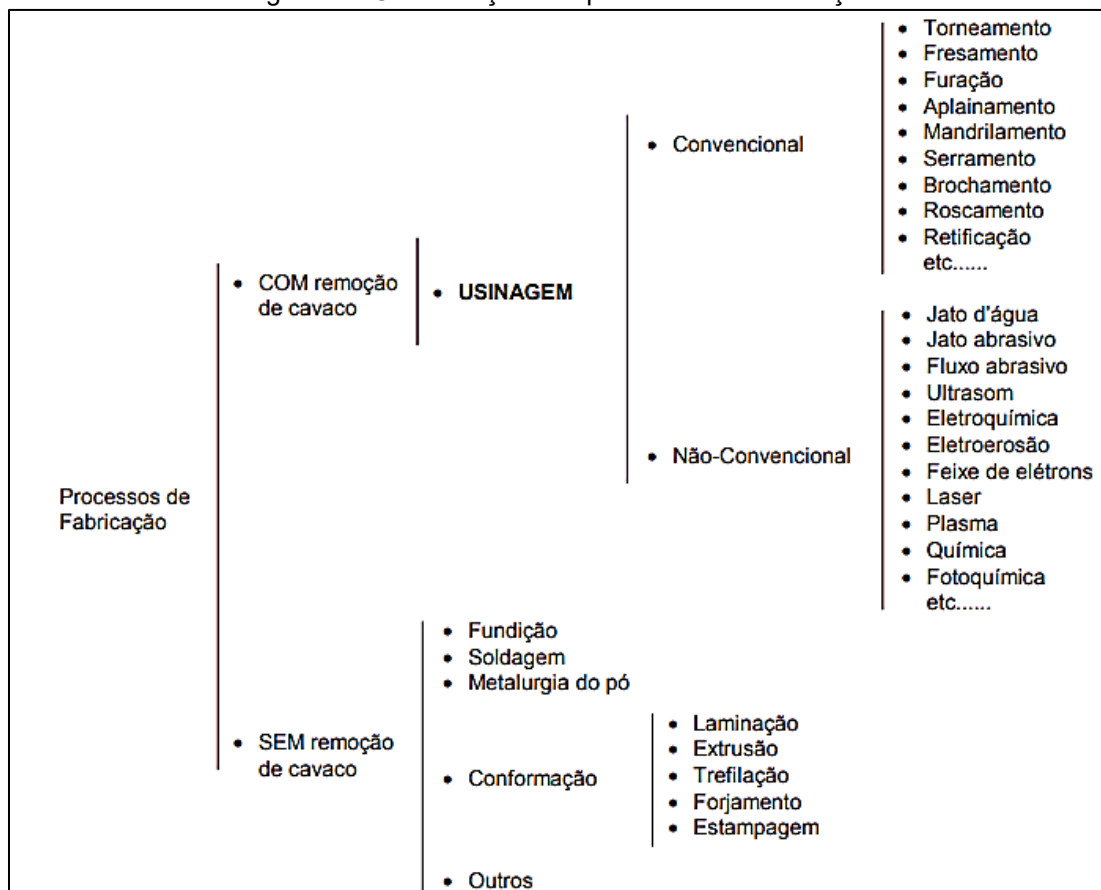
Neste capítulo serão abordados conceitos básicos necessários para o entendimento dos processos e parâmetros de usinagem.

2.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Há diversas maneiras de transformar uma matéria prima em um produto acabado e garantir que possuem as formas (geometria, dimensões, acabamentos e tolerâncias) e as propriedades (resistência, dureza, condutividade, densidade) exigidas para seu uso. Essas alterações são denominadas processos de fabricação.

A classificação dos processos de fabricação é dividida em dois grandes grupos conforme a figura 1: com remoção de cavaco e sem remoção de cavaco.

Figura 1 – Classificação dos processos de fabricação



Fonte: Adaptado de Machado et. al. (2004).

No primeiro grupo está localizada a usinagem em si, que engloba os processos de torneamento, fresamento, furação, retificação, entre outros. No segundo grupo estão localizados os processos de fundição, soldagem, metalurgia do pó, conformação, entre outros (AMORIM, 2002).

2.2 USINAGEM

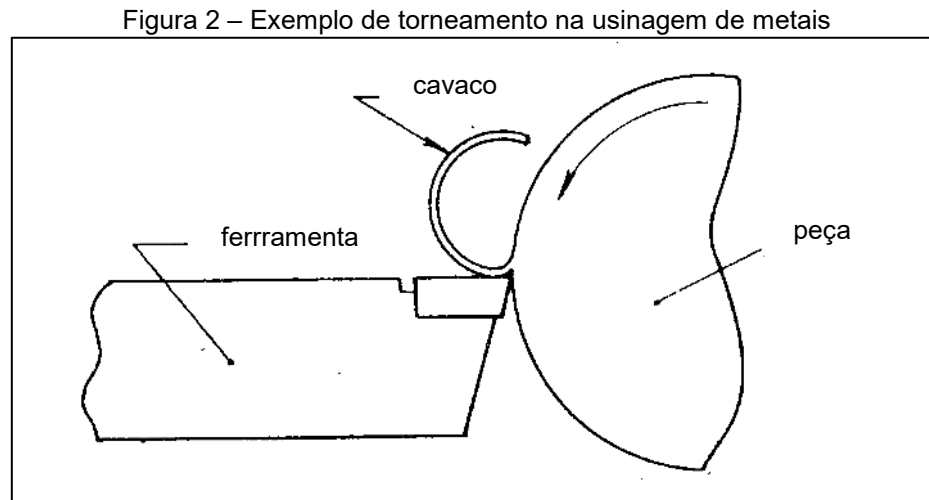
Nem sempre os processos metalúrgicos conseguem um acabamento aceitável. Os processos comuns de produção, como forjamento e fundição, na maioria das vezes produzem superfícies grosseiras que necessitam de um processo posterior de acabamento. Algumas peculiaridades e formas também não podem ser obtidas através desses processos, como por exemplo o roscamento e a furação, e para alguns tipos e formato de peças, esses processos também não demonstram serem os melhores visando o custo e velocidade na produção. Nesses casos pode ser realizado o processo de usinagem para atingir os objetivos requeridos (CHIAVERINI, 1986).

A usinagem permite uma série de alterações como:

- Acabamento de superfície para melhor aspecto visual.
- Dimensões mais precisas para atingir as especificações do projeto.
- Permite atingir formatos e fabricar elementos impossíveis de serem feitos em outros processos, tais como furos de baixos diâmetros, roscas, entre outros.
- Fabricação seriada de peças com baixo custo.
- Não altera as propriedades mecânicas do material quando utilizado parâmetros de cortes adequados.

2.3 TORNEAMENTO

Na usinagem convencional há três processos principais: furação, torneamento e fresamento. O torneamento consiste na retirada de material superficial de uma peça presa a um mandril que gira em torno do eixo de rotação da máquina, enquanto a ferramenta se desloca simultaneamente. É utilizado para obter superfícies de revolução e podem ser de várias modalidades: retilíneo, cilíndrico, cônico, radial, perfilamento, etc (GROOVER et al., 2014). O processo de torneamento pode ser visualizado na figura 2.

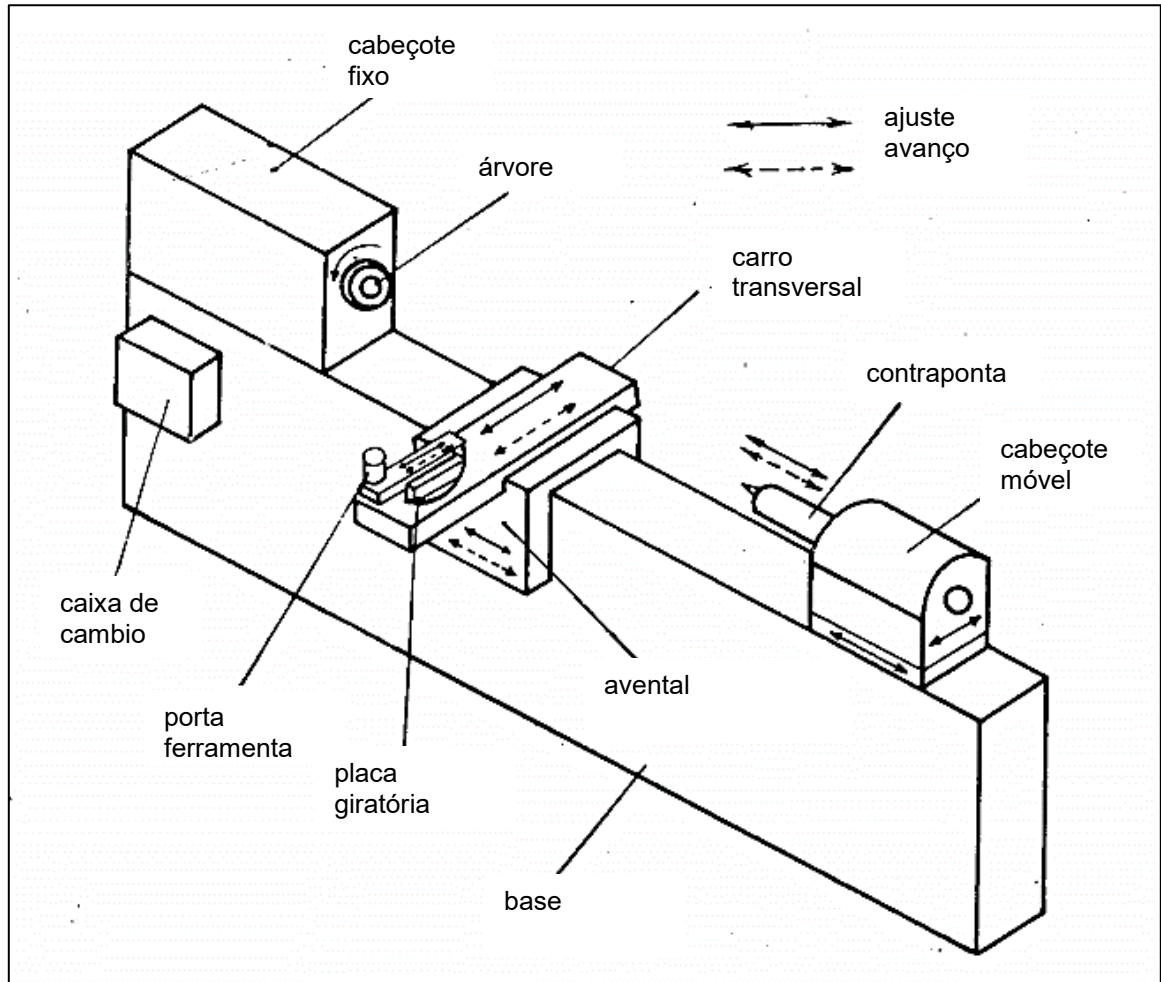


Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

O torno mecânico é a máquina utilizada para os processos de torneamento, ele possui um motor elétrico que faz girar um eixo árvore ligado a um cabeçote fixo composto por uma placa mandril com algumas castanhas. Estas auxiliam na fixação da peça de modo que ela fique centrada, ou sejam com seu eixo paralelo ao eixo de rotação do torno. A base do torno é uma mesa com dois barramentos paralelos que sustentam seus acessórios como o contraponto ligado ao cabeçote móvel (auxilia na fixação da peça), o carro principal (realiza movimento longitudinal), o carro auxiliar (realiza movimento transversal), o porta-ferramenta (fixa a ferramenta de corte) entre outros componentes mecânicos (CHIAVERINI, 1986).

Os componentes do torno mecânico podem ser vistos na figura 3.

