

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

ANDERSON PATRICIO

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE GUME POR ARRASTE EM UMA FRESA DE
TOPO DE METAL DURO**

CAXIAS DO SUL

2021

ANDERSON PATRICIO

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE GUME POR ARRASTE EM UMA FRESA DE
TOPO DE METAL DURO**

Trabalho de conclusão de curso da disciplina
TCC II (MEC0291AJ), apresentado à
Universidade de Caxias do Sul como requisito
parcial à obtenção de grau de bacharel em
Engenharia Mecânica.

Área de atuação: Usinagem

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo P. Zeilmann.

CAXIAS DO SUL

2021

ANDERSON PATRICIO

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE GUME POR ARRASTE EM UMA FRESA DE
TOPO DE METAL DURO**

Trabalho de conclusão de curso da disciplina
TCC II (MEC0291AJ), apresentado à
Universidade de Caxias do Sul como requisito
parcial à obtenção de grau de bacharel em
Engenharia Mecânica.
Área de atuação: Usinagem

Aprovado em:13/07/2021

Banca Examinadora

Prof. Orientador Dr. Engº. Rodrigo Panosso Zeilmann
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Avaliador Dr. Engº. Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Avaliador Me. Engº. Rafael Dallegrave Conrado
Universidade de Caxias do Sul – UCS

RESUMO

Este trabalho teve como análise a influência do tratamento do gume através do método de acabamento por arraste sobre o desgaste da ferramenta e o acabamento superficial. A microgeometria do gume é um fator que tem influência no desgaste da ferramenta e age diretamente na qualidade superficial da peça usinada. É possível obter ganhos de vida útil para as ferramentas e também uma confiabilidade no processo para ferramentas tratadas por este método. O trabalho apresentou uma proposta para compreender o comportamento da mídia abrasiva alternativa alterando a faixa de granulometria da casca de amendoim. As ferramentas tratadas foram comparadas com trabalhos anteriores a este, tendo como referência uma fresa padrão reafiada e sem tratamento. As ferramentas foram avaliadas em relação a curva de comportamento de desgaste demonstrando perda de desempenho. Para a qualidade superficial da peça usinada, foram realizadas medições de rugosidade e imagens de textura, executadas após os ensaios. As duas fresas tiveram comprimento usinado de 30 m gerando uma perda de 21% em relação a fresa de referência. A principal vantagem ficou por conta de valores baixos e estáveis para a rugosidade. A mídia de menor granulometria apresentou melhores valores de rugosidade em relação a mídia de maior granulometria.

Palavras-chave: Acabamento por arraste, Fresamento, Mídia abrasiva, Tratamento de gume.

ABSTRACT

This work analyzed the influence of cutting edge treatment through the drag finishing method on tool wear and surface finish. Edge microgeometry is a factor that influences tool wear and acts directly on the surface quality of the machined part. It is possible to obtain tool life gains as well as process reliability for tools handled by this method. The work presented a proposal to understand the alternative abrasive media behavior by changing the peanut shell particle size range. The treated tools were compared with works prior to this one, having as reference a re-sharpened and untreated standard cutter. The tools were evaluated in relation to the wear behavior curve demonstrating loss of performance. For the surface quality of the machined part, roughness measurements and texture images were performed after the tests. The two cutters had a machined length of 30 m, generating a loss of 21% compared to the reference cutter. The main advantage was the low and stable roughness values. The media with a smaller grain size showed better roughness values compared to the media with a larger grain size.

Keywords: Drag finishing, Abrasive Medias, Milling, Cutting edge preparation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de fresamento.....	15
Figura 2 - Curva comportamento do desgaste	16
Figura 3 - Representação desgaste do flanco.....	18
Figura 4 - Principais mecanismos e causas geradoras de desgaste.....	18
Figura 5 - Perfil de rugosidade	21
Figura 6 - Processos tratamento do gume.....	22
Figura 7 - Cinemática do processo de acabamento por arraste	23
Figura 8 - Fluxograma etapas experimentais.....	26
Figura 9 - Fresas de metal duro	28
Figura 10 - Média alternativa de 0,6 mm	31
Figura 11 - Média alternativa de 1,2 à 1,7 mm	31
Figura 12 - Comparação da fresa A6 com e sem tratamento	32
Figura 13 - Comparação da fresa A8 com e sem tratamento	32
Figura 14 - Valores de rugosidade para o início e fim de vida da ferramenta.....	33
Figura 15 - Textura e perfil de rugosidade da fresa A6.....	34
Figura 16 - Textura e perfil de rugosidade da fresa A8.....	35
Figura 17 - Curvas de comportamento de desgaste.....	36
Figura 18 - Comparativo de comprimento usinado	36
Figura 19 - Mecanismo de abrasão.....	37
Figura 20 - Identificação dos principais mecanismos de desgaste	38

LISTA DE QUADRO E TABELA

Quadro 1 - Desvio de forma em superfícies	20
Tabela 1 - Ferramentas utilizadas no ensaio.....	31
Tabela 2 - Batimento das ferramentas	33

LISTA DE SÍMBOLOS

VB	desgaste de flanco [mm]
VB _{max}	desgaste de flanco máximo [mm]
R _a	desvio médio aritmético de rugosidade [μm]
L _m	comprimento total de medição [mm]
R _z	média aritmética das rugosidades singulares [μm]
Z _i	rugosidade parcial [μm]
R _y	profundidade máxima individual de rugosidade [μm]
R _{max}	profundidade máxima individual de rugosidade [μm]
l _e	comprimento de medição unitário [mm]
a _e	profundidade de corte radial [mm]
a _p	profundidade de corte axial [mm]
f _z	avanço por gume [mm/gume]
vc	velocidade de corte [m/min]

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CA	Casca de amendoim
DIN	<i>Deutches Institut für Normung</i>
UCS	Universidade de Caxias do Sul
HRC	<i>Hardness Rockwell C</i>
LNTP	Laboratório de Novas Tecnologias de Produção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	12
1.3	OBJETIVO	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	FRESAMENTO	14
2.1.1	Tipos de fresamento	14
2.1.2	Vida da ferramenta	16
2.1.2.1	Mecanismos e tipos de desgaste	17
2.1.3	Qualidade superficial	19
2.1.3.1	Textura.....	20
2.1.3.2	Rugosidade	21
2.2	TRATAMENTO DO GUME.....	21
2.2.1	Acabamento por arraste	23
2.2.2	Mídias abrasivas para acabamento por arraste	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	25
3.2	TRATAMENTO DAS FERRAMENTAS	27
3.2.1	Parâmetros de entrada.....	27
3.2.2	Variáveis de entrada	27
3.2.3	Variáveis de saída.....	28
3.2.4	Ferramentas	28
3.2.5	Equipamentos	29
3.2.6	Corpo de prova	29
4	RESULTADOS.....	30
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MÍDIAS	30
4.2	TRATAMENTO POR ARRASTE	31

4.2.1	Caracterização das ferramentas	32
4.3	RUGOSIDADE E TEXTURA DA PEÇA USINADA.....	33
4.4	VIDA DA FERRAMENTA	35
4.4.1	Curva de fim de vida	35
4.4.2	Mecanismos de desgaste.....	37
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de otimização, redução de custos e maior produtividade leva a uma busca por melhorias nos processos de fabricação. Na usinagem não seria diferente, as condições exigidas às ferramentas nesse processo passam a ser cada vez mais severas reduzindo assim a sua vida útil. No entanto existem tratamentos que melhoram o gume como o acabamento por arraste.

Algumas ferramentas apresentam defeito na região do gume como rebarbas, microtrincas e irregularidades. O processo de tratamento de gume surge para resolver esses problemas e gerar avanços na microtopografia do mesmo e ainda melhorar o comportamento da ferramenta com relação ao contato com a superfície a ser cortada (RODRIGUEZ, 2009).

As ferramentas de metal duro vêm se destacando cada vez mais no mercado devido sua dureza e resistências elevadas. Predominou nos últimos dez anos devido à evolução de suas classes que podem suportar o calor e a abrasão do corte a altas temperaturas e a usinagem de metais difíceis (PEÇANHA JÚNIOR, 2014).

No mercado encontram-se diversos métodos para melhorar o gume da ferramenta, como por exemplo, jateamento de micro abrasivos a água, jateamento de micro abrasivos, acabamento magnético, usinagem a fluido abrasivo, usinagem a plasma e entre outros. Porém, considerando todas as variáveis da usinagem, muito deles precisam ser testados, comparados, avaliados e desenvolvidos. Outro desses métodos é o acabamento por arraste, no qual a ferramenta é inserida em um meio com mídias abrasivas, enquanto executa movimentos circulares. Essas mídias possuem um custo elevado, por se tratarem de produtos importados, o que inviabiliza a sua utilização, porém ela pode ser desenvolvida com matérias de fácil obtenção.

No entanto, existe pouco conteúdo a cerca de mídias abrasivas, dificultando a obtenção de informações sobre sua composição e propriedades. Com base nisso esse trabalho tem como finalidade aprofundar na área de tratamento do gume e apresentar uma melhoria nas mídias abrasivas, meio abrasivo utilizado no tratamento por arraste gerando atrito entre ele e a ferramenta, resultando em uma superfície altamente polida.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo a empresa alemã OTEC (2018) ao ser utilizado técnicas para o tratamento do gume de ferramentas de corte, é possível obter melhoras nas seguintes características:

redução do desgaste, uniformidade de rugosidade, precisão, redução de vazamento em superfícies de vedação, superfícies suaves e livres de riscos e aumento na velocidade máxima de corte.

Tratamentos do gume já vêm sendo desenvolvidos com muita frequência em várias partes do mundo com objetivo de obter ferramentas com desempenho consideravelmente superior. Isso resulta em ganho de tempo no processo, por causa do aumento da velocidade de corte, aumento da vida útil da ferramenta, o que reduz o número de parada para troca de ferramentas, redução de custos e melhor rugosidade, gerando assim uma qualidade elevada em relação à superfície das peças usinadas.

Já no Brasil o tratamento de gume não se faz presente de forma ampla, pelo fato dos custos serem elevados, as informações serem escassas e o tema ser pouco difundido. No caso do tratamento por arraste, as dificuldades se sobressaem com o fato das mídias abrasivas utilizadas serem importadas, o que faz o material ser de difícil obtenção e custo elevado.

Esse estudo tem como foco a obtenção de uma mídia alternativa para ferramentas de fresamento de topo reto, reduzindo o seu custo de fabricação e possibilitando ferramentas mais competitivas e de alto desempenho. Tendo como base alguns trabalhos acadêmicos relacionados a esse assunto como Girardelo (2019) e Carrer (2018).

Utilizando de testes relacionados a este assunto, realizados em teses na universidade. O objetivo deste trabalho é de melhorar a mídia alternativa desenvolvida no estudo por Carrer (2018) e que foi aprimorada por Girardelo (2019), fazendo ajustes no granulado, elemento da formulação da mídia abrasiva.