Figura 3 – Representação das partes e componentes de um torno mecânico



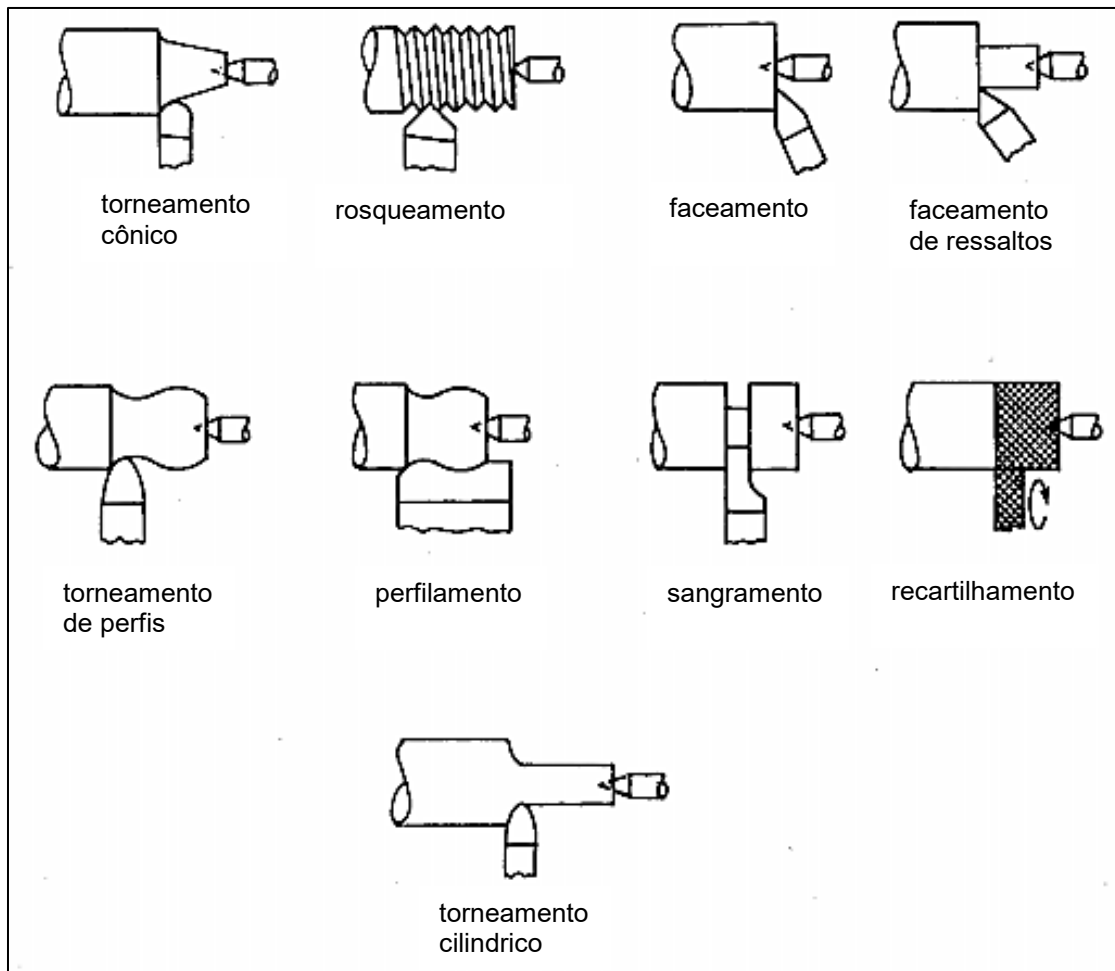
Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

O eixo árvore possui rotação que varia conforme a configuração das alavancas, e pode girar nos dois sentidos. O carro transversal possui movimento transversal e longitudinal para aproximação lenta da ferramenta em direção a peça. O carro longitudinal possui uma manivela que permite um movimento rápido apenas no sentido longitudinal. O contraponto possui um movimento lento centralizado com o eixo árvore.

2.3.1 Operações

Há diversas operações que podem ser feitas através de um torno mecânico, com geometrias, movimentos, usos e objetivos diferentes (CHIAVERINI, 1986). Essas operações são vistas na figura 4, onde é possível identificar a posição da peça e o perfil gerado pela ferramenta.

Figura 4 – Representação das principais operações de torneamento



Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

As operações mais comuns são:

- Torneamento cilíndrico: Operação obtida pelo deslocamento da ferramenta paralelamente ao eixo da peça. O torneamento cilíndrico pode ser externo ou interno.
- Torneamento cônico: É a operação obtida pelo deslocamento da ferramenta obliquamente ao eixo da peça. O torneamento cônico pode ser externo ou interno.
- Roscamento: É a operação que consiste em abrir rosca (filetes) em uma superfície externa ou interna de um cilindro. Para filetar, são necessários dois movimentos dependentes: rotação da peça e translação da ferramenta (avanço).
- Faceamento: É a operação que se realiza quando se desloca a ferramenta no sentido normal ao eixo de rotação da peça, em contato com uma superfície. O faceamento pode ser externo ou interno.
- Torneamento de perfis: Operação obtida pelo deslocamento da ferramenta em relação ao eixo da peça para se obter geometrias e perfis requeridos. O torneamento de perfis pode ser externo ou interno.
- Perfilamento: Processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea radial ou axial, visa à obtenção de uma forma já definida, determinada pelo perfil da ferramenta.
- Sangramento: É a operação que consiste em cortar ou fazer canais em uma peça no torno, com uma ferramenta chamada bedame. O sangramento pode ser radial ou axial.
- Recartilhamento: Operação obtida quando se desejam tornar uma superfície áspera e com traços desejados, utilizando-se uma ferramenta que possa imprimir na superfície a forma desejada.

2.4 CONCEITOS DE CORTE

Para determinar e elaborar um projeto e cálculos de parâmetros de como será feito o processo de torneamento e a fabricação da peça, são necessários alguns conceitos básicos que serão expostos a seguir.

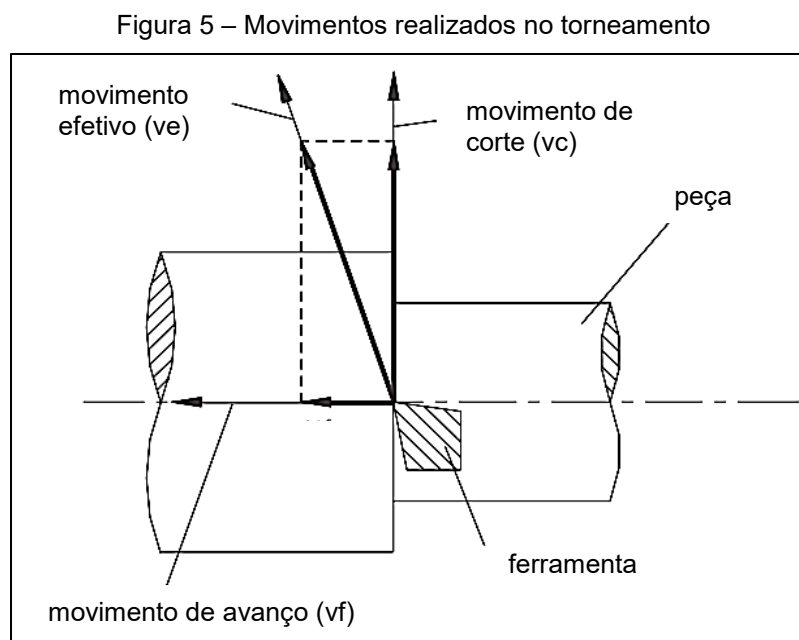
2.4.1 Movimentos

Os movimentos no processo de usinagem são aqueles que ocorrem entre a aresta cortante da ferramenta e a peça considerada parada, e se distinguem em dois movimentos, os ativos e os passivos. Os movimentos ativos são aqueles que promovem a remoção de material através da formação do cavaco, já os movimentos passivos são os que não retiram material. Os movimentos são importantes para determinar o tempo total de fabricação (DINIZ et al.,1999).

De acordo com Ferraresi (1969), os movimentos ativos são categorizados em:

- Movimento de corte: Movimento entre a peça e a ferramenta, o qual sem o movimento de avanço origina somente uma única retirada de cavaco durante uma volta.
- Movimento de avanço: Movimento entre a peça e a ferramenta, o qual juntamente com o movimento de corte origina a retirada contínua de cavaco durante várias rotações.
- Movimento efetivo de corte: Movimento entre a peça e a ferramenta, no qual resulta o processo de usinagem, é o movimento resultante dos movimentos de corte e avanço, realizados simultaneamente.

Os movimentos ativos podem ser visualizados pela figura 5.



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

De acordo com Diniz et al. (1999), os movimentos passivos são categorizados em:

- Movimento de aproximação: Movimento entre a peça e a ferramenta, com a qual a ferramenta, antes da usinagem, é aproximada da peça.
- Movimento de ajuste: Movimento entre a peça e a ferramenta para se determinar a espessura da camada de material a ser retirada da peça.
- Movimento de correção: Movimento de correção entre a peça e a ferramenta para se compensar o desgaste da ferramenta, variação térmica, deformação plástica ou outra variação que ocorrem no processo.
- Movimento de recuo: Movimento entre a peça e a ferramenta, com o qual a ferramenta, após usinar, é afastada da peça.

2.4.2 Direções

De acordo com Machado et al. (2004), aos movimentos estão associadas as direções que realizam o movimento, considera-se como sentido a peça parada e a ferramenta realizando todo o movimento que causa diretamente a retirada de cavaco.

- Direção de corte: Direção do movimento de corte realizado.
- Direção de avanço: Direção do movimento de avanço realizado.
- Direção efetiva: Direção do movimento efetivo realizado.
-

2.4.3 Percursos

Os percursos são utilizados para cálculo do tempo de usinagem. De acordo com Machado et al. (2004), são as distâncias que os movimentos realizam durante o processo de usinagem.

- Percurso de corte (L_c): É a distância percorrida entre a aresta de corte sobre a peça seguindo a direção de corte.
- Percurso de avanço (L_f): É a distância percorrida pela aresta de corte sobre a peça seguindo a direção de avanço.

- Percurso efetivo (L_e): É a distância percorrida pela aresta de corte sobre a peça seguindo a direção efetiva de corte.

2.4.4 Velocidades

A velocidade é um fator importante na usinagem, pois com ela é possível prever o tempo para a produção de uma determinada peça.

Velocidade de corte (V_c) é a velocidade tangencial instantânea entre a aresta cortante e a peça, resultante da rotação da ferramenta em torno da peça (FERRARESI, 1969). Pode ser calculada por:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [1]$$

Onde d é o diâmetro do tarugo em mm, n é a rotação do eixo do torno em rpm, e V_c é dado por m/min.

Velocidade de avanço (V_f) é a velocidade da ferramenta seguindo a direção de avanço (FERRARESI, 1969). Pode ser calculada por:

$$V_f = f \cdot n \quad [2]$$

Onde f é o avanço dado em mm/volta, n é a rotação do eixo do torno em rpm, e V_f é dado por mm/min.

2.4.5 Tempos

O tempo na usinagem é significativo na parte econômica da produção, pois engloba o tempo ativo e o tempo passivo. O tempo ativo ou tempo de corte (t_c) é o qual a ferramenta está retirando material da peça, ou seja, o movimento de avanço e de corte estão acontecendo (DINIZ et al., 1999). Em um torneamento pode ser calculado por:

$$T_c = \frac{L_f}{V_f} \quad [3]$$

Onde L_f é o comprimento de avanço em mm, V_f a velocidade de avanço em mm/min, e T_c é dado por min.

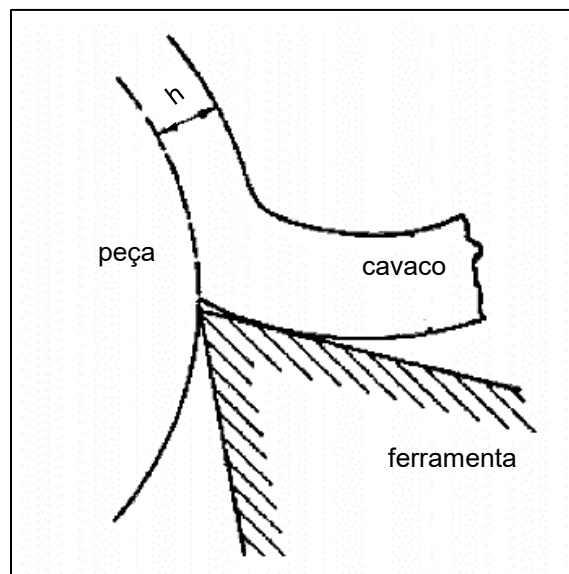
O tempo passivo representa várias ações, como: colocação e fixação da peça, aproximação e posicionamento da ferramenta, afastamento da ferramenta, inspeção e retirada da peça, preparo da máquina, remoção e/ou substituição da ferramenta ou pastilha e recolocação e ajustagem da nova ferramenta (DINIZ et al., 1999).

2.5 GERAÇÃO DE CAVACO

O cavaco é comum em todos os processos de usinagem, e pode variar em forma, espessura e comprimento, sendo esses fatores determinados pelo tipo de material envolvido no processo e também pelos parâmetros de corte impostos (AMORIM, 2002).

É importante entender a formação do cavaco para verificar se os parâmetros de cortes estão de acordo com o esperado. Uma forma intuitiva de visualizar a formação de cavaco é através da figura 6.

Figura 6 – Ferramenta retirando cavaco da peça



Fonte: Adaptado de Ferraresi (1969).

Segundo Machado et al. (2011), o cavaco é formado em altíssimas velocidades e são separados em quatro eventos sequenciais:

- Recalque inicial: No início uma porção do material é pressionado contra a cunha de corte da ferramenta.