1.2 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho será desenvolvido em ambiente acadêmico, precisamente na Universidade de Caxias do Sul. A UCS é a instituição de ensino superior privada mais antiga da região, fundada em 1967. Para realização do trabalho, será utilizado o Laboratório de Novas Tecnologias de Produção (LNTP) da universidade, que conta com um centro de usinagem de precisão, máquina de medição tridimensional e instrumentos de medição em geral.

Neste ambiente serão realizados os estudos para formulação de mídias alternativas para ser utilizada no acabamento por arraste, testes das ferramentas, medições de rugosidade superficial e medições de desgaste nas fresas utilizadas nos ensaios.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do tratamento de gume pelo método de acabamento por arraste em uma fresa de topo de metal duro através da obtenção de uma mídia alternativa para o processo de acabamento por arraste.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos, a fim de se atingir o objetivo geral, foram definidos como:

- a) estudar e compreender os métodos de tratamento do gume por arraste e suas mídias;
- b) apresentar uma proposta de compreensão da faixa de granulometria;
- c) comparar resultados de tratamento utilizando a mídia alternativa com dados anteriores; e
- d) avaliar a vida útil da ferramenta e a qualidade superficial da peça.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos para dar suporte aos objetivos propostos neste trabalho de conclusão de curso. É apresentada a conceituação de termos pertinentes ao processo de fresamento e acabamento por arraste para caracterizar a melhor mídia abrasiva e conseqüentemente melhor vida útil da ferramenta.

2.1 FRESAMENTO

De acordo com a norma DIN 8580, usinagem é o processo de fabricação que confere à peça forma, dimensões ou acabamento e até mesmo uma combinação desses três, através da remoção de material sob a forma de cavaco, isto é a porção de material removida da peça pela ferramenta de corte.

Processo de fresamento é destinado à obtenção de qualquer superfície com o auxílio de ferramentas multicortantes, para isso, a ferramenta gira e a peça, presa à mesa, é responsável pelos movimentos de avanço longitudinal e transversal, em algumas situações é a ferramenta que faz todos os movimentos (FERRARESI, 1970).

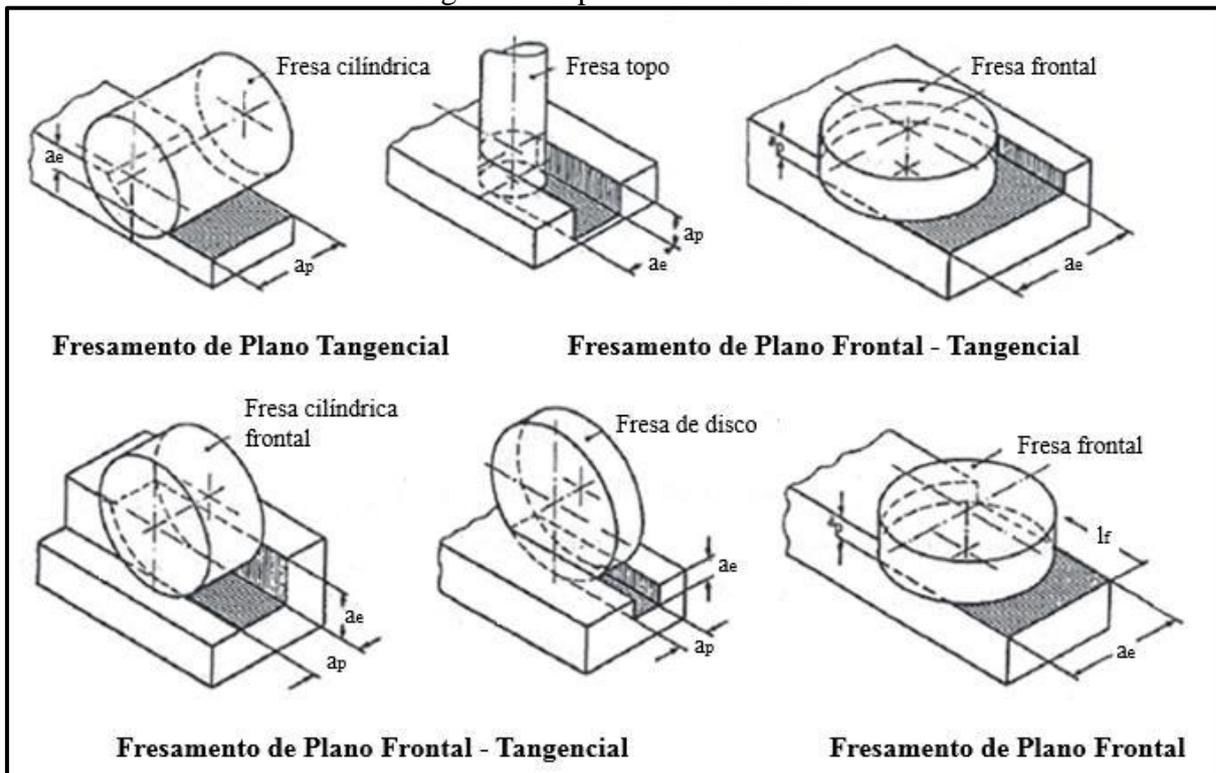
Para MENDES (2011), o fresamento é definido como o corte de materiais com uma ferramenta rotativa e de múltiplas arestas de corte que executa diversos movimentos sobre uma peça em sentidos de direção distintos, tornando esse processo versátil e amplamente difundido. Geralmente o fresamento é utilizado na usinagem de superfícies planas.

Algumas das vantagens do fresamento são as grandes variedades de tipos de superfície produzidas, as altas taxas de remoção do cavaco, por serem relativamente pequenas, a qualidade dos acabamentos superficiais e a disponibilidade de ferramentas que podem ser construídas ou associadas para produzir superfícies complexas. Uma das desvantagens é o fato do corte ser interrompido que faz com que o fresamento produza solicitações térmicas e mecânicas elevadas (ZEILMANN, 2019).

2.1.1 Tipos de fresamento

Os tipos de ferramenta para fresamento variam de acordo com o processo no qual será empregada. Na figura 1 tem o exemplo de fresamento circunferencial, de topo, de disco, frontal de perfil, entre outras denominações (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Figura 1 - Tipos de fresamento



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

O fresamento de topo é bastante utilizado para obtenção de superfícies de formas livres, possuindo assim uma extensa área de aplicação na indústria. Essas fresas normalmente são a parte mais flexível do sistema, por possuírem uma relação comprimento-diâmetro (L/D) elevada (WEINGAERTNER et al., 2004).

As fresas de topo na maioria das vezes são utilizadas para ranhurar, facear, executar cavidades, rebaixos, matrizes, gravações, rasgos de diversos tipos e tamanhos e fresar contornos. Suas características são a excentricidade, a deflexão e vibrações durante a usinagem (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

A excentricidade define-se como sendo a distância entre o centro geométrico da fresa, junto com o menor ângulo positivo formado pela linha que liga os centros e uma linha do centro geométrico a um dente tomado como referência, isso se deve principalmente por erros da montagem da ferramenta. A deflexão se deve em virtude da fresa de topo estar fixa por uma única extremidade e devido a sua característica de falta de rigidez. Já a vibração é causada pelas variações de força devido à mudança de direção e ao corte interrompido, ou seja, frequência da passagem de dentes (ARMAREGO e DESHPANDE, 1991).

As fresas de topo dispõem de gumes tanto na sua periferia quanto na sua face. Podem ser produzidas com topo simples ou duplo, haste e corpo cilíndrico ou cônicos, em diversos

diâmetros e comprimentos, possuem dois, três, quatro, seis ou mais canais, sendo que na maioria estes são helicoidais e retos. O topo pode ser reto, semiesférico ou toroidal. Podem ser inteiriças, com insertos brasados ou ainda com insertos intercambiáveis (STEMMER, 2005).

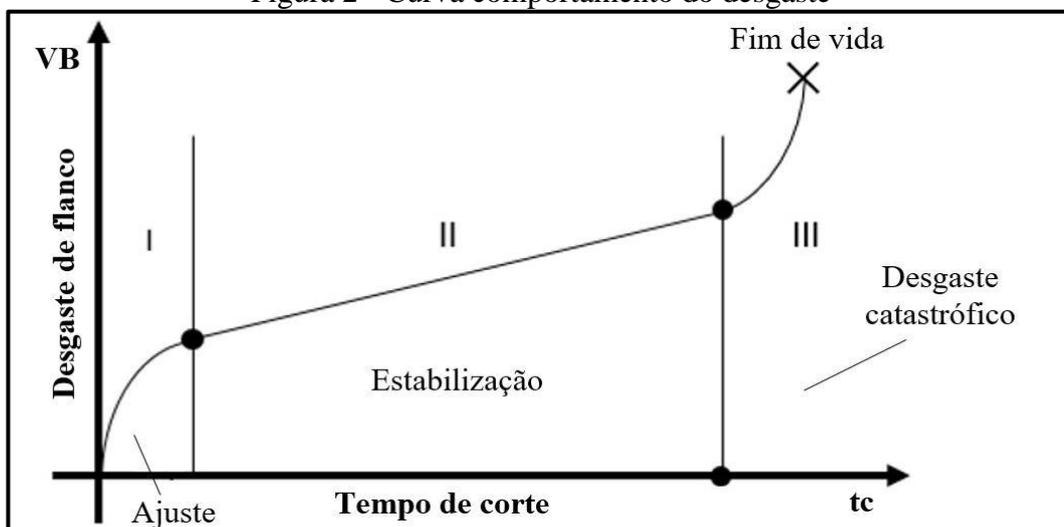
2.1.2 Vida da ferramenta

Vida da ferramenta é o tempo em que ela trabalha efetivamente sem perder a capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. Após esse tempo a ferramenta deve ser substituída ou ser reafiada. Quando esses critérios não são obedecidos às consequências podem ser o aumento excessivo das forças de usinagem, acabamento superficial não adequado e até mesmo colapso da ferramenta, resultando assim a quebra da mesma (FERRARESI, 1970).

Para estabelecer o momento de troca existem as avaliações qualitativas e as avaliações quantitativas. As avaliações qualitativas são vibrações (ruídos), formação de rebarbas, forma dos cavacos e outros (STEMMER, 2005). Já as avaliações quantitativas são estabelecidas pelo grau de desgaste VB e VBmax. Outras formas utilizadas para a troca de ferramenta são o tempo efetivo de trabalho, percurso de corte, número de peças produzidas e rugosidade da peça (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

Segundos estudos de Machado et. al. (2005) sobre desgaste em ferramentas de corte foi desenvolvido um padrão da curva de vida, no qual é possível compreender seu comportamento ao decorrer do tempo de corte, conforme é mostrado na figura 2.