- **Deformação e ruptura:** Ao ser pressionado o material sofre deformação elástica e seguido de uma deformação plástica, nesse ponto há tensões de cisalhamento que geram uma trinca numa região denotada por zona primária de cisalhamento, a trinca se propaga ao longo dessa região até provocar a ruptura do material.
- **Deslizamento de lamelas:** Com a continuação da penetração ocorre o escorregamento das lamelas, em alguns materiais o cavaco rompido continua unido ao cavaco recém-formado, dando origem a cavacos contínuos ou descontínuos.
- **Saída do cavaco:** Nesta etapa ocorre o escorregamento de uma porção de material da peça sobre a superfície da ferramenta, e imediatamente uma nova lamela se forma e passa pelos mesmos processos.

2.5.1 Tipos de Cavacos

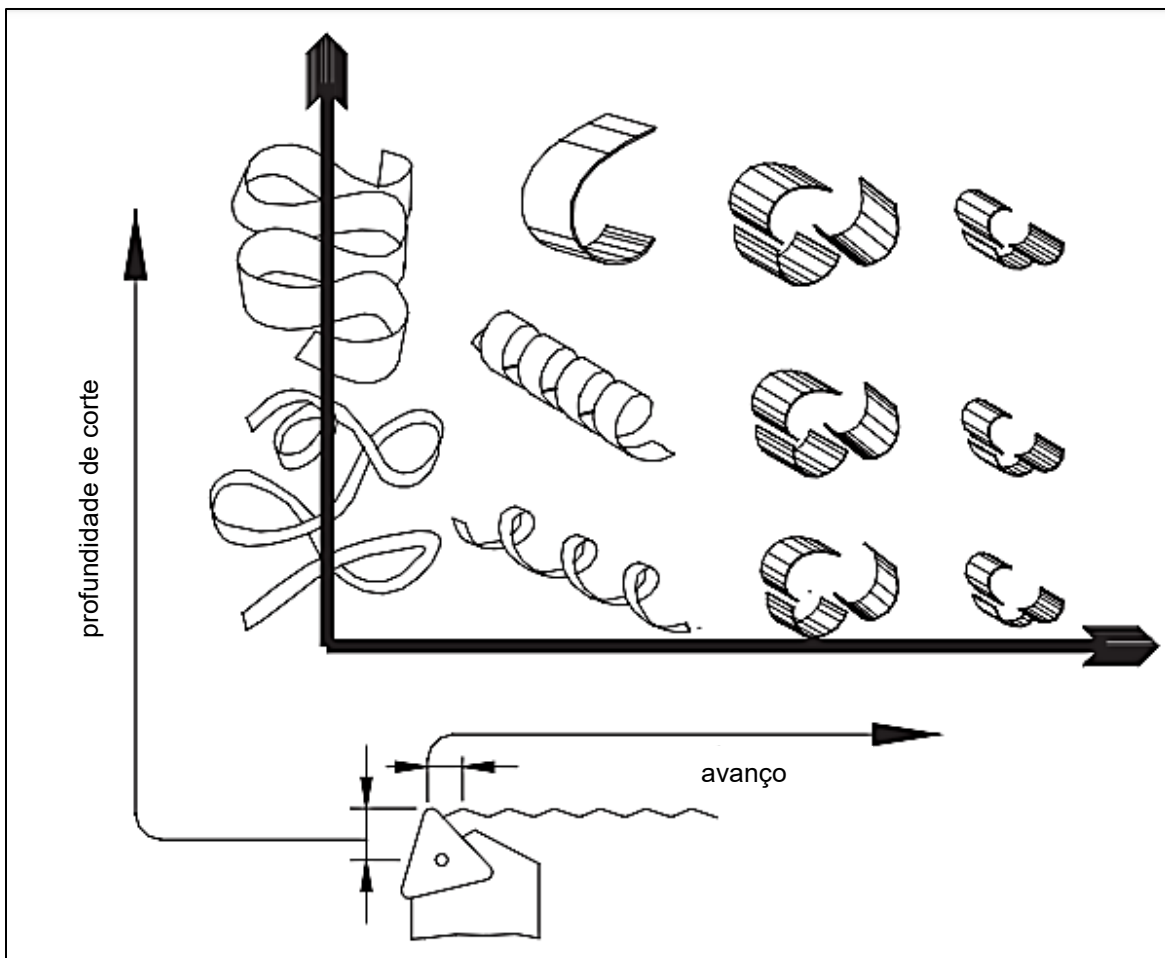
Há diversos tipos de cavacos, que variam de acordo com a ductilidade do material da peça e dos parâmetros de corte. A forma mais comum de classificar o cavaco é devido o seu formato. De acordo com Diniz et al. (1999) o cavaco é classificado como:

- **Cavaco contínuo:** Caracterizado pelo grande comprimento e comum em metais dúcteis, formado quando o material recalcado desliza sem que o rompimento ocorra.
- **Cavaco de cisalhamento:** Ocorre quando a trinca provoca a ruptura do cavaco, porém devido à pressão e temperatura ele é soldado no cavaco recém-formado. É um meio termo entre contínuo e de ruptura.
- **Cavaco de ruptura:** Apresenta em fragmentos arrancados da peça, comum em metais frágeis.

2.5.2 Formas do Cavaco

De acordo com Machado et al. (2011) o material da peça é o principal fator que determina a forma do cavaco, outras condições também influenciam, como o aumento da velocidade de corte, redução do avanço ou aumento do ângulo de saída que promovem a formação de cavacos em fitas. O avanço e a profundidade de corte também afetam a formação do cavaco, esse efeito pode ser visualizado pela figura 7.

Figura 7 – Efeito do avanço e profundidade de corte na forma do cavaco



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).


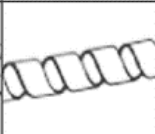

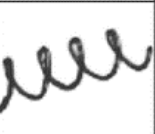
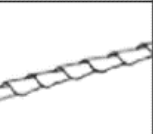













Os cavacos longos são os que causam maiores problemas quanto a segurança do operador e afeta também a produtividade, por exemplo, pode se emaranhar a peça e aumentar a rugosidade superficial. A principal forma de produzir a quebra dos cavacos longos são modificações nas ferramentas denominadas de quebra-cavacos (DINIZ et al., 1999).

De acordo com a norma ABNT 3685 (1993) segundo a forma, os cavacos podem ser classificados como:

- Cavaco em fita.
- Cavaco helicoidal.
- Cavaco espiral.
- Cavaco em lascas.

As formas podem ser vistas na figura 8.

Figura 8 – Tipos de forma do cavaco

1 - Cavaco em fita	2 - Cavaco tubular	3 - Cavaco espiral	4 - Cavaco hel. tipo arruela	5 - Cavaco hel. cônico	6 - Cavaco em arco	7 - Cavaco fragmentado	8 - Cavaco tipo agulha
							
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conect.		
							
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Solto		
							
1-3 - Emaranhado	2-3 - Emaranhado		4-3 - Emaranhado	5-3 - Emaranhado			

Fonte: Adaptado de ABNT 3685 (1993).

Sendo que os emaranhados e os muito longos são desfavoráveis para o torneamento por prejudicar o acabamento da peça e podendo também causar acidentes ao operador.

2.5.3 Grandezas do Cavaco

Segundo Diniz et al. (1999) são grandezas relacionadas as dimensões do cavaco.

A largura de corte (b) é a largura do cavaco removido visto de sua seção transversal, é possível calcular pela equação:

$$b = \frac{ap}{\sin \chi_r} \quad [4]$$

Onde ap é a profundidade de corte, ou seja, o quanto a ferramenta penetra na peça, dado em mm, χ_r é o ângulo entre a aresta principal de corte e a peça em graus, e b é dado em mm.

A espessura de corte (h) é a espessura do cavaco removido visto de sua seção transversal, é possível calcular pela equação:

$$h = f \cdot \sin \chi_r \quad [5]$$

Onde f é o avanço em mm, χ_r é o ângulo entre a aresta principal de corte e a peça em graus, e h é dado em mm.

A área da seção transversal do cavaco removido (A) é calculado por:

$$A = ap \cdot f = b \cdot h \quad [6]$$

Onde ap é a profundidade de corte em mm, f é o avanço em mm, b a largura de corte em mm, h a espessura de corte em mm, e A é dado em mm².

2.6 GEOMETRIA DA FERRAMENTA

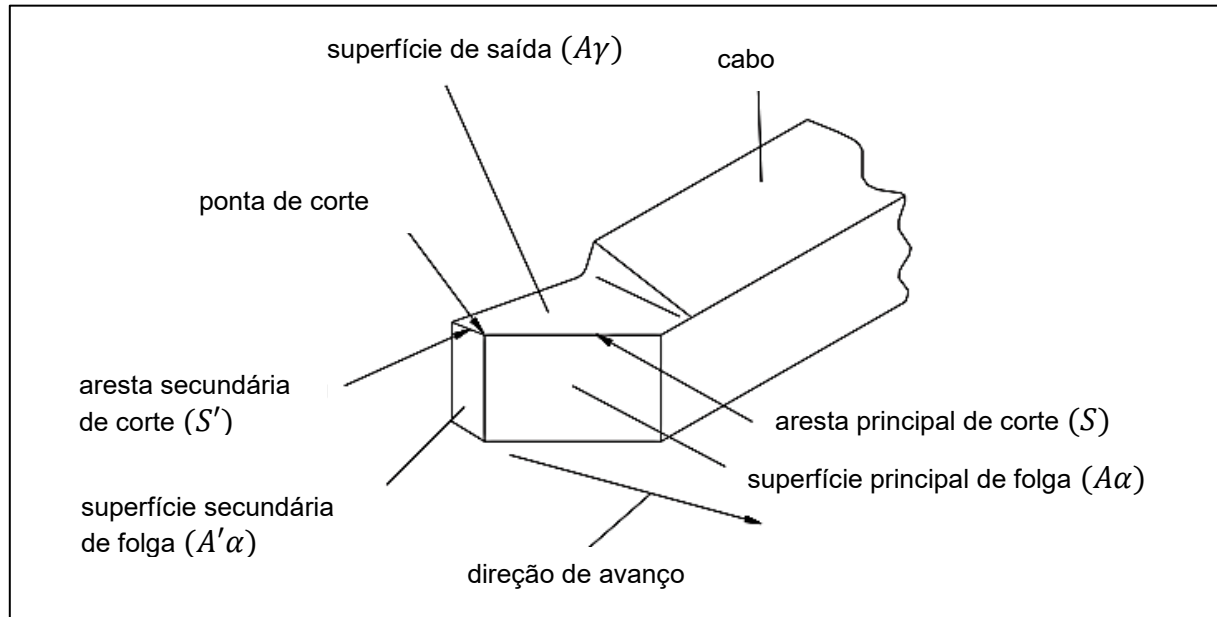
Para a construção das ferramentas é importante definir alguns conceitos e definições sobre a geometria da ferramenta pois tem grande influência nos processos de usinagem.

Independente do material da ferramenta, se a geometria não for adequada, não será possível realizar a operação. E essas definições e nomenclaturas são uniformizadas entre os profissionais e a literatura especializada NBR 6163 (MACHADO et al., 2011).

2.6.1 Parte Construtiva

As partes construtivas da ferramenta podem ser vistas na figura 9.

Figura 9 – Partes construtivas da ferramenta



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2004).

Segundo Diniz et al. (1999), as partes construtivas da ferramenta são:

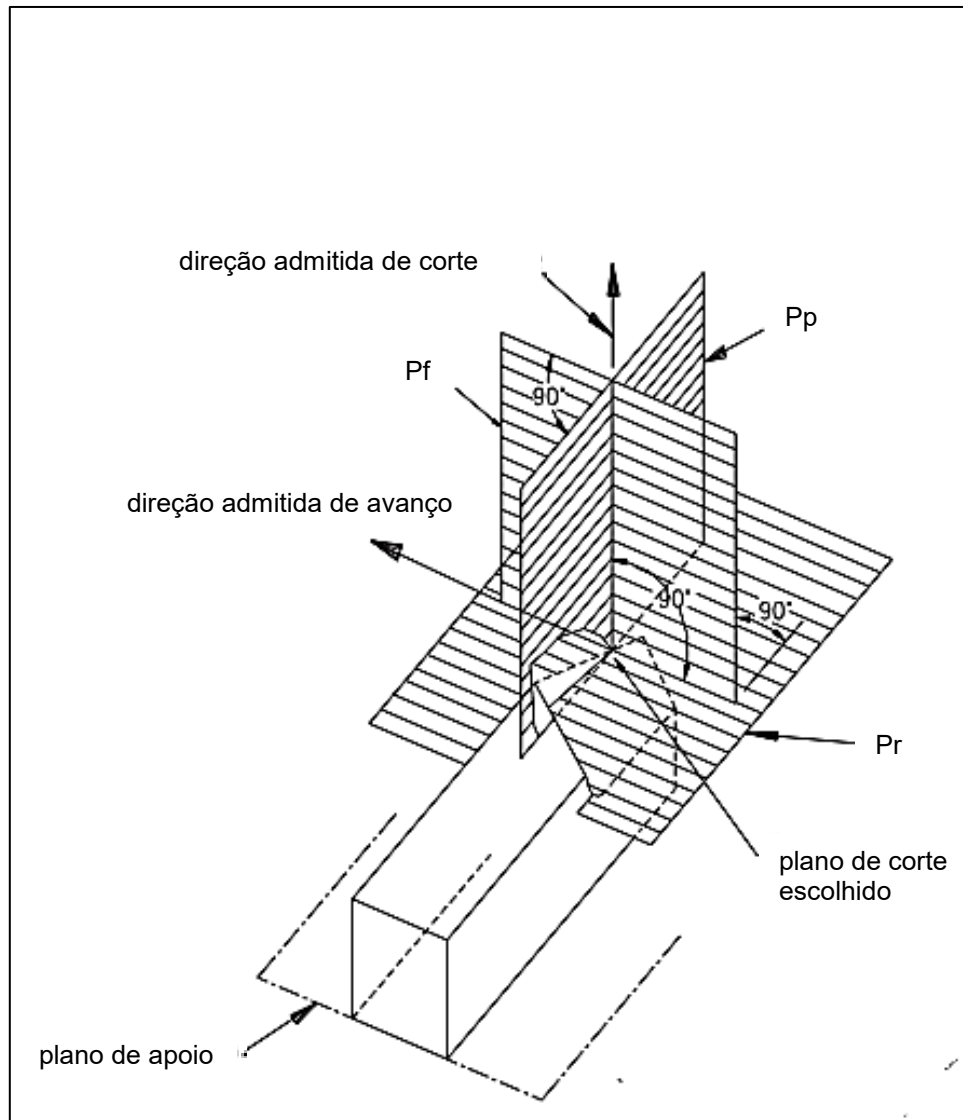
- **Cunha de corte:** É a aresta formada entre as superfícies de saída e de folga, é o local sobre o qual forma-se o cavaco.
- **Superfície de saída ($A\gamma$):** Superfície da cunha na qual o cavaco desliza durante a usinagem.
- **Superfície de folga:** Superfície da cunha que determina a folga entre a ferramenta e a superfície da peça. É dividida entre superfície principal de folga ($A\alpha$) que contém a aresta principal de corte, e a superfície secundária de folga ($A'\alpha$) que contém a aresta secundária de corte.
- **Aresta de corte:** São as arestas formadas pelas superfícies de saída e de folga. É dividida entre aresta principal de corte (S) que indica a direção do avanço, e aresta secundária de corte (S') que indica a direção contrária ao avanço.
- **Ponto de corte:** Local onde se encontram as arestas de corte.

2.6.2 Planos de Referência

Para projetar, executar, afiar ou reparar uma ferramenta de corte ou um bit, é necessário definir e descrever os ângulos de corte, e para isso se faz o uso de três planos de referência perpendiculares entre si (DINIZ et al., 1999).

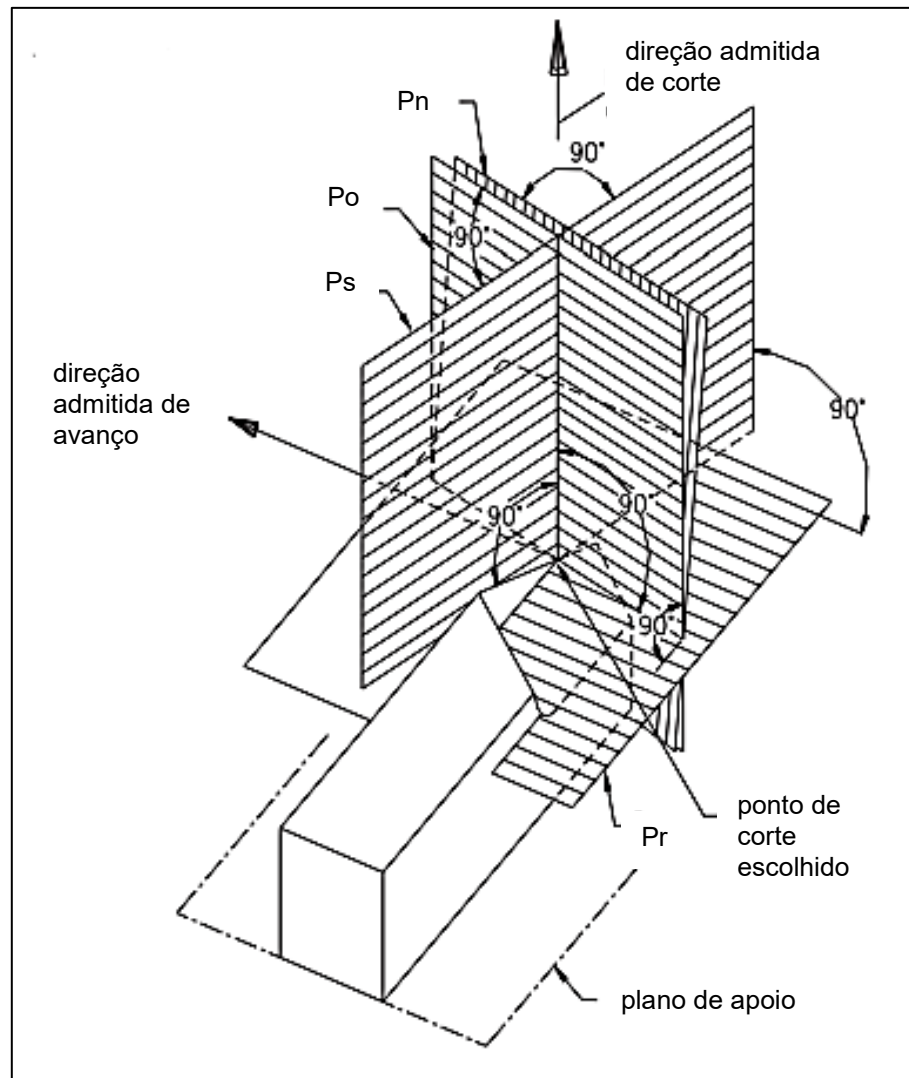
Os planos podem ser visualizados nas figuras 10 e 11.

Figura 10 – Planos de referência da ferramenta



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

Figura 11 – Planos de referência da ferramenta



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

De acordo com Machado et al. (2011) os planos são:

- Plano de referência (Pr): Plano perpendicular à direção de corte e que passa pelo ponto de corte.
- Plano de corte principal (Ps): Plano perpendicular ao plano de referência, passa pelo ponto de corte e é tangente à aresta principal de corte.
- Plano de corte secundário (Ps'): Plano perpendicular ao plano de referência, passa pelo ponto de corte e é tangente à aresta secundária de corte.

- Plano ortogonal (P_o): Plano perpendicular aos planos de corte e de referência, passa pelo ponto de corte.
- Plano de trabalho (P_f): Plano perpendicular ao plano de referência, passa pelo ponto de corte, e paralelo à direção de avanço.
- Plano dorsal (P_p): Plano perpendicular aos planos de referência e de trabalho, e passa pelo ponto de corte.
- Plano normal (P_n): Plano perpendicular à aresta de corte (S) e passa pelo ponto de corte.

2.6.3 Ângulos da Cunha

Os ângulos da ferramenta influenciam vários fatores na usinagem como a vida da ferramenta e a qualidade do acabamento. Os ângulos podem ser positivos ou negativos, visto de acordo com o plano de referência e a cunha de corte da ferramenta. De acordo com Diniz et al. (1999), os ângulos da ferramenta são definidos como:

- Ângulo de posição (χ_r): Ângulo entre o plano de corte e o plano de trabalho, medido sobre o plano de referência. É sempre positivo e situa-se fora da cunha de corte. Distribui as tensões de corte, produz uma força passiva reduzindo as vibrações.
- Ângulo de posição secundário (χ'_r): Ângulo entre o plano de corte secundário e o plano de trabalho. É sempre positivo e situa-se fora da cunha de corte.
- Ângulo de ponta (ϵ_r): Ângulo entre o plano de corte principal e secundário, medido sobre o plano de referência.
- Ângulo de inclinação (λ_s): Ângulo entre a aresta de corte e o plano de referência, medido sobre plano de corte. É um ângulo agudo cujo vértice indica a ponta de corte. Controla a direção de saída do cavaco e protege a quina contra impactos, reduzindo as vibrações.
- Ângulo de saída (γ): Ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência, medido sobre o plano ortogonal. Influencia na força e potência de corte, no acabamento e no calor gerado, quanto maior o ângulo menor o trabalho, se for negativo pode ser usado para o corte de materiais de difícil usinabilidade.

- Ângulo de cunha (β): Ângulo entre a superfície de saída e de folga, medido sobre o plano ortogonal.

- Ângulo de folga (α): Ângulo entre a superfície de folga e o plano de corte, medido sobre o plano ortogonal. Evita atrito entre a peça e a superfície de folga da ferramenta, escolhido de acordo com a resistência do material da peça e da ferramenta, se for muito grande perde a resistência e pode quebrar ou soltar lascas, se for muito pequeno ocorre geração de calor prejudicando o acabamento.

As relações que valem são as seguintes:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

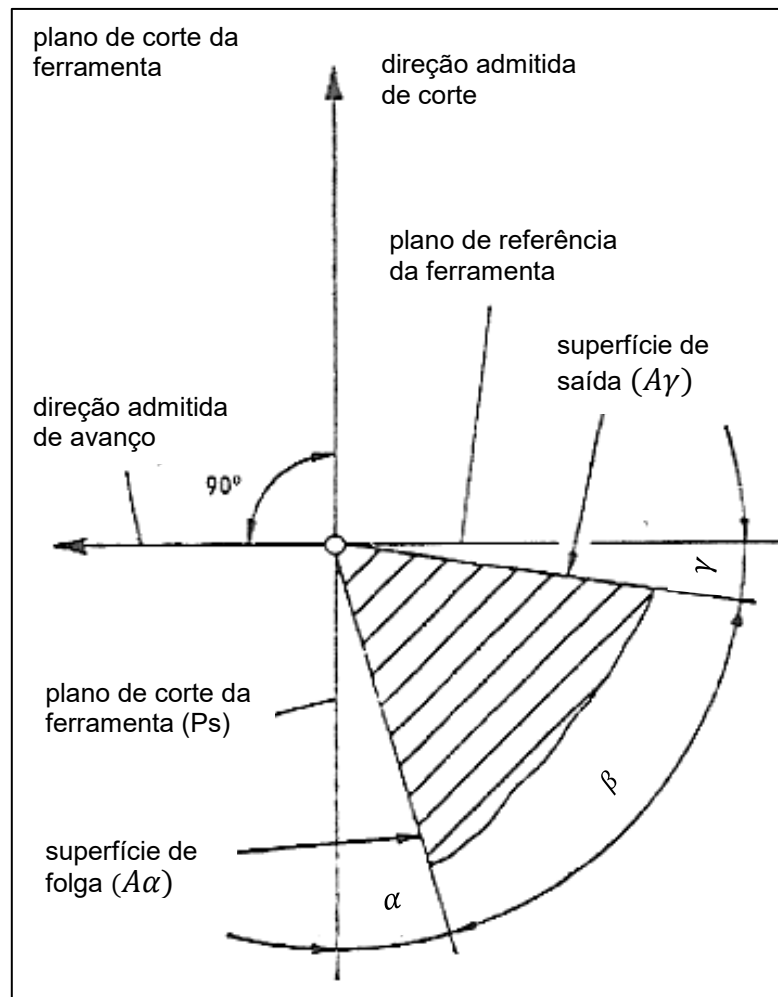
[7]

$$\chi_r + \varepsilon_r + \chi'_r = 180^\circ$$

[8]

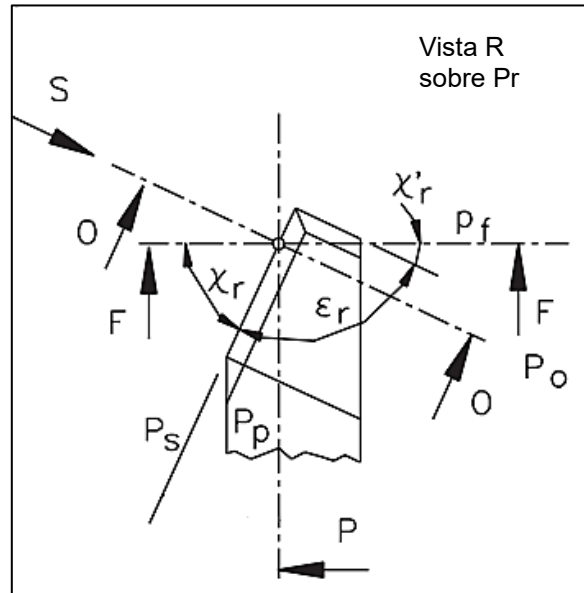
Os ângulos são mostrados nas figuras 12, 13 e 14.