Figura 2 - Curva comportamento do desgaste



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

No estágio I, ocorre um desgaste mais acentuado devido à adequação do sistema tribológico envolvido, como um ajuste do gume para a condição de corte envolvida, até a taxa de desgaste reduzir com o tempo. No estágio II, a ferramenta encontra-se adequada ao processo e os desgastes ocorrem a uma taxa de aumento constante. Já no estágio III, há uma aceleração do desgaste, as tensões e altas temperaturas da utilização de forma contínua da ferramenta resultarão eventualmente no seu colapso (MACHADO et al. 2009).

2.1.2.1 Mecanismos e tipos de desgaste

O desgaste em ferramentas é definido como a alteração de sua forma devido à perda de material do seu gume, ocorre de forma gradativa e em proporções pequenas, às vezes no nível atômico às vezes no nível do tamanho do grão. O desgaste ocorre devido a vários mecanismos, sendo que o principal agente causador é a temperatura de corte (MACHADO et al. 2009).

As características do fresamento intensificam o desgaste da ferramenta, como o corte interrompido, geração de cavacos curtos, oscilações térmicas, oscilações de tensões sobre a cunha e variações de carregamento durante o processo. Essas características acarretam no surgimento de trincas térmicas e trincas por fadiga (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

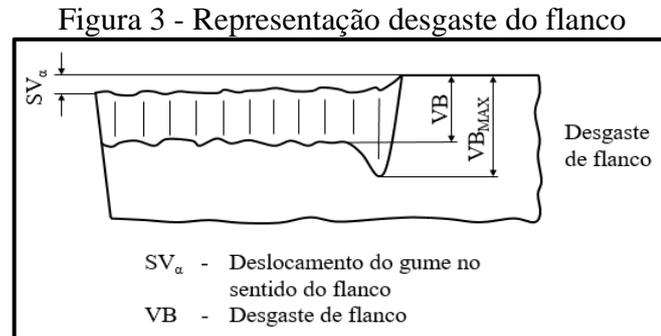
Dentre os principais mecanismos responsáveis pelo desgaste da ferramenta estão a oxidação, a abrasão, a adesão e a difusão (ZEILMANN, 2019).

A abrasão é o arrancamento de finas partículas do material ocasionando assim um desgaste do flanco (VB) e de cratera. Isso ocorre pela decorrência do escorregamento sob alta pressão e temperatura entre a peça e a ferramenta. O aumento da velocidade de desgaste se deve ao aumento da velocidade de corte e a presença de inclusões e partículas duras no material (STEMMER, 2005).

Na difusão devido às altas temperaturas, a duração de contato e a afinidade físico-química dos metais envolvidos no corte provocam a transferência de átomos de um material para o outro, ocasionando um desgaste de cratera no gume da ferramenta (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999; STEMMER, 2005).

Já a oxidação ocorre devido a altas temperaturas e a presença de ar e água, existentes nos fluidos lubrificantes, causam desgastes de flanco máximas (VB_{max}) especialmente nas extremidades do contato cavaco-ferramenta (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

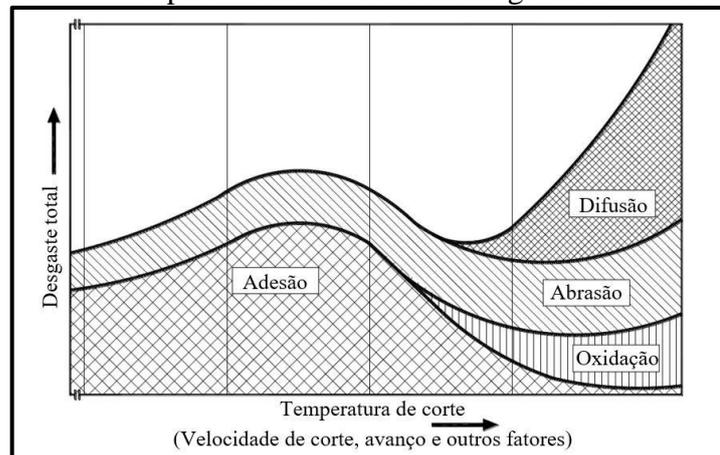
Na figura 3 pode-se observar o valor médio do desgaste de flanco e o seu valor máximo. Como a forma do gume da ferramenta é modificada, esse desgaste prejudica o acabamento superficial da peça, ocasiona mudanças dimensionais e afeta as tolerâncias da usinagem (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).



Fonte: Adaptado de Klocke (2011).

E por fim a adesão ocorre com a combinação das baixas velocidades, baixas temperaturas e cargas moderadas. Algumas partículas de material se solidificam na face da ferramenta formando um gume postiço, o que torna a ferramenta mais frágil criando um desgaste por lascamento (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999; STEMMER, 2005).

Figura 4 - Principais mecanismos e causas geradoras de desgaste



Fonte: Adaptado de Klocke (2017).

Apesar dos desgastes serem conhecidos é praticamente impossível avaliar a contribuição quantitativa de cada um na formação do desgaste (KLOCKE, 2017). Na figura 4 é apresentado um gráfico dos mecanismos de desgaste em relação à temperatura de corte, que está relacionado diretamente com a velocidade de corte avanço e outros fatores. Nele é possível observar que em baixas temperaturas e velocidades de corte os únicos mecanismos

que aparecem é a adesão e a abrasão, conforme vai aumentando a velocidade de corte surge à difusão e a oxidação diminuindo assim a influência da adesão.

Segundo Stemmer (2005), a falha pode ocorrer de forma distinta como lascamento, desgaste do flanco e desgaste da face.

O lascamento pode ser considerado como uma remoção de grandes partículas do gume, ocorrendo principalmente em ferramentas com materiais frágeis, acarretando em piores resultados na qualidade superficial da peça e até mesmo a quebra da ferramenta. Já o desgaste de flanco (VB), também conhecido como marca de desgaste, é a faixa desgastada na região de flanco. Ele surge pela remoção contínua de pequenas partículas da ferramenta e é responsável por modificar a forma do gume, prejudicando o acabamento superficial e podendo causar mudanças dimensionais na peça. E o desgaste na face, denominado cratera, é a concavidade formada na superfície de saída devido ao atrito com o cavaco. Seu crescimento pode provocar a quebra da ferramenta (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999; STEMMER, 2005).

2.1.3 Qualidade superficial

A qualidade superficial adquirida por usinagem pode ser determinante para os parâmetros iniciais exigidos nesse processo, como critérios de geometria da ferramenta e condições de corte (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Durante a usinagem a superfície gerada sofre solicitações térmicas e mecânicas que podem afetar de forma significativa as características da superfície e da subsuperfície (WHITEHOUSE, 2000). A superfície da peça usinada é caracterizada por irregularidades geométricas, alterações microestruturais e deformações plásticas na subsuperfície, que em alguns casos podem gerar alterações de propriedades mecânicas do material e tensões residuais (CHE-HARON e JAWAID, 2005). Esses defeitos podem gerar problemas de funcionalidade e comprometer a durabilidade do componente usinado. A resistência à falha de um componente depende muito de sua qualidade superficial (SEEMIKERI et al., 2008).

Para Machado et al (2009) a superfície final de um componente usinado é resultado de um processo que envolve deformações plásticas, recuperação elástica, ruptura, vibrações, calor, tensões residuais e em alguns casos reações químicas. Fatores esses que podem apresentar efeitos diferentes na nova superfície.

Na superfície, efeitos externos como textura e rugosidade abrangem falhas, trincas e ondulações. Já na subsuperfície abrange transformações microestruturais, deformações

plásticas, alterações de dureza, tensões residuais, micro-trincas e até mesmo variações na composição química (OLIVEIRA, 2006).

2.1.3.1 Textura

A textura pode ser definida pela direção e número de picos e vales presente na superfície. A região superficial geralmente é analisada a partir de sua forma, ondulação e rugosidade. O desvio de forma possui comprimento de onda maior que a ondulação e que a ondulação tem maior comprimento de onda que a rugosidade. Para mensurar quantitativamente são utilizados parâmetros verticais. Esta medição normalmente é realizada em cinco comprimentos de ondas chamados de *cut-offs* (TABENKIN, 1999).

Os elementos formadores da textura são os desvios randômicos e repetitivos da superfície real em relação à superfície geométrica. Os sulcos produzidos indicam a direção predominante das marcas deixadas pela ferramenta sobre a superfície da peça. Os processos de usinagem deixam essas marcas bem definidas e alinhadas (BET, 1999).

Os desvios são divididos em seis ordens como mostrado no quadro 1. A escolha do segmento de análise da superfície deve ser de forma cautelosa para que permita estatisticamente desenhar o comportamento de toda a superfície (KÖNIG; KLOCKE, 1997).

Quadro 1 - Desvio de forma em superfícies

Desvios de forma (Seção de perfil apresentada aumentada)	Exemplos para cada tipo de desvio de forma	Exemplos para o surgimento do desvio	
1ª Ordem: Desvio de forma 	Desnivelamento ovalado	Defeito nas guias de máquina-ferramenta, deformações por flexão da máquina ou peça, fixação incorreta da peça, deformação devido a temperatura, desgaste.	
2ª Ordem: Ondulações 	Ondas	Fixação excêntrica ou defeito de forma de uma fresa, vibrações da máquina ferramenta, da ferramenta ou da peça.	
3ª Ordem: 	R U G O S I D A D E	Ranhuras	Forma do gume da ferramenta, avanço ou profundidade de corte.
4ª Ordem 		Estrias Escamas Picos	Processo de formação de cavaco (arrancado, cisalhado, gume postigo), deformação do material por jato de areia, formação de ressaltos devido a tratamento galvânico.
5ª Ordem: Não é mais possível representação gráfica de maneira simplificada		Estrutura do material	Processo de cristalização, modificação da superfície por ação química (decapagem), processo de corrosão.
6ª Ordem Não é mais possível representação gráfica de maneira simplificada	Estrutura reticulada do material	Processos físicos e químicos da estrutura do material, tensões e deslizamentos da estrutura cristalina;	
		Superposição dos desvios de forma de 1ª a 4ª ordem	

Fonte: adaptado de König e Klocke (1997)