Figura 12 – Ângulos da cunha de corte da ferramenta



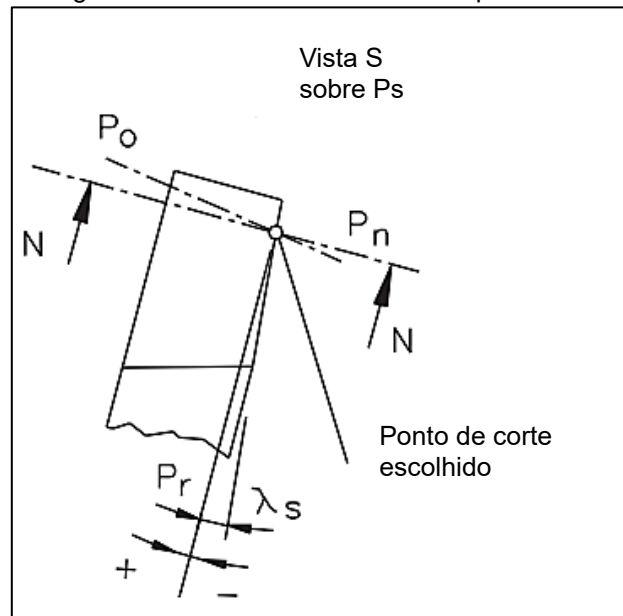
Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

Figura 13 – Ângulos da ferramenta visto sobre o plano de referência.



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

Figura 14 – Ângulos da ferramenta visto sobre o plano de corte principal



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

Diante desses ângulos, planos e arestas, é possível projetar uma ferramenta sabendo especificar exatamente o formato desejado que atenda a proposta de uso.

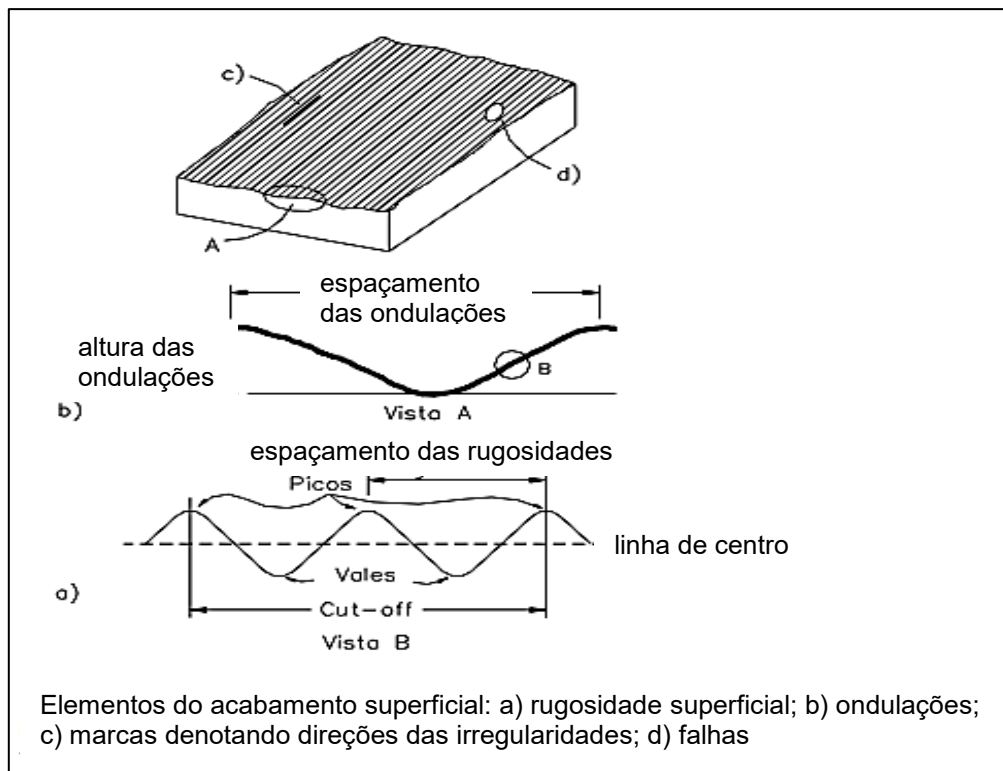
2.7 ACABAMENTO SUPERFICIAL

De acordo com Machado et al. (2011) para se obter um acabamento superficial requerido, deve-se atentar em diversos fatores. Dentre eles estão:

- **Rugosidade superficial:** São irregularidades finas ou erros micro geométricos que podem ser medidos. Podem ser causados por marcas de avanço, aresta postiça de corte, desgastes e avarias da ferramenta. É utilizada para controlar o processo de fabricação como a escolha da máquina ferramenta, propriedades do material da peça, geometria da ferramenta e parâmetros de usinagem.
- **Ondulações:** São irregularidades com espaçamento maior que as rugosidades, e são causados por vibrações, deflexão da ferramenta ou da peça, temperatura, e erros de fixação tanto da peça quanto da ferramenta.
- **Falhas:** São interrupções na topografia da superfície da peça. Não podem ser controladas, são causadas por inclusões, trincas e bolhas.

A figura 15 mostra os elementos de irregularidades ao longo de uma superfície.

Figura 15 – Elementos do acabamento superficial



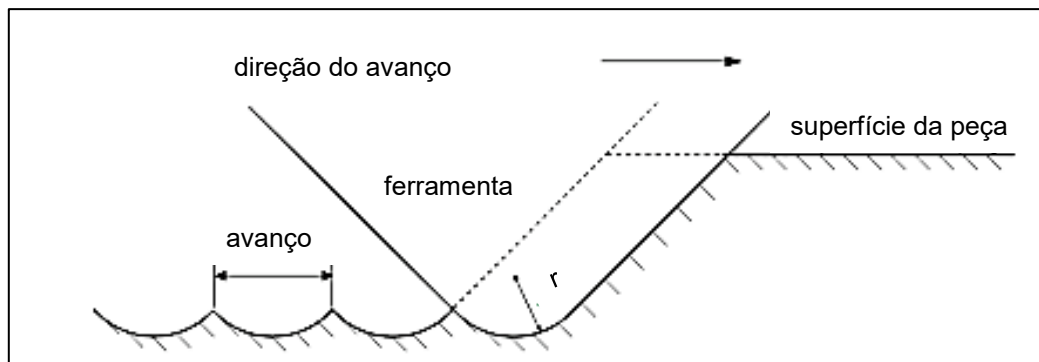
Fonte: Adaptado de Juneja et al. (1987).

Busca-se então para melhorar o acabamento superficial, reduzir as rugosidades superficiais avaliando os parâmetros de cortes escolhidos e as propriedades do material da ferramenta e da peça, reduzir as ondulações analisando as ações relacionadas à máquina de trabalho, fixando corretamente os acessórios e peça e controle da temperatura utilizando fluido de corte ou outros meios.

2.7.1 Efeitos de Parâmetros na Rugosidade Superficial

De acordo com Machado et al. (2011) para uma ferramenta nova a rugosidade superficial é formada pelas marcas de avanço. Para um torneamento feito por uma ferramenta com raio de ponta r , as marcas de avanço geradas podem ser vistas na figura 16.

Figura 16 – Marcas de avanço de uma ferramenta nova no torneamento



Fonte: Adaptado de Juneja et al. (1987).

Os parâmetros da rugosidade superficial dependem dos seguintes elementos (Machado et al., 2011):

- Os parâmetros de corte devem se adequar para possuir uma alta velocidade de corte aliado a uma redução do avanço visando evitar a formação da aresta postiça de corte. Também deve buscar uma pequena profundidade de corte para reduzir os esforços de usinagem e as deflexões.

- A geometria da ferramenta deve buscar um raio de ponta grande o suficiente para diminuir marcas de avanço, aresta de corte sem desgaste, quebra ou aresta postiça de corte, aumento do ângulo de saída para evitar rebarbas e reduzir as forças de usinagem, ângulo de folga suficiente para prevenir o atrito peça-ferramenta, redução do ângulo de posição para reduzir marcas de avanço e facilitar o escoamento do cavaco.

- A máquina ferramenta deve possuir potência suficiente para manter a velocidade e o avanço requerido, ter resiliência para evitar deflexões, rigidez contra vibrações, precisão para reduzir desalinhamento, meios adequados para fixação da peça e ferramenta.

- O material da peça deve possuir composição química que inibe a aresta postiça de corte, alta dureza aliada a baixa ductibilidade, granulação fina, uniformidade da composição ao longo do comprimento e da seção transversal, livre de defeitos como trincas, bolhas e inclusões.

2.7.2 Medição da Rugosidade

De acordo com Machado et al. (2011) alguns parâmetros são determinados para medir a rugosidade, esses parâmetros são definidos na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros da rugosidade

Símbolo	Nome	Definição
Ra	Desvio Aritmético Médio	Valor médio aritmético de todos os desvios do perfil de rugosidade em relação a uma linha média dentro de um comprimento de medição, muito utilizado na indústria por ser simples e baratos, porém é um parâmetro estável e não é influenciado por efeitos ocasionais.
Rq	Desvio Médio Quadrático	Desvio médio da raiz quadrada da linha média, tem o efeito de ampliar os valores de picos e vales isolados, evidencia defeitos ou marcas em superfícies acabadas
Rt	Altura Total	Distância vertical entre o pico mais elevado e o vale mais profundo no comprimento de amostragem, pode ser influenciado por qualquer sujeira ou irregularidade na superfície.
Rz	Valor Médio da Altura	Valor médio da altura máxima em 5 intervalos ao longo do comprimento, é mais estável que o Rt
Rp	Altura Máxima do Pico	Altura máxima do pico mais elevado da rugosidade, situado acima da linha média
Rv	Profundidade Máxima do Vale	Profundidade máxima do vale mais profundo da rugosidade, situado abaixo da linha media.

Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

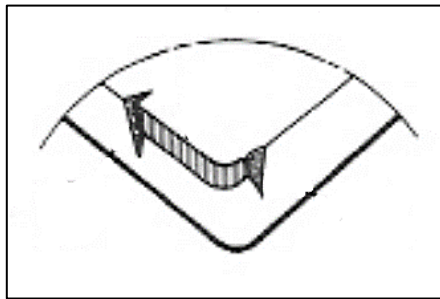
Outros parâmetros são evidenciados para medir a rugosidade, porém a escolha do parâmetro depende da aplicação da superfície.

2.8 DESGASTES

Há diversas formas de desgastes e avarias que podem ocorrer numa ferramenta e inutilizá-la ou então prejudicar sua função. De acordo com Diniz et al. (1999) as formas de desgaste são:

- Desgaste de flanco: É o tipo de desgaste mais comum, ocorre na superfície de folga devido ao contato entre a ferramenta e a peça, ocorre em todo o processo de usinagem e influencia diretamente o acabamento. Pode ser visto na figura 17.

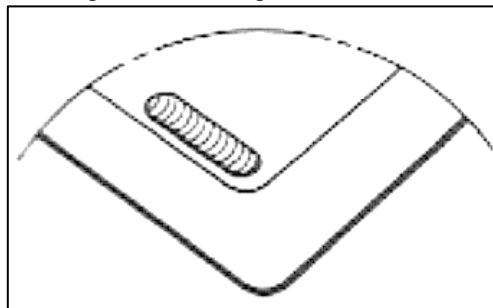
Figura 17 – Desgaste de flanco



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999)

- Desgaste de cratera: Ocorre na superfície de saída devido ao atrito entre a ferramenta e o cavaco, acontece quando o material da peça é frágil, e seu crescimento pode ocasionar a quebra da ferramenta. Pode ser visto na figura 18.

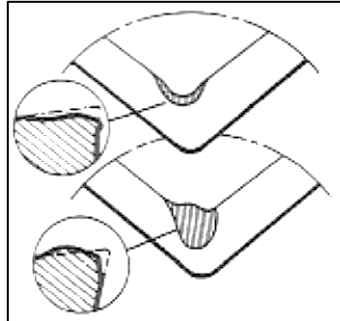
Figura 18 – Desgaste de cratera



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

- Deformação plástica da aresta cortante: Avaria causada devido à alta pressão somada a alta temperatura na ponta da ferramenta, deformando-a e prejudicando o acabamento da peça e o controle do cavaco. Pode ser evitada ao utilizar uma ferramenta com maior dureza. Pode ser visto na figura 19.