2.1.3.2 Rugosidade

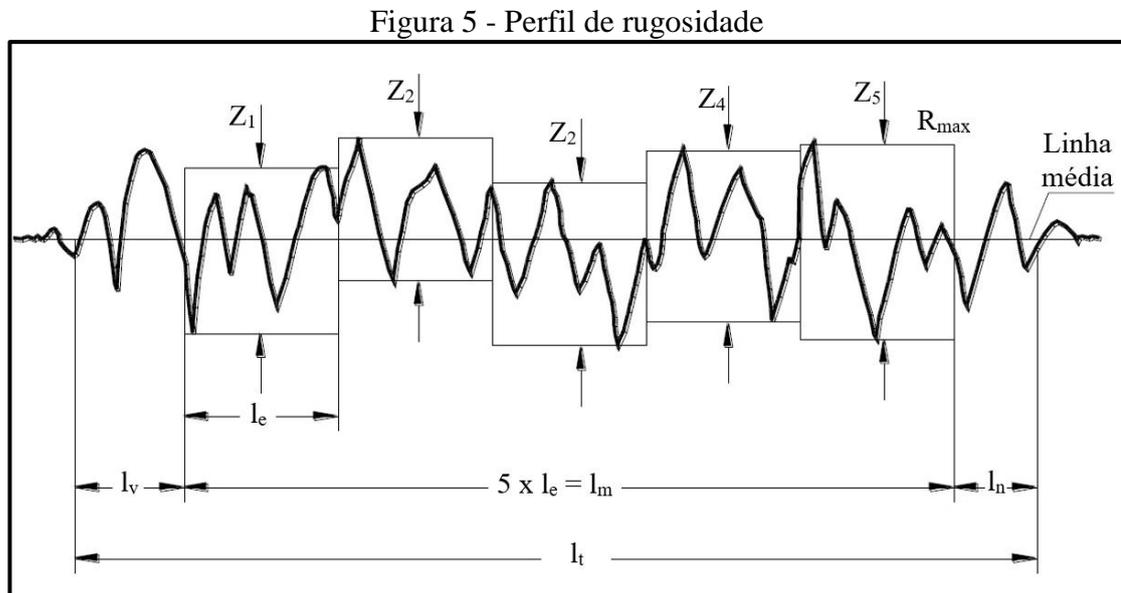
Os sistemas de medição de rugosidade são baseados no critério da linha média e podem ser divididos em três classes: R_a , R_z e R_{max} (OLIVEIRA, 2006).

R_a é a rugosidade média e corresponde a média aritmética dos valores absolutos dos pontos de perfil de rugosidade, em relação à linha média, dentro do comprimento de medição total (l_m).

R_z é a média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial (Z_i), nada mais é que a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média ao longo do comprimento da amostragem.

R_{max} ou R_y corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e vale mais profundo no comprimento de medição unitário (l_e). A distância entre eles configura a profundidade total da rugosidade.

Para a avaliação da rugosidade utiliza-se um apalpador mecânico em que a superfície de amostra é percorrida registrando assim os valores da superfície obtidos (ZEILMANN, CALZA e XAVIER, 2006). Na figura 5 é possível visualizar o perfil de rugosidade obtido.



Fonte: Adaptado de Klocke (2017).

2.2 TRATAMENTO DO GUME

O aumento de eficiência no processo de corte está relacionado à condição do gume da ferramenta. As dimensões adequadas para um raio ou chanfro provocam uma alteração na

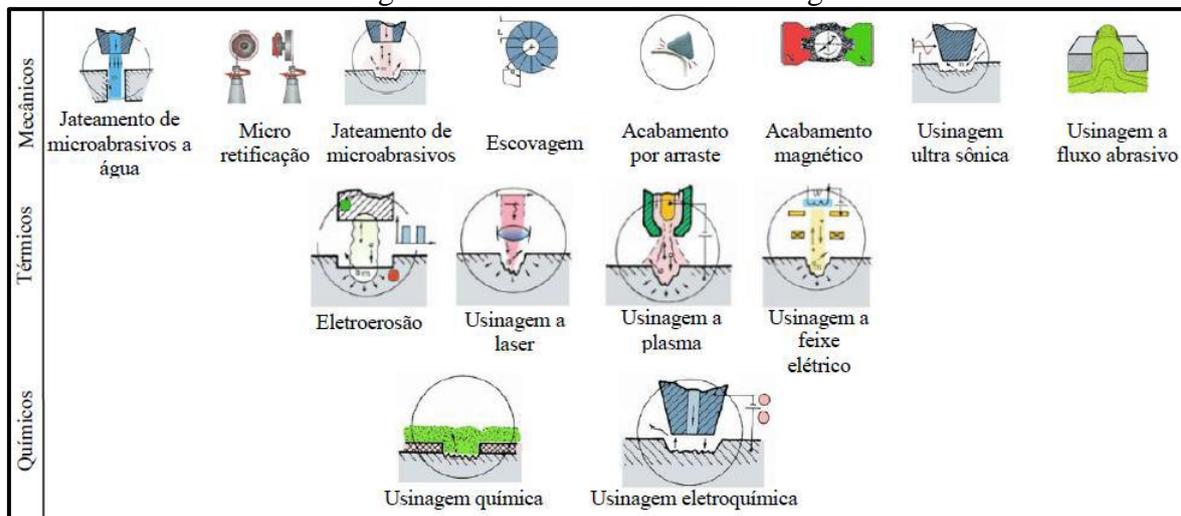
temperatura e nas forças de corte, que afeta diretamente a qualidade superficial do componente usinado e a vida útil da ferramenta (VENTURA et al., 2016).

O tratamento de gume tem por objetivo gerar uma geometria no gume modificando sua microtopografia alterando a rugosidade e textura das ferramentas e consequentemente aprimorando seu desempenho (RODRIGUEZ, 2009).

O objetivo principal do tratamento é de reduzir lascamentos e criar um arredondamento, ou até mesmo um chanfro, na cunha de corte, para melhorar a estabilidade durante o fresamento (KARPUSCHEWSKI, BYELYAYEV, e MAIBORODA, 2009). Esse processo também pode proporcionar redução de defeitos no gume, reforço da cunha de corte, aumento da vida da ferramenta e preparação da superfície da ferramenta para a aplicação de revestimentos (RODRIGUEZ, 2009).

Estes métodos de tratamento operam com distintas fontes de energias e a remoção do material pode utilizar princípios químicos, térmicos e mecânicos. É possível afirmar que os processos mais utilizados são aqueles realizados através do uso de energia mecânica (RECH, 2005). Na figura 6 pode-se verificar alguns desses tipos de processos de tratamento.

Figura 6 - Processos tratamento do gume



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

No processo de acabamento a ferramenta passa a ter um arredondamento no gume o que gera um aumento dos esforços na usinagem e a redução no seu desgaste comparada a ferramentas não tratadas. O raio do gume pode alterar as forças de corte, distribuição de temperaturas, desgaste e vida útil da ferramenta e a qualidade superficial da peça usinada. Esses efeitos também podem modificar a formação e escoamento do cavaco, integridade

superficial da peça e a resistência ao desgaste da ferramenta (RISSE, 2006; BIERMANN, WOLF e ASSMUTH, 2012).

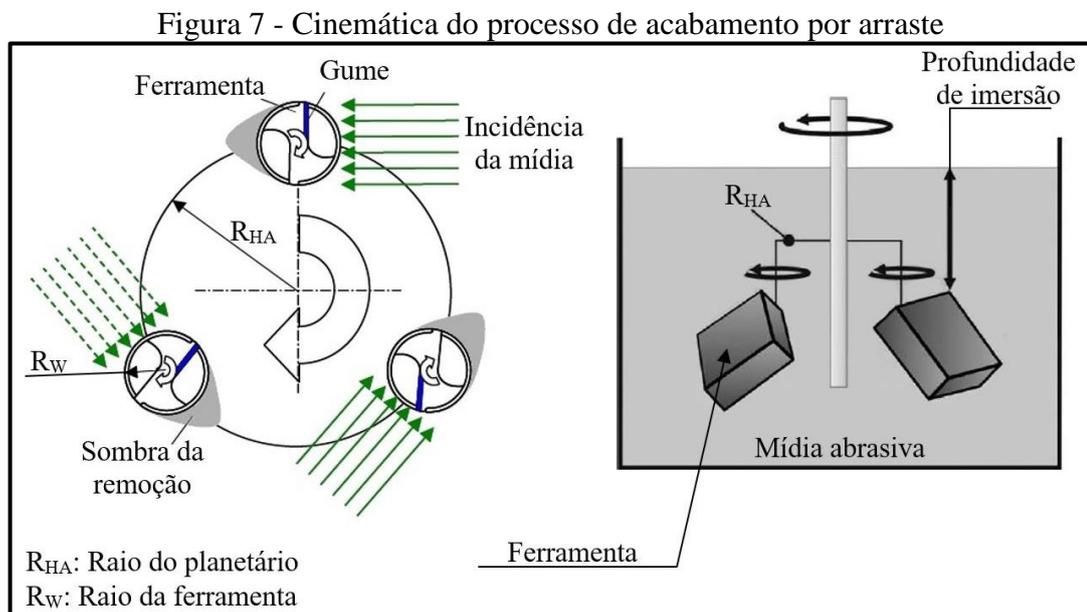
Para ferramentas com uma geometria de gume complexa, como as fresas de topo, o acabamento por arraste é muito utilizado e traz parâmetros que possibilitam um maior controle para essa aplicação (HRONEK, ZETEK e BAKŁA, 2017).

2.2.1 Acabamento por arraste

O processo de acabamento por arraste é cada vez mais utilizado na indústria de manufatura. Esse processo é usado quando precisa de alta qualidade superficial, melhor distribuição das cargas ou um arredondamento bem definido. É um processo confiável e reprodutível (TIKAL, 2009).

O princípio fundamental desse processo tem como base na imersão da ferramenta de corte em um meio abrasivo. Esse meio é constituído de elementos cerâmicos com granulometrias conhecidas. O processo é realizado com o deslocamento da ferramenta através do meio, sofrendo a ação abrasiva dos grãos (OTEC, 2008).

As máquinas mais modernas utilizam um sistema planetário, em que a ferramenta ali fixada para realizar o tratamento, gira em torno do seu eixo enquanto a máquina faz com que a ferramenta realize o movimento de translação, como representado na figura 7. Através desta combinação de movimentos, o processo resulta em um tratamento uniforme em todas as áreas da ferramenta (RISSE, 2006)



Fonte: Adaptado de Risse (2006).

Por se tratar de um processo confiável e reproduzível esse processo é recomendado quando a qualidade superficial é o elemento de maior importância, além de gerar melhores distribuições das cargas e um arredondamento bem definido (TIKAL, 2009). É empregado para suavização das bordas dos gumes e também para a remoção de aglomerações provenientes do processo de revestimento (BORDIN, 2013).

2.2.2 Mídias abrasivas para acabamento por arraste

No tratamento de acabamento por arraste, as mídias abrasivas tem uma grande importância, pois a remoção do material da ferramenta de corte se dá através do movimento relativo entre a ferramenta e a o meio abrasivo utilizado no processo. Além da capacidade de remover material, a mídia abrasiva desempenha o papel de geração das superfícies nas peças a serem usinadas (TIKAL, 2009).

Segundo Ost (2016), foi possível observar que a composição de uma mídia comercial apresentam três substâncias, um elemento de granulometria maior e tamanho homogêneo, um aditivo abrasivo e um ligante de alta viscosidade. O granulado tem função de transportar o abrasivo e atuar como carga na remoção de material. As mídias comerciais são divididas em várias classes, dependendo de sua aplicação e composição, podendo atuar na remoção do material ou na capacidade de geração de uma superfície mais lisa.

É necessário observar outros tratamentos como o polimento com cerdas abrasivas e o jateamento de micro-abrasivos, para identificar materiais que poderiam atuar como abrasivos na formulação das mídias. Identificou-se que os materiais mais utilizados para essas aplicações são carbetos de silício (SiC) e óxido de alumínio (Al_2O_3) (RODRIGUEZ, 2009; UHLMANN, 2016).

Segundo a empresa Otec (2020) as mídias comerciais são divididas em várias classes, de acordo com sua composição e aplicação, podendo atuar mais na remoção de material ou na capacidade de geração de uma superfície mais lisa. Dentre elas, uma muito utilizada para o tratamento por arraste, inclusive presente no estudo de Carrer (2018), possui referência HSC 1/300, da empresa alemã OTEC. Esta formulação, apresenta carbetos de silício (SiC) e casca de noz em sua composição, com granulometria na faixa entre 0,8 mm e 1,3 mm (OTEC, 2020; TIKAL, 2009; UHLMANN, 2017). A mídia, neste caso, apresenta 30% de SiC e 70% de casca de noz em sua formulação (UHLMANN et al., 2016).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os parâmetros para testes, as ferramentas, os materiais e equipamentos que foram utilizados, juntamente com a metodologia que foi utilizada para a realização dos testes experimentais. O capítulo conta ainda com o procedimento para a avaliação dos resultados obtidos e também conta com a proposta do trabalho que foi desenvolvido.

3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Com base nos estudos desenvolvidos por Carrer (2018) e por Girardelo (2019) que surgiram como objetivo de gerar uma mídia alternativa, com materiais de fácil obtenção, e que pudessem ter resultados próximos aos obtidos comercialmente. A mídia composta por zirconita ($ZrSiO_4$) como material abrasivo, casca de amendoim (CA) como elemento granulado e óleo atuando como ligante foi a que apresentou os melhores resultados.

Aproveitando o *know-how* adquirido nos trabalhos de Carrer (2018), que desenvolveu uma primeira versão da mídia alternativa e Girardelo (2019), que melhorou a homogeneidade dessa mídia. O estudo em questão tem como proposta obter uma variação dimensional da granulometria, visto que este é um parâmetro que pode afetar as condições de afiação e do raio do gume da ferramenta. Para isso, foi desenvolvida uma mídia com granulometria até 0,6 mm e posteriormente outra com uma faixa de 1,2 mm até 1,7 mm, a fim de ser possível analisar o comportamento do gume das ferramentas. Essa mudança se deve pelo fato de que nos trabalhos anteriores foi utilizado um tamanho de granulometria de 0,8 mm, baseada na mídia comercial com casca de nozes, já que a mídia utilizada foi a com casca de amendoim, não se sabe se esse valor de 0,8 mm é equivalente para esse material granulado.

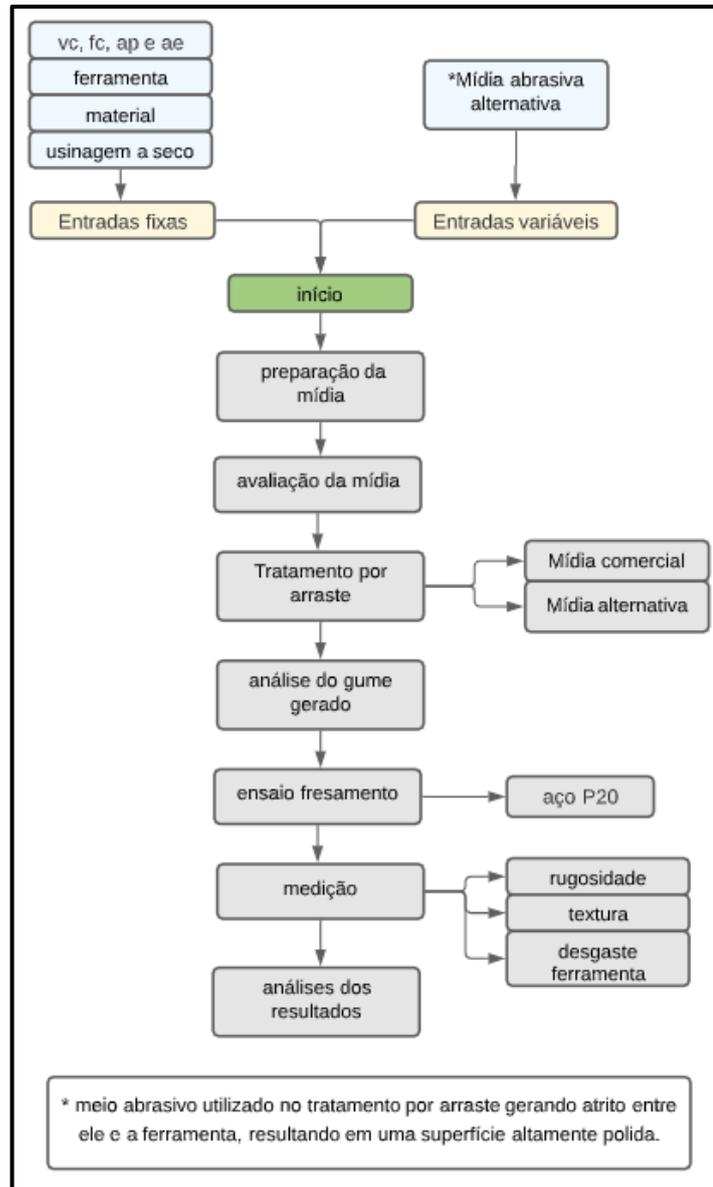
Após a obtenção das mídias a fresa de topo passou pelo tratamento por arraste. As ferramentas foram avaliadas antes e depois do tratamento, em um microscópio de varredura óptico, para identificar as possíveis irregularidades, micro-lascamentos e atenuações da linha de afiação.

Os ensaios de fresamento foram realizados em aço P20 tendo como critério de parada dos testes o fim de vida das ferramentas. Esses critérios foram o desgaste do flanco (V_{Bmax}) ou o lascamento da ferramenta.

Foram realizadas medições de rugosidade e fotos de textura no corpo de prova e as ferramentas passaram por medições de desgaste durante e após os testes. E por fim foi

realizada a avaliação e comparação dos resultados com outros trabalhos. Na figura 8 está representado o fluxograma das etapas para os ensaios experimentais para auxiliar na visualização dos processos realizados.

Figura 8 - Fluxograma etapas experimentais



Fonte: O autor (2021).

A fim de obter uma comparação mais condizente com trabalhos anteriores, as condições de corte e de avaliação são iguais, permanecendo como condição variável somente a mídia.

3.2 TRATAMENTO DAS FERRAMENTAS

As fresas de topo, que foram utilizadas em estudos anteriores, vão passar por um processo de reafiação para gerar a reconstituição dos gumes, a fim de deixar com o formato original. Os dados do tratamento por arraste com a mídia comercial da empresa alemã OTEC, referência HSC 1/300, foi aproveitado de estudos anteriores.

A partir disso, as ferramentas foram submetidas ao tratamento por arraste com a mídia alternativa, que foi preparada na UCS. Com a intenção de garantir uma comparação dos resultados obtidos em estudos anteriores, como Ost (2016), Carrer (2018) e Girardelo (2019) o tratamento por arraste teve duração de 10 minutos tendo rotação constante de 80 rpm, em sentido horário.

3.2.1 Parâmetros de entrada

Para que os testes tenham confiabilidade e possam ser comparados com estudos anteriores os parâmetros de corte foram mantidos constantes em todo o processo de usinagem, com isso apenas o acabamento atuou efetivamente nos resultados obtidos para a vida útil e o acabamento superficial da peça. Os parâmetros adotados seguem os da literatura, Stemmer (2005); Ost (2016), adequados para as especificações da ferramenta. Assim, velocidade de corte (V_c) foi 180 m/min, avanço por gume (f_z) de 0,06 mm/gume, profundidade de corte axial (a_p) de 0,5 mm, profundidade de corte radial (a_e) de 0,2 mm e passe de 252 mm de comprimento.

A estratégia de usinagem empregada ao ensaio é concordante para fresamento de topo, ou seja, a rotação da ferramenta e o avanço da peça com o mesmo sentido. Para que não ocorram variáveis oriundas da lubrificação a usinagem foi feita a seco, ou melhor, sem a presença de fluido lubrificante.

3.2.2 Variáveis de entrada

Para que os objetivos propostos fossem atendidos, as variáveis de entrada foram somente as mídias utilizadas no tratamento por arraste. Os estudos foram conduzidos com ferramentas tratadas pela mídia proposta e os resultados foram comparados com os de fresas de topo reafiadas e sem nenhum tratamento e com fresas de topo tratadas por uma mídia abrasiva comercial da empresa alemã OTEC, de referência HSC 1/300.

O elemento atuante como carga (CA) teve sua granulometria controlada na sua composição, primeiramente com granulado até 0,6 mm e posteriormente com uma faixa de 1,2 mm até 1,68 mm. A mídia alternativa contém zirconita ($ZrSiO_4$) como material abrasivo, casca de amendoim (CA) como elemento granulado e óleo, responsável pela união dos elementos, mantendo somente o tamanho da granulometria como variável. O óleo utilizado no processo foi o mesmo contido na mídia comercial da empresa alemã OTEC, com referência HL 6. A casca de amendoim que foi utilizada foi a casca externa em natura da vagem do amendoim.

3.2.3 Variáveis de saída

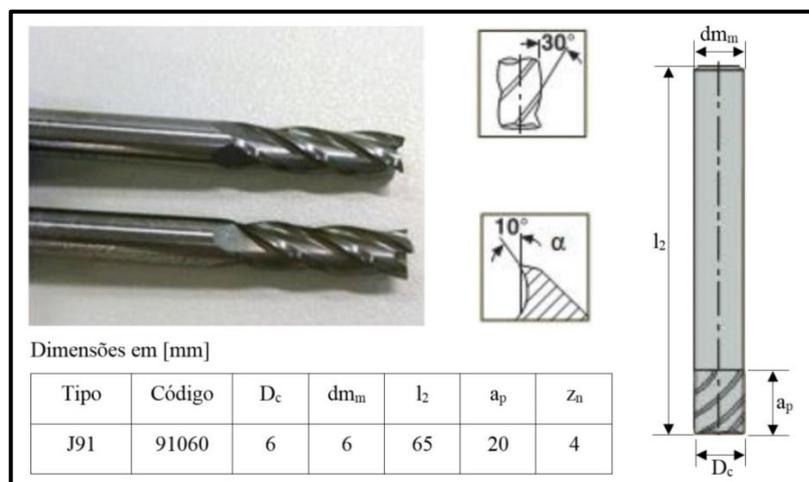
As variáveis que foram comparadas no final dos testes estão ligadas ao corpo de prova usinado e a ferramenta de corte. Para a peça foi avaliada a rugosidade e a textura e para a ferramenta foi avaliado o desgaste.