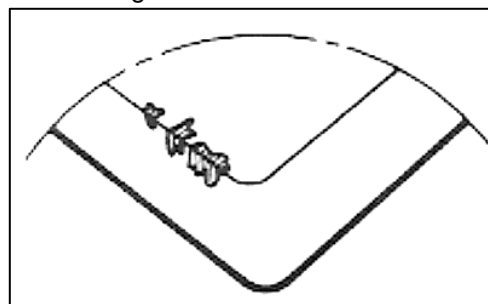
Figura 19 – Deformação plástica da aresta



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

- Lascamento: Tipo de avaria causada pela retirada de partículas maiores de uma só vez, que ocorre em ferramenta frágil e prejudicam o acabamento. Pode ser visto na figura 20.

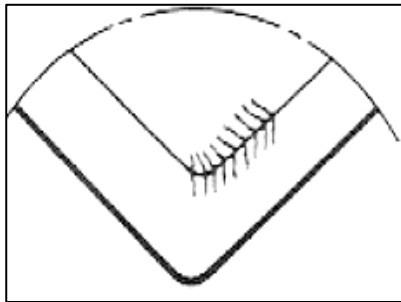
Figura 20 – Lascamento



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

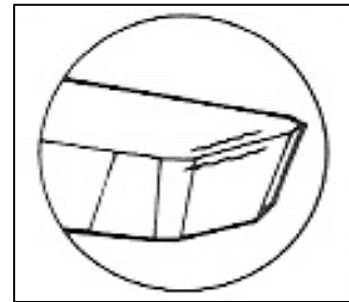
- Trincas: Tipo de avaria causada pela variação da temperatura (trincas perpendiculares à aresta de corte) ou variação dos esforços (trincas paralelas à aresta de corte). O crescimento da trinca leva à quebra da ferramenta, e pode ser evitado utilizando ferramenta mais tenaz. A trinca de origem térmica pode ser vista na figura 21 e a de origem mecânica pode ser vista na figura 22.

Figura 21 – Trincas de origem térmica



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

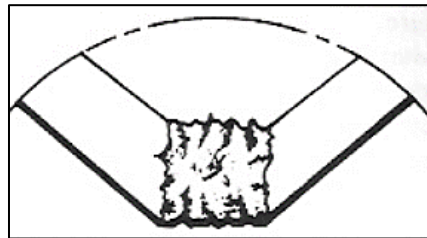
Figura 22– Trincas de origem mecânica



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

- Quebra: Todos os desgastes e avarias quando se propagam leva a quebra da ferramenta, porém alguns fatores também levam a quebra como a carga excessiva ou parada instantânea. Quando ocorre causa danos na ferramenta e na peça. Pode ser visto na figura 23.

Figura 23 – Quebra



Fonte: Adaptado de Diniz et al. (1999).

Os desgastes devem ser sempre controlados e avaliados, pois eles determinam a vida útil da ferramenta, além de reduzir a qualidade do acabamento pelo fato de aumentarem a rugosidade, sendo assim não atingindo as tolerâncias geométricas requeridas no processo.

2.9 MATERIAIS PARA FERRAMENTA

Segundo Ferraresi (1969) basicamente a escolha do material da ferramenta na usinagem é baseada na escolha do material da peça a ser usinada, porém outros fatores devem ser levados em consideração, entre eles estão: a natureza da operação, a condição da máquina operatriz, formato e dimensão da ferramenta, custo do material da ferramenta e o uso de fluido refrigerantes e lubrificantes.

Os materiais utilizados na fabricação de ferramentas para usinagem são classificados em: aço carbono (sem elementos de liga), aços rápidos, ligas fundidas, metal duro, cerâmicos, diamante e cermets. Os mais utilizados são o aço rápido e o metal duro. De acordo com Rodrigues et al. (2012) as ferramentas de aço rápido possuem altas dureza a frio e resistência ao superaquecimento, principalmente as que possuem Cobalto em sua composição, ainda de acordo com os autores, essas ferramentas são preferíveis pois podem ser forjadas, laminadas e usinadas, aumentando o número de aplicações possíveis, porém como desvantagem é a dificuldade em realizar o tratamento térmico. Já as ferramentas de metal duro são utilizadas para usinagem de praticamente todas as ligas metálicas e possuem vida útil maior, alcançando melhores resultados, atualmente são fabricadas por metalurgia do pó.

No geral, de acordo com Barbosa (2014) as principais propriedades requeridas do material da ferramenta são: alta dureza, tenacidade suficiente, resistência ao desgaste, a compressão e ao cisalhamento, boas propriedades mecânicas e térmicas, resistência ao choque térmico e ao impacto e ser quimicamente inerte. No geral, numa situação ideal, deve possuir a dureza do diamante natural, tenacidade do aço rápido e inércia química da alumina.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O objetivo do trabalho é verificar o acabamento da peça de alumínio usinada por bits e comparar com os valores da peça usinada por pastilha com parâmetros de corte similares no processo. Além disso algumas informações também serão coletadas, como os desgastes da ferramenta de corte, a forma do cavaco e demais propriedades resultantes da usinagem.

Inicialmente o tarugo terá seu diâmetro inicial de 1 ½ polegada e material de alumínio pois possui boa usinabilidade, a pastilha será montada e o bits afiado para obter dimensões que se aproximam a da pastilha, ou seja, ângulo de ponta de 60° e raio de 0,4 mm. As rotações escolhidas foram: 100, 200, 400, 500, 800, 1000, 1600, 2500 rpm.

Após posicionar a peça no torno e ajustar a pastilha para retirada de material, serão feitas uma determinada quantidade de passadas, uma para cada rotação escolhida com a mesma profundidade de corte entre elas, tentando manter-se em 0,1 mm. O mesmo será feito com outra peça e utilizando o bit como ferramenta de trabalho.

Para cada passada a peça será retirada e será verificado no rugosímetro as descontinuidades e amplitudes superficiais encontradas no acabamento superficial em ambos os casos, os parâmetros cujo rugosímetro exhibe são: Ra, Rz, Rp, Rv e Rt.

Após coletar esses dados, eles serão analisados e serão traçados gráficos relacionando as rugosidades de ambas ferramentas para cada rotação equivalente.

Outros elementos também serão analisados durante esse estudo, como os detalhes do cavaco e os desgastes da ferramenta de corte escolhida.

Com o resultado final serão obtidos dados sobre a rugosidade na superfície da peça e determinar se o uso de bits é viável quando se busca determinado acabamento da peça e ter a versatilidade que ele proporciona em relação as pastilhas.

3.2 CORPO DE PROVA

Na preparação, o tarugo foi cortado em duas partes com comprimentos próximos de 100 mm utilizando uma serra fita horizontal. Inicialmente o diâmetro do tarugo é de 1 ½" ou o equivalente a 38,40 mm. Os corpos de prova podem ser vistos na figura 24.

Figura 24 – Tarugos utilizados como corpo de prova.



Fonte: Autoria Própria.

3.3 FERRAMENTAS

As ferramentas a serem utilizadas são: um bit de aço rápido e seção quadrada de 3/8 polegadas com 50% de Cobalto e uma pastilha de metal duro formato T com código TNMG16, visto que sua forma triangular é facilmente replicável ao bit.

A pastilha possui aresta de corte com 16 mm de comprimento, e segundo o fabricante possui raio de ponta de 0,4 mm e ângulo de ponta de 60°.

O bit foi afiado utilizando um esmeril até obter o formato e raio de ponta próximo ao da pastilha. Para validar as medidas da afiação do bit foi utilizado o projetor de perfil PJ A3000 da marca Mitutoyo e as medidas obtidas foram de 57,248° de ângulo de ponta e 0,427 mm de raio de ponta, outras modificações não serão feitas durante o trabalho e os ângulos de saída e inclinação serão desprezados devido à dificuldade de replica-los.

O projetor de perfil PJ A3000 pode ser visto na figura 25.

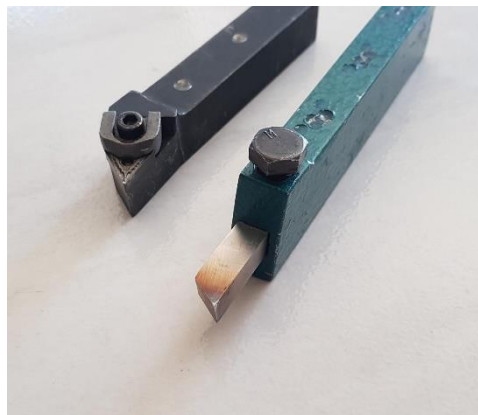
Figura 25 – Medição das dimensões do bit após afiação



Fonte: Autoria Própria.

Ambas as ferramentas prontas para o torneamento podem ser vistas na figura 26, sendo a pastilha fixada no porta pastilha ao lado esquerdo e o bit fixado no porta bit ao lado direito.

Figura 26 – Ferramentas prontas para usinar



Fonte: Autoria Própria.

3.4 TORNEAMENTO

A usinagem foi realizada em um torno convencional do fabricante Nardini, modelo Mascote MS 205 conforme a figura 27.

Figura 27 – Torno convencional



Fonte: Autoria Própria.

Utilizando broca de centro foi feito furo de centro em ambos os lados dos tarugos. Esse procedimento foi realizado para apoiar a peça no contraponto do torno, assim, reduzindo a vibração e evitando a deflexão da peça, reduzindo as ondulações no acabamento superficial.

As rotações selecionadas no torno foram 100, 200, 400, 500, 800, 1000, 1600 e 2500 rpm, sem trocar a ferramenta de corte, inicialmente se utiliza a pastilha, e depois troca-se pelo bit. Essas rotações foram definidas utilizando a menor e a maior configuração encontrada no torno, e com um intervalo próximo entre uma e outra.

Visando um melhor acabamento, o avanço foi o menor possível encontrado na configuração das alavancas do torno, no valor de 0,053 mm/volta.

A profundidade de corte entre as passadas foi de 0,1 mm no raio, ou seja, a redução de 0,2 mm no diâmetro, pois esse valor está dentro do intervalo recomendado pelo fabricante da pastilha.

3.5 RUGOSÍMETRO

Para aferição dos parâmetros de amplitude superficiais da peça, foi utilizado um rugosímetro portátil da marca Mitutoyo, modelo SJ 410 conforme a figura 28.

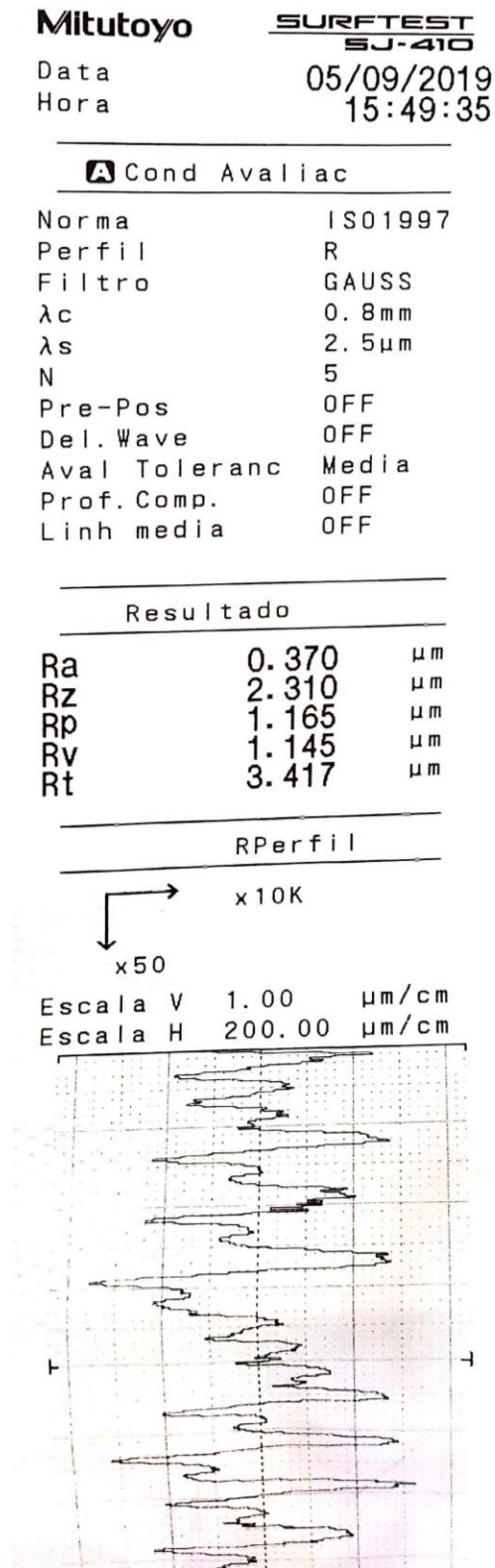
Figura 28 – Rugosímetro portátil



Fonte: Autoria Própria.

O rugosímetro permite a impressão da amostra realizada, um exemplo é o resultado impresso do perfil da peça quando foi utilizado a rotação de 1600 rpm utilizando a pastilha, conforme a figura 29.

Figura 29 – Impressão da amostra utilizando a pastilha na rotação de 1600 rpm



Fonte: Autoria Própria.

No papel da impressão era possível ver na parte superior a marca e o modelo do rugosímetro a data e a hora da realização da amostra. Em seguida observa-se as condições nas quais foram feitas a leitura do perfil, é indicado qual norma é determinada, o tipo de perfil que será medido (influencia no movimento do sensor), o tipo de filtro para redução de ruídos, o comprimento da amostragem, o cutoff do maior desvio, entre outras informações.

Logo após as informações, aparecem os parâmetros de amplitude que o rugosímetro consegue captar são:

- Ra: Valor médio de todos os desvios do perfil.
- Rz: Valor médio da altura máxima em 5 intervalos ao longo do comprimento.
- Rp: Altura máxima do pico do perfil.
- Rv: Profundidade máxima do vale do perfil.
- Rt: Altura total do perfil.

Então é possível ver os desvios através de uma parte gráfica com escalas verticais e horizontais determinadas.

O comprimento de amostragem foi de 8 mm com velocidade de 0,5 mm/s, valor estabelecido pela norma ISO 1997, já padrão do aparelho de medição de rugosidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos torneamentos serão apresentados e analisados nos tópicos a seguir.

4.1 ANÁLISE DAS FERRAMENTAS

A comparação entre a pastilha e o bit foi feita de maneira visual uma análise dos desgastes depois do processo de torneamento. Devido ao material a ser usinado possuir boa ductilidade, os desgastes decorrentes naturalmente, como o do tipo desgaste de flanco, não foram notados.

Na pastilha houve o desgaste por cratera devido as condições de corte com altas rotações impostas, o cavaco se deslocava em altas temperaturas sobre a superfície de saída da pastilha, então ocorria a difusão do cavaco com o material da ferramenta, porém esse desgaste não influenciou significativamente o acabamento da peça, o fato do pequeno desgaste não influenciar no acabamento da peça está de acordo com o encontrado por DAROIT (2009). O desgaste de cratera da pastilha conforme a figura 30.

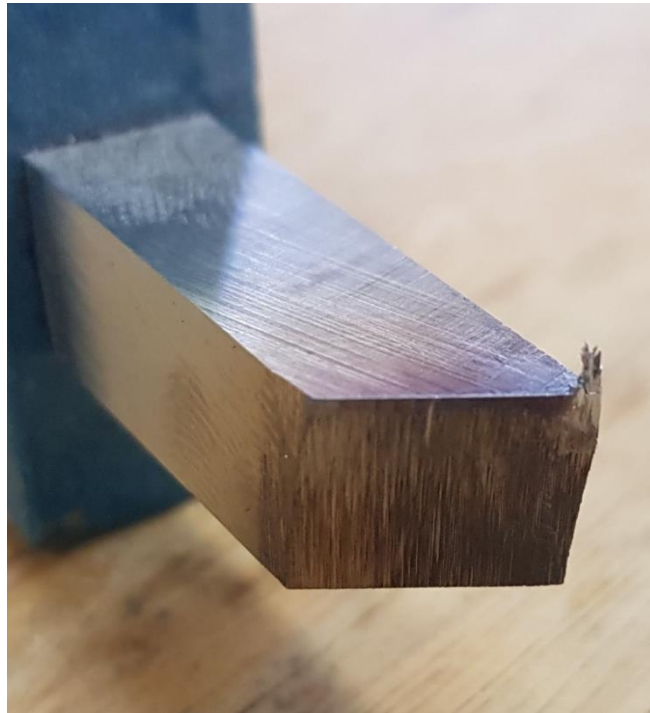
Figura 30 – Desgaste por cratera encontrado na pastilha.



Fonte: Autoria Própria.

No bit, quando foi imposta alta rotação, entre 1600 e 2500 rpm, houve a formação de APC (Aresta Postiça de Corte), ou seja, ocorreu adesão entre o material do cavaco encruado e a superfície de saída do bit. De acordo com SCHUITEK (1997) esse mecanismo de desgaste é comum em material dúctil, como ligas de alumínio, a camada de deposição do material cresce e depois se desprende, esse mecanismo não ocorreu no inserto pelo fato do mesmo possuir quebra cavaco. Porém essa forma de desgaste influenciou de maneira significativa a rugosidade superficial. A formação de APC pode ser vista conforme a figura 31.

Figura 31 – Aresta postiça de corte encontrado no bit.



Fonte: Autoria Própria.

Outra forma de desgaste que ocorreu foi o desgaste de flanco, que é natural da operação de corte e não influenciou na qualidade da operação.

Por fim, notou-se que os desgastes ocorridos nas ferramentas influenciaram na rugosidade superficial da peça, mais especificamente no parâmetro de rugosidade média (Ra) que engloba os valores de desvios médios do perfil. A influência se deu principalmente quando ocorre aresta postiça de corte no bit.

4.2 ANÁLISE DO CAVACO

É importante estudar a formação do cavaco, pois quando muito longo pode colocar em risco o operador provocando ferimentos, além também de afetar a produtividade, por vezes é necessário parar o processo para retirar o cavaco quando emaranhado nos componentes do torno ou até mesmo na peça e na ferramenta. Por outro lado, quando totalmente descontínuo, pode também provocar acidentes atingindo regiões desprotegidas do operador.

Quando a pastilha foi utilizada, em todas as faixas de rotação o cavaco foi contínuo, longo e de formato helicoidal, mesmo que a pastilha possuía quebra cavaco, era previsto que seria dessa forma devido ao material da peça, que é o maior influenciador na forma do cavaco. A forma do cavaco durante o torneamento com a pastilha pode ser visto conforme a figura 32.

Figura 32 – Forma do cavaco no torneamento com pastilha.



Fonte: Autoria Própria.

Quando o bit foi utilizado, nas primeiras faixas de rotação, até próximo de 1000 rpm, o cavaco foi contínuo, longo e menos helicoidal se comparado a pastilha.

Pelo fato de que o bit não foi construído para possuir quebra cavacos, era esperado que o cavaco fosse longo. A forma do cavaco é vista conforme a figura 33.

Figura 33 – Forma do cavaco no torneamento com bit.



Fonte: Autoria Própria.

Quando o bit foi utilizado em rotações acima de 1000 rpm, devido as altas temperaturas produzidas pelo atrito entre a peça e a ferramenta nas rotações elevadas, somados com os parâmetros de cortes impostos, houve a deformação do cavaco sem se desprender totalmente da peça, esse fato pode ser visto conforme a figura 34.

Figura 34 – Deformação do cavaco em altas rotações na usinagem com bit.



Fonte: Autoria Própria.

Essa condição não foi prevista, e afetou de maneira significativa a qualidade do acabamento da peça, pois produziu rugosidades com maiores desvios.

4.3 ANÁLISE DA RUGOSIDADE

Os resultados dos parâmetros de rugosidade, de acordo com a rotação, utilizando o inserto como ferramenta de corte podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros da rugosidade utilizando inserto.

Inserto								
Rotação	Diâmetro Inicial (mm)	Diâmetro Final (mm)	Profundidade de Corte	Ra (μm)	Rz (μm)	Rp (μm)	Rv (μm)	Rt (μm)
100	38,40	38,20	0,10	0,813	5,116	2,651	2,465	6,350
200	38,20	37,90	0,15	0,618	3,666	1,883	1,783	4,096
400	37,90	37,70	0,10	0,559	3,954	2,155	1,799	4,895
500	37,70	37,50	0,10	0,540	3,722	1,866	1,857	4,449
800	37,50	37,20	0,15	-	-	-	-	-
800	37,20	37,00	0,10	0,468	2,727	1,312	1,415	3,292
1000	37,00	36,80	0,10	0,444	2,766	1,320	1,446	3,832
1600	36,80	36,60	0,10	0,370	2,310	1,165	1,145	3,417
2500	36,60	36,40	0,10	0,336	2,213	1,277	0,936	3,451

Fonte: Autoria Própria.

É possível observar através da tabela, que a medida que a rotação vai aumentando, os parâmetros de rugosidades tendem a diminuir os seus valores. A rugosidade média (Ra) diminui gradativamente, enquanto a altura máxima do perfil (Rz), a altura máxima do pico do perfil (Rp), a profundidade máxima do vale do perfil (Rv) e consequentemente a altura total do perfil (Rt) oscilam conforme as rotações, porém vão diminuindo conforme vai aumentando a rotação.

Na faixa de rotação de 200 rpm, a profundidade de corte foi maior que a esperada, devido a erro de operação da manivela do torno, porém isso não afetou os resultados, pois ocorreu conforme o esperado.

Nota-se também que na rotação de 800 rpm na primeira tentativa não houve resultados, devido ao emaranhamento do cavaco na peça durante a usinagem que prejudicou a qualidade superficial, então nessa faixa de rotação houve a necessidade de uma segunda tentativa e assim retirar as marcas do cavaco deixado na peça e uma aferição de rugosidade mais precisa.

Os resultados dos parâmetros de rugosidade, de acordo com a rotação, utilizando o bit como ferramenta de corte podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros da rugosidade utilizando bit.

Bits								
Rotação	Diâmetro Inicial (mm)	Diâmetro Final (mm)	Profundidade de Corte	Ra (μm)	Rz (μm)	Rp (μm)	Rv (μm)	Rt (μm)
100	38,40	38,20	0,10	1,435	8,461	4,608	3,852	13,228
200	38,20	37,90	0,15	1,260	7,795	4,017	3,777	12,278
400	37,90	37,70	0,10	0,739	4,062	1,968	2,094	5,548
500	37,70	37,40	0,15	0,710	3,986	2,049	1,937	5,759
800	37,40	37,20	0,10	-	-	-	-	-
800	37,20	37,00	0,10	0,669	3,589	2,268	1,320	5,656
1000	37,00	36,80	0,10	-	-	-	-	-
1000	36,80	36,60	0,10	0,552	3,344	2,127	1,216	5,826
1600	36,60	36,40	0,10	1,245	7,005	3,280	3,725	8,071
2500	36,40	36,20	0,10	-	-	-	-	-
2500	36,20	36,00	0,10	1,607	8,983	3,452	5,532	9,999

Fonte: Autoria Própria.

Na rotação de 800 rpm na primeira tentativa não houve resultados devido novamente ao emaranhamento do cavaco na peça durante a usinagem então houve a necessidade de uma segunda passada e assim retirar as marcas do cavaco deixado na peça.

É possível observar através da tabela 3, que a medida que a rotação vai aumentando até 1000 rpm, os parâmetros de rugosidades tendem a diminuir os seus valores, porém acima dessa rotação os resultados não são satisfatórios. Nessa faixa de rotação, de 100 a 1000 rpm, a rugosidade média (Ra), a altura máxima do perfil (Rz) e a profundidade máxima do vale do perfil (Rv) diminui gradativamente, enquanto a altura máxima do pico do perfil (Rp) e conseqüentemente a altura total do perfil (Rt) oscilam conforme as rotações, porém vão diminuindo conforme vai aumentando a rotação até a faixa de 1000 rpm, fato que era esperado.