A rugosidade foi avaliada com base nos critérios R_a , R_z e R_{max} , medidos no início e no fim de vida.

Vale destacar que para ser avaliado o fim de vida das ferramentas um critério de parada dos testes teve que ser determinado. Com isso, os fresamentos foram conduzidos até o momento em que uma das seguintes condições fosse satisfeitas: desgaste de flanco máximo (VB_{max}) de 0,2 mm ou lascamento da ferramenta, medido a cada 5 m usinados.

3.2.4 Ferramentas

Figura 9 - Fresas de metal duro



Fonte: Adaptado de Ost (2016).

Para a realização do trabalho foram utilizadas duas fresas de metal duro de diâmetro de 6 mm e quatro gumes em cada uma delas. As ferramentas em questão foram fornecidas pela empresa Seco Tools, referência 91060, linha Jabro. Foram utilizadas fresas sem revestimento, com geometria de afiação original e que não apresentem raio de quina. As fresas foram reafiadas pela empresa Secta Tools. Essa reafiação consiste em uma remoção de todo desgaste que esta fresa apresenta e posteriormente é feito uma afiação nova, respeitando os ângulos e raios originais da fresa. Detalhes adicionais podem ser encontrados na figura 9.

3.2.5 Equipamentos

Para realização da moagem foi utilizado o moinho de facas e a mistura da mídia foi realizada em um misturador planetário, ambos os equipamentos localizados no laboratório de polímeros.

Os testes foram desenvolvidos no Laboratório de Novas Tecnologias de Produção (LNTP), localizada no bloco D da cidade universitária da UCS. O fresamento conta com um centro de usinagem LG-500, da marca Hartford, com rotação de 10.000 rpm e potência máxima de 10 kW.

Nas medições de rugosidade foi utilizado um rugosímetro portátil, modelo SJ-301, da marca Mitutoyo. O equipamento possui resolução de 0,01 μm , apalpador de diamante de 90° e raio de ponta de 5 μm . A obtenção da textura foi feita através do uso de um estereoscópio trinocular de medição universal da marca Entex, modelo TNE-10B.

3.2.6 Corpo de prova

O material que foi utilizado para os ensaios como corpo de prova é o aço AISI P20, com dureza de 38 HRc, escolhido por ser muito utilizado nas indústrias de moldes e matrizes de injeção de plásticos. O bloco foi preparado com dimensões de 252 mm x 80 mm x 60 mm, com faces retificadas a fim de garantir um melhor posicionamento e planicidade na fixação durante a usinagem. As amostras para medições de rugosidade e textura foram coletadas em duas etapas, no início e no fim de vida da ferramenta.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos tratamentos por arraste nas ferramentas de corte e também dos ensaios de fresamento. Primeiramente foi caracterizada a obtenção da mília alternativa e das ferramentas utilizadas. Na sequência, os resultados dos ensaios serão analisados e comparados com trabalhos anteriores, analisando a influencia do tratamento de arraste de gume sobre a qualidade superficial da ferramenta através da rugosidade e textura, além da vida da ferramenta, através do desgaste e seus mecanismos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MÍDIAS

Inicialmente para a obtenção das mídias, as cascas de amendoim foram moídas e peneiradas em laboratório. Utilizou-se uma faixa de granulometria diferente para cada mília. Foram utilizadas três peneiras para a realização deste processo, uma com mesh de 28 (abertura com 0,6 mm), outra com mesh de 14 (abertura com 1,2 mm) e outra com mesh de 10 (abertura com 1,7 mm). A primeira granulometria utilizada na mília foi a que ficou abaixo de 0,6 mm e a outra utilizada foi a que ficou na faixa de 1,2 até 1,7 mm.

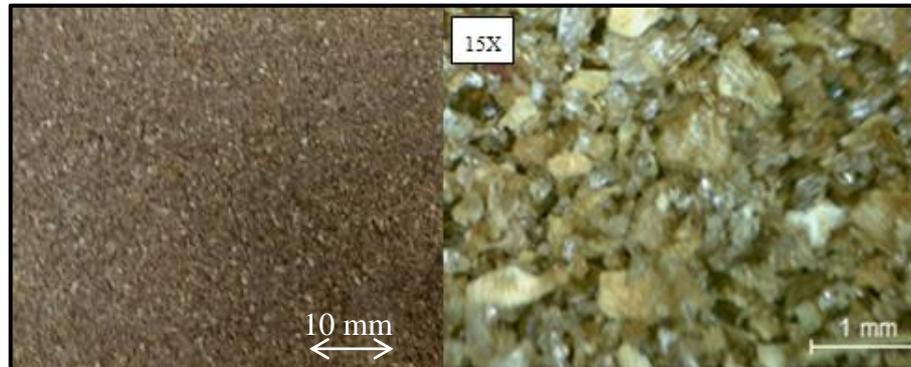
Após este processo foi realizado o preparo da mília com o granulado de 0,6 mm, primeiramente foi misturado o granulado e metade do óleo, que foi de 1 ml em um misturador planetário durante 10 minutos, posteriormente foi colocado a outra metade do óleo (1 ml) e misturado por mais 10 min. Realizado este processo foi acrescentado o abrasivo em duas etapas que totalizou mais 10 minutos. Este processo se repetiu com o granulado de 1,2 mm.

Na figura 10 pode-se observar a mília com a granulometria de 0,6 mm sem ampliação e com ampliação de 15 vezes, pode-se notar que é uma mília mais homogenia se comparado com a da figura 11, com granulometria de 1,2, que tanto na imagem sem ampliação e na ampliada 15 vezes pode-se notar com facilidade as cascas de amendoim.

Observou-se uma maior dificuldade na mistura de maior dimensão. Pelo fato de a casca de amendoim ser fibrosa, fazendo com que o óleo seja absorvido. Por ser da mesma coloração do óleo se torna difícil de realizar a mistura. Isso se deve pelo fato de que se colocar uma quantidade insuficiente de óleo acaba impedindo que toda casca de amendoim seja envolvida pelo abrasivo, deixando os elementos separados na formulação. Caso essa mistura possua uma quantidade excessiva de óleo acaba tornando essa mistura pastosa, o que impede

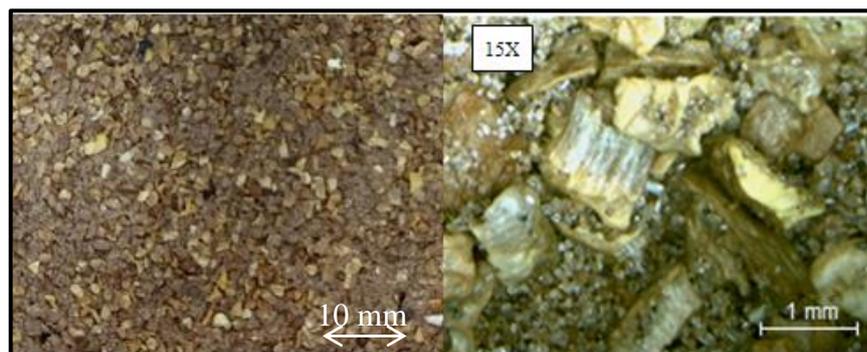
os gumes da ferramenta de fluírem pela mília. Para garantir que não ocorresse a possibilidade de haver óleo em excesso foi colocado gradativamente este óleo.

Figura 10 - Mília alternativa de 0,6 mm



Fonte: O Autor (2021).

Figura 11 - Mília alternativa de 1,2 à 1,7 mm



Fonte: O Autor (2021).

4.2 TRATAMENTO POR ARRASTE

O tratamento por arraste foi conduzido como descrito no item 3.2. Os parâmetros utilizados foram de 80 rpm para a velocidade de rotação da fresa, tempo de processo de 10 minutos, sentido horário para ferramenta de rotação da fresa e da mesa de CNC e velocidade de deslocamento de 5 m/min. A tabela 1 apresenta a relação entre as fresas e as granulometrias.

Tabela 1 - Ferramentas utilizadas no ensaio

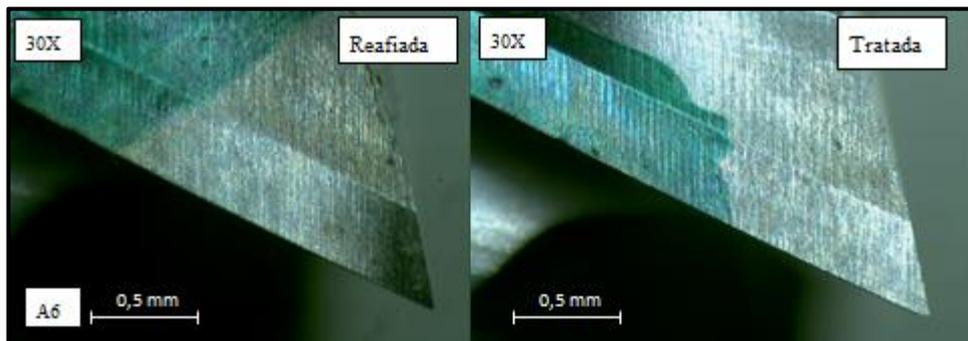
Fresa	Tratamento	Granulometria
A8	Mília alternativa: $ZrSiO_4$ + CA + óleo	CA < 0,6 mm
A6	Mília alternativa: $ZrSiO_4$ + CA + óleo	1,2 mm < CA < 1,7 mm

Fonte: O Autor (2021).

4.2.1 Caracterização das ferramentas

As fresas reafiadas foram observadas em um microscópio óptico com uma ampliação de 30 vezes, a fim de garantir que as ferramentas estivessem livres de qualquer irregularidade provenientes do processo de reafiação, como pequenos lascamentos ou trincas, com isso pode observar as modificações provenientes do tratamento por arraste.

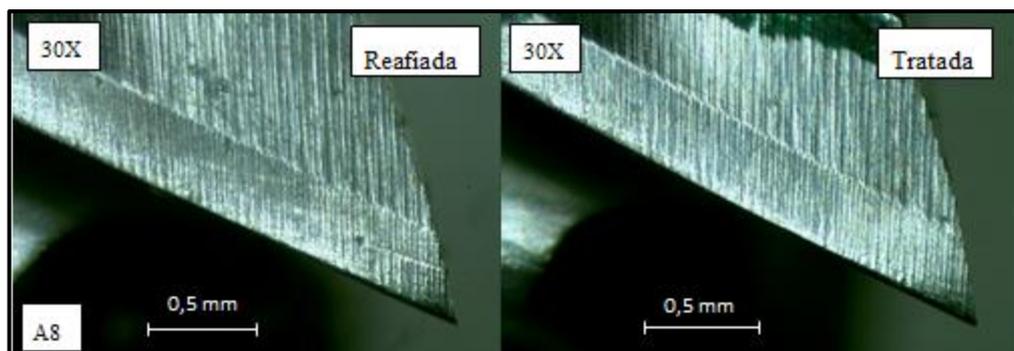
Figura 12 - Comparação da fresa A6 com e sem tratamento



Fonte: O Autor (2021).

Tanto na figura 12 como na figura 13 pode-se notar que houve um tratamento mais moderado, sem remoção das marcas de afiação e com modificações pouco perceptíveis na região analisada através da ampliação utilizada.

Figura 13 - Comparação da fresa A8 com e sem tratamento



Fonte: O Autor (2021).

Antes de ser realizado os ensaios de fresamento a fresa foi fixada ao porta pinças com um comprimento de 25 mm. Após a fixação da ferramenta foi executado o batimento da ferramenta tendo como referencial o primeiro gume na tabela 2 pode-se observar esses dados.

Tabela 2 - Batimento das ferramentas

Gume	Fresa A6	Fresa A8
1°	0 μm	0 μm
2°	3 μm	10 μm
3°	11 μm	28 μm
4°	9 μm	11 μm

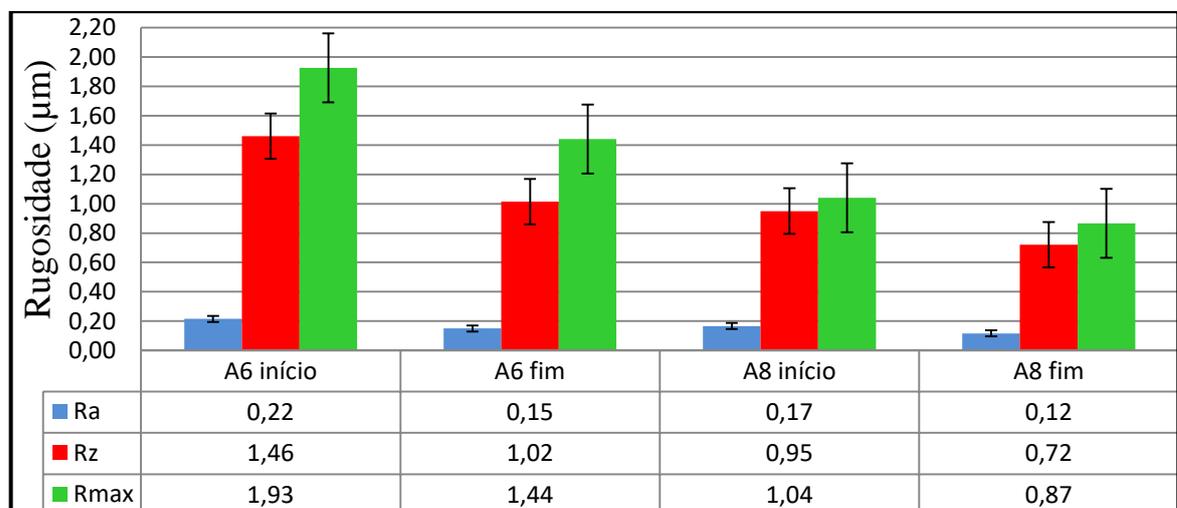
Fonte: O Autor (2021).

4.3 RUGOSIDADE E TEXTURA DA PEÇA USINADA

A avaliação da qualidade superficial consistiu em medições no início, com a ferramenta nova, e no fim, com a ferramenta desgastada tendo como critério um desgaste de 0,2 mm para VB_{max} . Os parâmetros R_a , R_z e R_{max} foram avaliados em μm . A textura foi avaliada de duas formas por imagens e através do perfil de rugosidade.

Na figura 14 tem a comparação dos resultados de rugosidade obtidos nas ferramentas do teste. O gráfico apresenta a incerteza de medição, além de valores médios obtidos para os parâmetros. A menor dispersão ocorreu para o parâmetro R_a e o maior para R_{max} , isso se deve pelo fato do parâmetro R_{max} ser a medida entre o vale mais profundo e o pico mais alto. Como é possível observar os valores obtidos foram maiores no início do processo o que já era de se esperar, pois neste momento ocorre o ajuste dos gumes. Em comparação com trabalhos anteriores, Carrer (2018) e Girardelo (2019), os valores de rugosidade da fresa A8 foram menores tanto no início como no fim de vida da ferramenta.

Figura 14 - Valores de rugosidade para o início e fim de vida da ferramenta

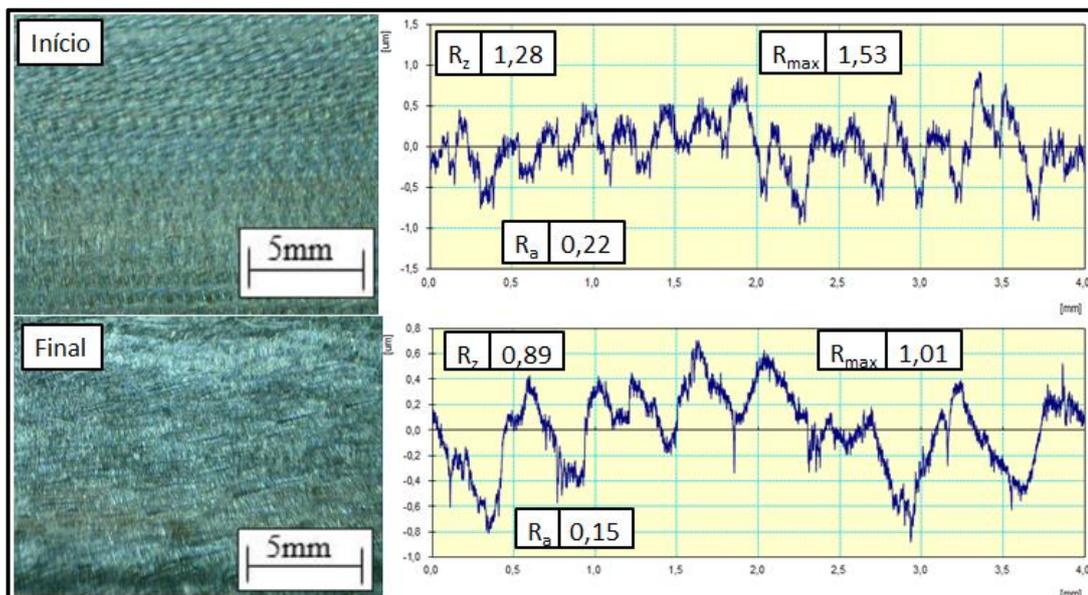


Fonte: O Autor (2021).

Para parâmetros de rugosidade nem sempre é desejado obter os menores valores e sim uma estabilidade no decorrer das medições (OST, 2016). Com isso, a fresa que apresentou uma estabilidade melhor entre o início e o fim de vida, em relação a rugosidade R_a , foi a A8 com a média de menor granulometria.

Para a avaliação da textura, imagens foram coletadas nas condições de início e fim de vida da ferramenta e um perfil de rugosidade que mostra de forma gráfica essa textura. Na figura 15 é mostrada a textura para fresa A6. Na fase inicial do fresamento a superfície gerada apresentou marcas de passagens de ferramenta bem definidas e um perfil de rugosidade que apresenta um padrão de repetição. Já para a fase final as marcas de passagem da ferramenta não são bem definidas e o perfil de rugosidade não exibiu um perfil de repetição bem definido.

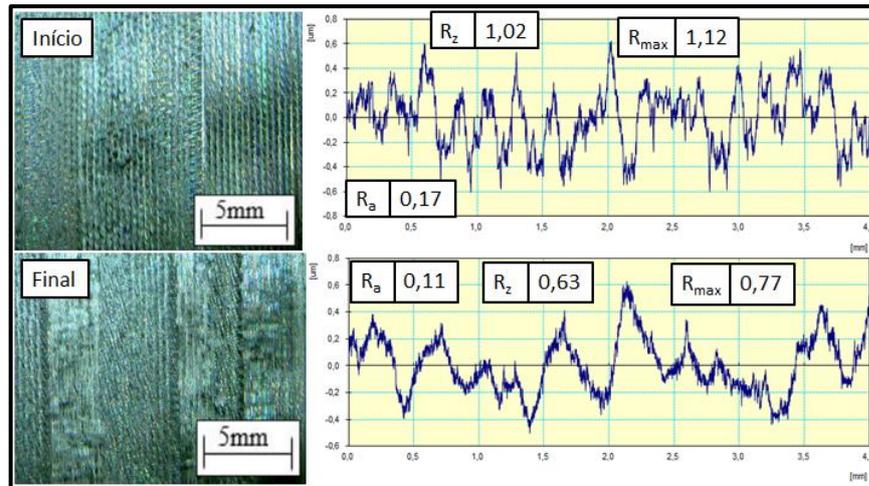
Figura 15 - Textura e perfil de rugosidade da fresa A6



Fonte: O Autor (2021).

A figura 16 mostra a textura e o perfil de rugosidade da fresa A8, pode-se notar a mesma configuração que a da figura 15 em que a textura no início apresenta passagem da ferramenta bem definidas e o perfil de rugosidade possui um padrão de repetição. Para a fase final, a textura não apresenta passagens da ferramenta bem definidos e o perfil de rugosidade também não possui um padrão de repetição bem definido.

Figura 16 - Textura e perfil de rugosidade da fresa A8



Fonte: O Autor (2021).

4.4 VIDA DA FERRAMENTA

Da mesma forma que o corpo de prova foi avaliado através da qualidade superficial, as ferramentas passaram por medições de desgaste máximo de flanco (VB_{max}), este critério serviu para indicar o fim de vida da ferramenta. Foi através dessas medições a cada 5 m usinados que foi possível gerar as curvas que descrevem o comportamento do desgaste das ferramentas nos ensaios.