Porém o que não era esperado é que próximo de 1600 rpm a qualidade do acabamento seria prejudicado, pois esperava-se que quanto maior a rotação, menor seria os desvios superficiais. Essa redução do acabamento superficial e aumento expressivo

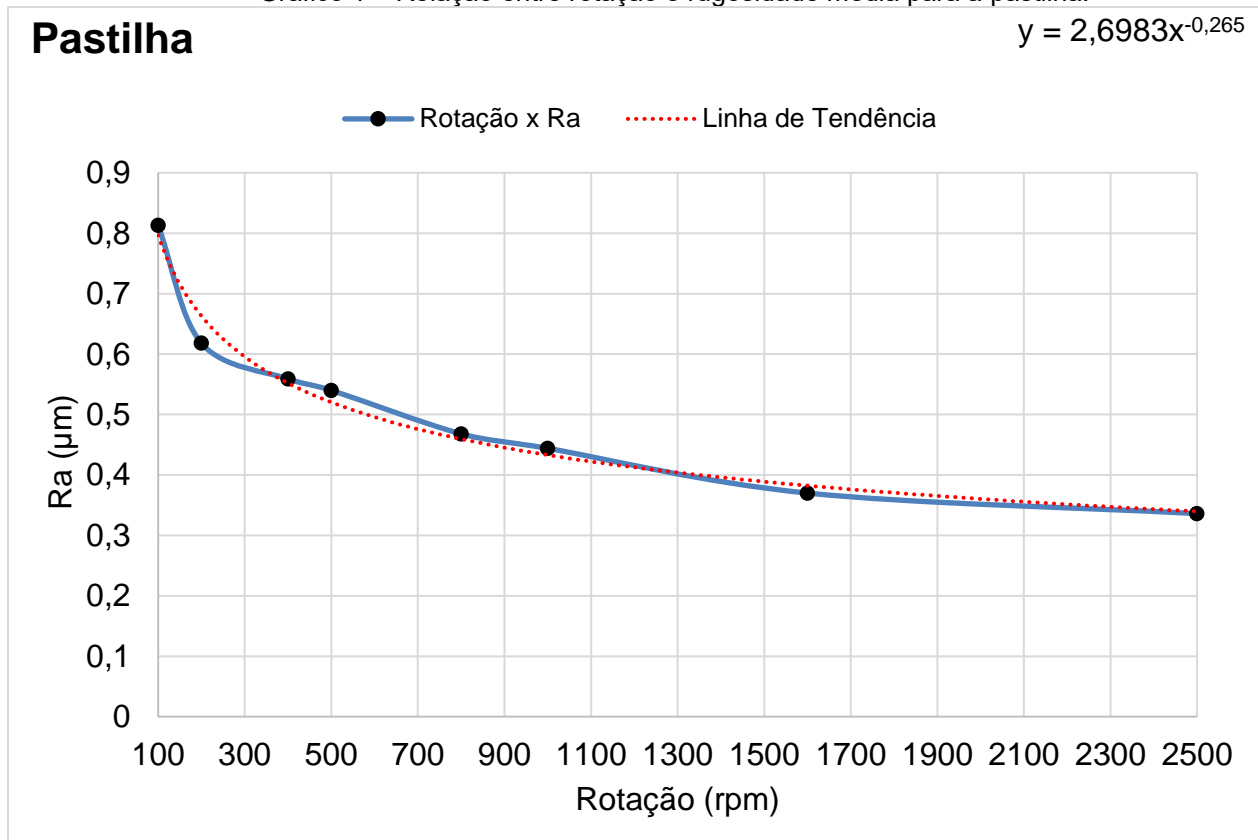
dos parâmetros de rugosidade se deu por conta do aparecimento de aresta postiça de corte na região de corte do bit.

4.4 RELAÇÃO ENTRE ROTAÇÃO E RUGOSIDADE MÉDIA

O parâmetro utilizado para a comparação entre as rugosidades do bit e da pastilha será o de rugosidade média (Ra), pois é o parâmetro mais utilizado e aplicável à maioria dos processos de fabricação, principalmente em linhas de produção nos casos onde os sulcos possuem a mesma orientação (torneamento, fresamento, entre outros) e devido a facilidade de obtenção a maioria dos equipamentos destinados a esse fim possuem esse parâmetro. Então, por tais motivos foi feito um gráfico onde pode ser visto a relação entre a rotação e a rugosidade média equivalente para a pastilha e o bit.

A relação entre a rotação e a rugosidade média para a pastilha pode ser vista no gráfico 1.

Gráfico 1 – Relação entre rotação e rugosidade média para a pastilha.



Fonte: Autoria Própria.

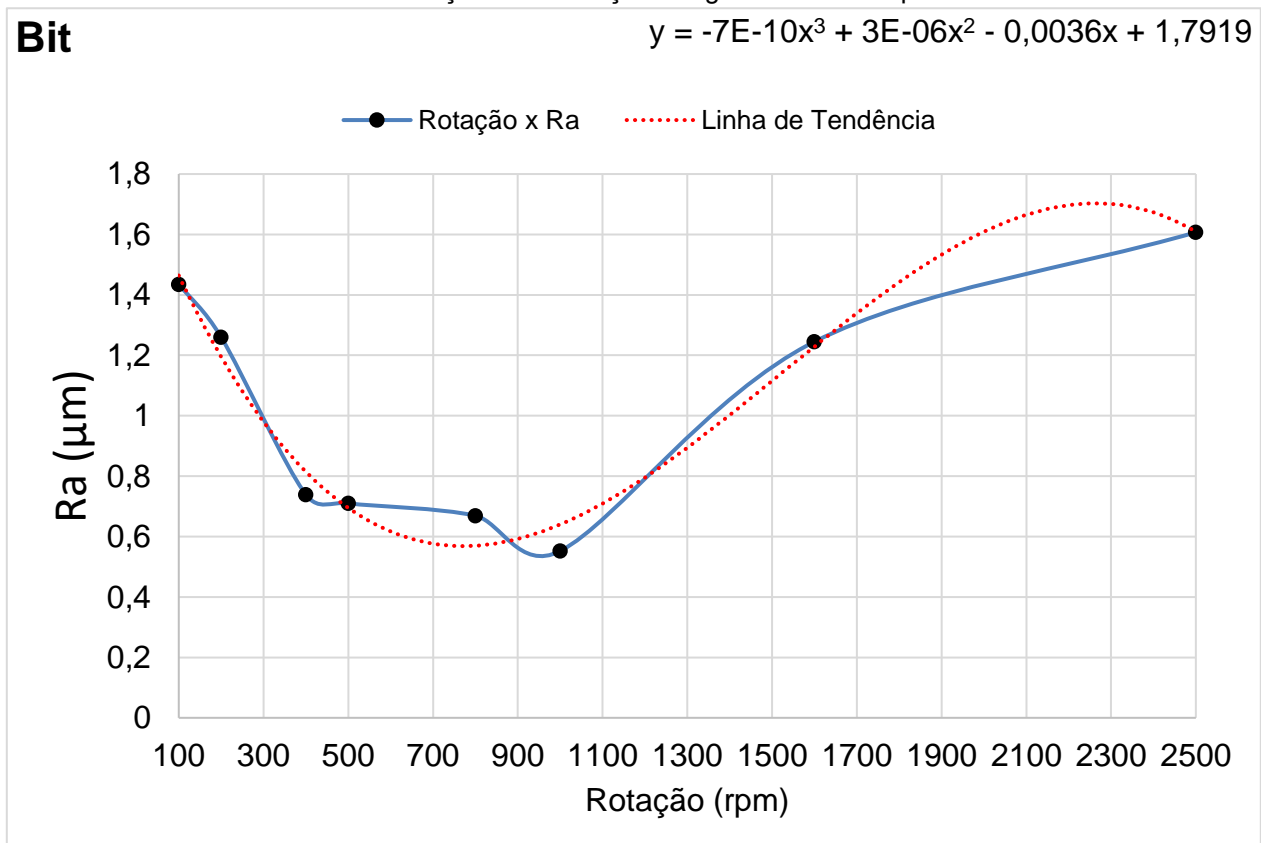
É possível retirar dos dados inseridos no gráfico uma linha de tendência que se aproxima da maioria dos pontos. E verificou-se que a equação da linha de tendência que mais se aproxima da curva gerada é uma equação exponencial. Considerando y como sendo a rugosidade média e x como sendo a rotação, a equação encontrada foi:

$$y = 2,6983x^{-0,265} \quad [9]$$

E com essa equação é possível calcular aproximadamente os valores de rugosidade média em faixas de rotação que não foram utilizadas no trabalho ou então faixas acima da rotação limitada pelo torno convencional utilizado.

A relação entre a rotação e a rugosidade média para o bit pode ser vista no gráfico 2.

Gráfico 2 – Relação entre rotação e rugosidade média para o bit.



Fonte: Autoria Própria.

Para o torneamento com o bit verificou-se que a equação da linha de tendência que mais se aproxima da curva gerada é uma equação polinomial de terceira ordem. Considerando y como sendo a rugosidade média e x como sendo a rotação, a equação encontrada foi:

$$y = -7.10^{-10}x^3 + 310^{-6}x^2 - 0,0036x + 1,7919 \quad [10]$$

Porém com a equação da linha de tendência gerada pelos dados referente ao torneamento utilizando o bit não se pode tirar resultados corretos, pois durante o processo houveram desgastes que eram inesperados e afetaram a rugosidade de forma considerável quando se utilizou a mesma ferramenta sem afiação durante o processo.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DAS FERRAMENTAS

Para validar a comparação entre as duas ferramentas de corte é necessário levar em consideração o custo de cada uma delas. Em média um kit com 6 pastilhas idênticas as que foram utilizadas neste trabalho custa em torno de R\$ 150,00, ou seja, possui um valor unitário de R\$ 25,00. E o kit com 5 bits com as mesmas características do bit utilizado custa em média R\$ 70,00, ou seja, cada bit sai por R\$ 14,00. O porta pastilha possui valor de R\$ 170,00 em média e o porta bit custa em torno de R\$ 30,00 nas lojas de ferramentas.

É visto então que o bit possui um valor mais acessível se comparado a pastilha, porém a pastilha consegue torneiar maiores comprimentos sem precisa trocar o lado de corte, enquanto o bit deve ser afiado com maior frequência, aumentando assim o tempo e o conseqüentemente o custo de produção.

Por outro lado, o bit pode ser afiado diversas vezes, enquanto a pastilha utilizada possui 6 lados de corte (3 em cada face) então é possível afirmar que o bit possui maior durabilidade e se utilizado na produção de grandes quantidades acaba sendo mais viável economicamente, porém seu empecilho é o tempo que se leva para afiar e fabricar na geometria desejada.

5 CONCLUSÃO

Verificou-se que a qualidade do acabamento superficial das peças quando torneadas por bit é bem próximo dos resultados alcançados quando utilizado pastilha como ferramenta de corte, por exemplo, para a rotação de 1000 rpm, encontrou-se como valor de Ra de 0,444 μm para a pastilha e 0,552 μm para o bit, porém ainda assim a pastilha no geral consegue menores desvios do perfil na superfície, levando em conta a maioria dos parâmetros mais utilizados na medição da rugosidade.

Com o aumento da rotação era esperado que os parâmetros de rugosidade reduzissem os seus valores de uma forma geral, de fato isso ocorreu quando se utilizou a pastilha, porém quando foi usado o bit como ferramenta de corte houve uma forma de desgaste de flanco que é natural do processo e o aparecimento de aresta postiça de corte que aumentou de forma significativa os desvios do perfil afetando a qualidade do acabamento e aumentando os parâmetros de rugosidade, como foi visto nas tabelas.

De acordo com os gráficos notou-se a previsão dos resultados de rugosidade média em relação a rotação imposta para as duas ferramentas. Com o uso da pastilha obteve-se uma previsão do valor da rugosidade média em diferentes rotações, inclusive em rotações superiores a limitada no torno convencional utilizado nesse trabalho. Para o bit não foi possível uma previsão exata devido aos dados não serem como o esperado.

Em relação aos custos de produção utilizando as ferramentas, pode-se afirmar que a viabilidade varia conforme a quantidade de peças a serem produzidas, em baixa escala ou que necessitam um acabamento melhor a pastilha é mais recomendada, e para alta escala de peças em série o bit torna-se vantajoso devido a sua durabilidade, porém por outro lado, o acabamento não será tão bom quanto o conseguido pela pastilha, nesse caso reduz-se o custo de produção porém perde-se em qualidade do acabamento superficial.

Conclui-se então que para faixas de baixa e média rotação o uso da pastilha e do bit são consideráveis, dando prioridade ao bit pelas propriedades já ditas anteriores e possibilidade de reafiação além de ser moldado na forma necessária. Para altas rotações a prioridade é para o uso da pastilha devido aos resultados obtidos visando a qualidade do acabamento e conseqüentemente a vida útil da ferramenta.

REFERÊNCIAS

ABAL, Associação Brasileira do Alumínio, 2017. **Características Químicas e Físicas**. Disponível em: < <http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR ISO 3685. **Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento**. Rio de Janeiro, 1993.

AMORIM, Heraldo J. de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BARBOSA, João P. **Materiais para Ferramenta de Corte**. Disponível em: < <ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/joaopaulo/PRONATEC/PROCESSOS%20DE%20USINAGEM/MATERIAL%20DE%20FERRAMENTA.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill Editora, 1986.

DAROIT, Carlos. **Análise da influência de parâmetros de processo no desgaste de insertos de corte utilizador para o descascamento de barras laminadas**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo: MM Editora, 1999.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 1. ed. São Carlos: Editora Edgard Blucher LTDA, 1969.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of modern manufacturing**: Materials, processes, and systems. New Jersey: John Wiley & Sons, 2014.

JUNEJA, B. L.; SEKHON G. S.; SETH, N. **Fundamentals of metal cutting and machine tools**. 2. ed. New Delhi: John Wiley & Sons, 1987.

MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. da. **Usinagem dos metais**. 8. ed. Uberlândia, 2004.

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

RODRIGUES; MOREIRA, F.; SANTANA, S. **Otimização nos Processos de Usinagem**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/26353203-Otimizacao-nos-processos-de-usinagem.html>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

SCHUITEK, ALOISIO JOSÉ. **Usinabilidade de ligas de alumínio tratáveis termicamente**. 1997. 165 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.