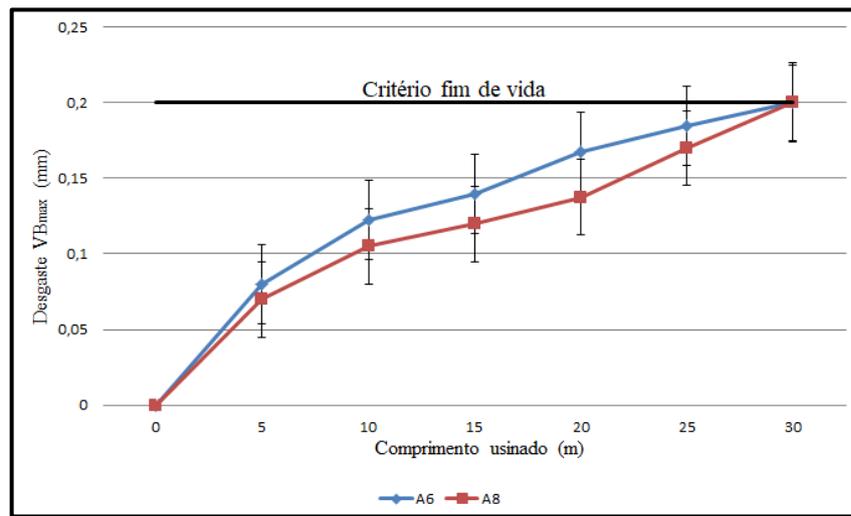
4.4.1 Curva de fim de vida

Os valores de desgaste foram medidos durante o processo de usinagem, com paradas para medições a cada 5 m usinados até atingir VB_{max} de 0,2 mm. Com base nesses valores foi possível gerar um gráfico que mostra o comportamento do desgaste para cada uma dessas ferramentas. As ferramentas utilizadas neste ensaio foram comparadas com trabalhos passados como Ost (2016), Carrer (2018) e Girardelo (2019), onde foram extraídos os dados de fresas reafiadas sem tratamento, fresa com tratamento comercial com a média de referência HSC 1/300 e fresas com uma primeira e segunda versão de média alternativa. Os ensaios foram realizados nas mesmas condições para poder realizar este comparativo.

As curvas de desgaste são apresentadas na figura 17, pode-se observar que as ferramentas não atingiram o estágio III da curva de comportamento de desgaste, o que significa que nenhuma delas entrou em colapso. Pode-se notar também que no gráfico é apresentada a dispersão dos valores com relação à média do desgaste máximo do flanco,

coletado sobre os quatro gumes da ferramenta a cada pausa de usinagem. Através dessas curvas é possível observar o comportamento clássico de desgaste das ferramentas usinadas, o desgaste acentuado nos primeiros 5 m, conhecido como ajuste do gume e após o crescimento do desgaste começa a ser de forma linear até atingir o valor estabelecido como critério de fim de vida.

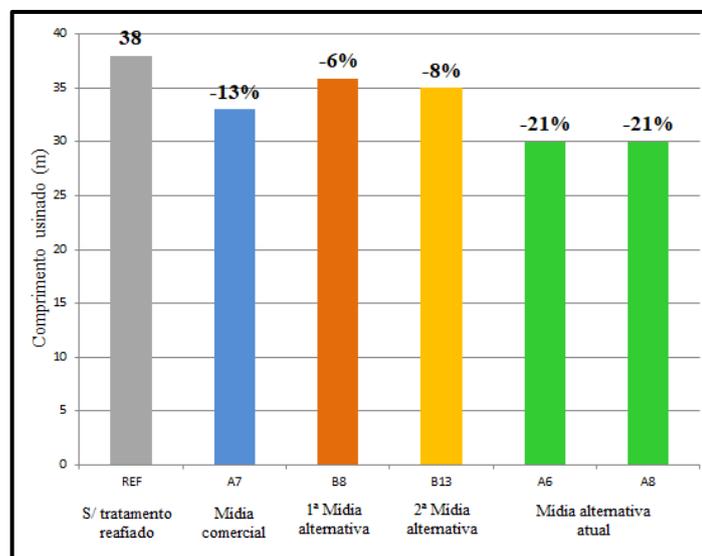
Figura 17 - Curvas de comportamento de desgaste



Fonte: O Autor (2021).

Para ambas as fresas o comprimento usinado foi de 30 m, com isso fica evidente que houve uma redução de vida da ferramenta em relação a fresa de referência sob condições de reafiada e sem tratamento. A comparação gráfica é apresentada na figura 18.

Figura 18 - Comparativo de comprimento usinado



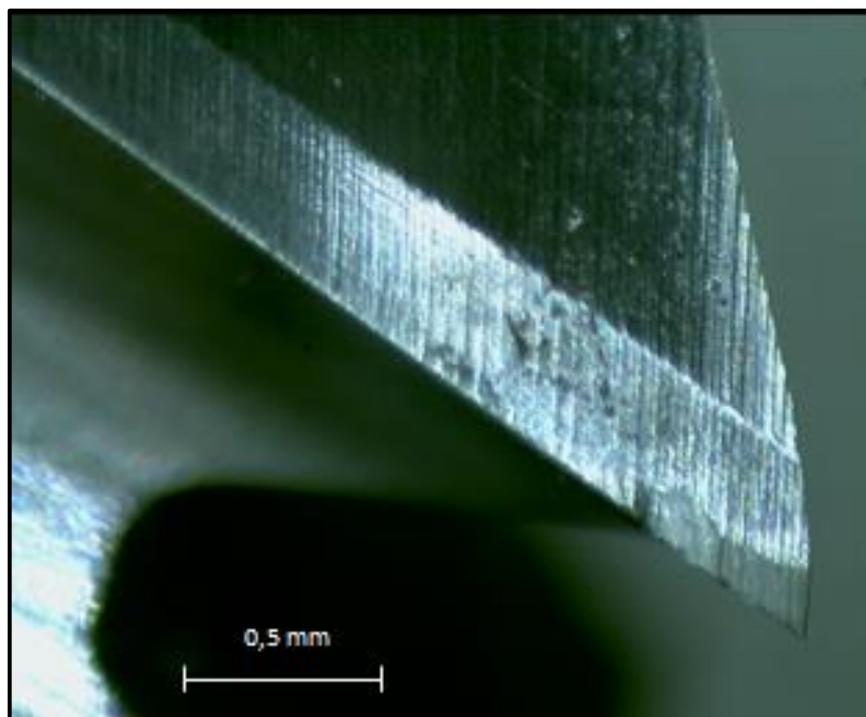
Fonte: O Autor (2021).

4.4.2 Mecanismos de desgaste

Foram identificados os principais mecanismos de desgaste originados pelo processo de usinagem, ao analisar cada uma das ferramentas os mecanismos encontrados foram abrasão, adesão e alguns pontos com lascamento.

A abrasão pode ser observada através das marcas de desgaste bem definidas e com aparência semelhante em todas as fresas. Este mecanismo é o responsável pelo desgaste de flanco. Na figura 19 observam-se as marcas oriundas da abrasão.

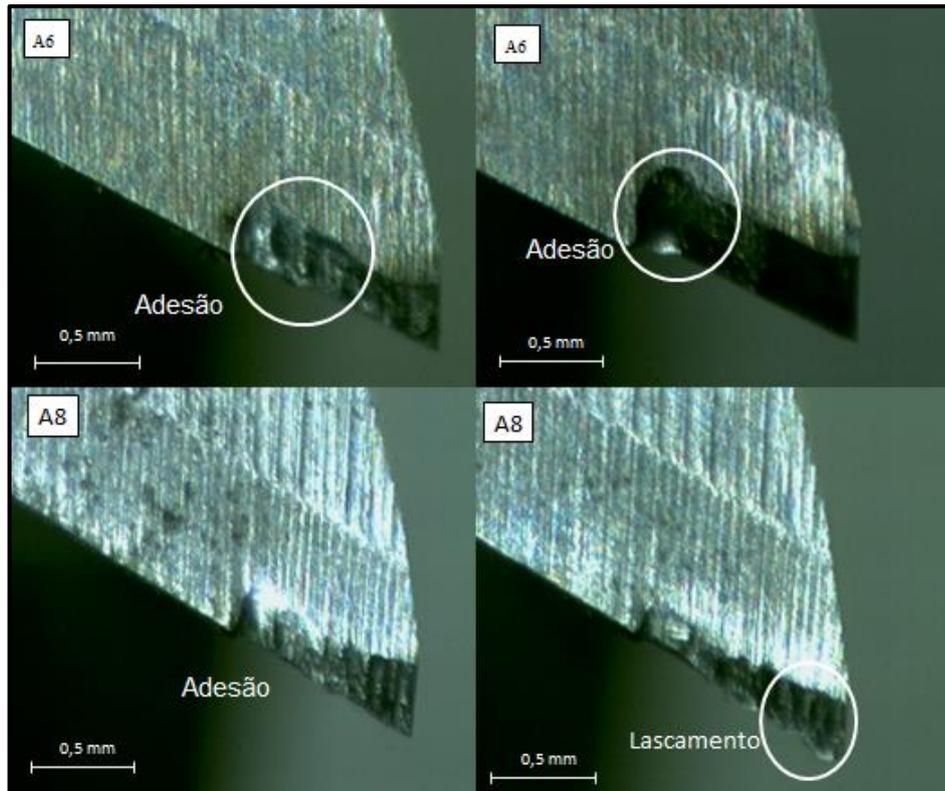
Figura 19 - Mecanismo de abrasão



Fonte: O Autor (2021).

Outro mecanismo observado no ensaio foi a adesão, mesmo em velocidades tradicionais ainda são identificadas adesões, pelo próprio processo de contato e calor, quando o material aderido é removido subsequentemente, levando fragmentos da ferramenta. Na região onde ocorreu a adesão do material foram produzidas regiões ásperas e irregulares. Na fresa A8 também teve micro lascamentos em alguns gumes possivelmente provenientes da adesão. Esses mecanismos podem ser observados na figura 20.

Figura 20 - Identificação dos principais mecanismos de desgaste



Fonte: O Autor (2021).

Apesar dos resultados para a vida da ferramenta não apresentarem evolução na comparação com o tratamento comercial e com os tratamentos alternativos de trabalhos anteriores, os valores para rugosidade permaneceram mais estáveis durante o processo. Em comparação com trabalhos anteriores esses resultados foram menores.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo proporcionaram um entendimento sobre o comportamento do tamanho da granulometria. Com o aproveitamento de resultados de trabalhos anteriores a mídia composta por zirconita, casca de amendoim e óleo pode ser elaborado. Ao ser analisado as mídias alternativas prontas pode-se notar que a de menor granulometria ficou mais homogênea em comparação com a de maior granulometria.

A avaliação da qualidade superficial foi fundamental para afirmar que uma granulometria menor é melhor para o processo, pois os resultados de rugosidade para a fresa A8 apresentaram valores mais estáveis ao longo das medições, isto é, com menos variações e com menores valores. A mídia com maior granulometria apresentou o maior valor para R_{max} o que demonstra uma falta de uniformidade na superfície gerada. A avaliação de textura não apresentou resultados significativos para o trabalho. As texturas no início do processo para as duas mídias apresentaram linhas de passagens bem definidas e padrões de rugosidade que se repetem. No final do processo as texturas apresentaram resultados irregulares e sem um padrão definido.

As duas fresas apresentaram o mesmo comportamento de desgaste com 30 m de comprimento usinado. No gráfico de fim de vida da figura 17 pode-se notar que a fresa A8 apresentou valores de VB_{max} mais baixos durante todo o ensaio, porém ao final do ensaio teve seu desgaste mais acentuado. Os mecanismos de desgaste identificados foram a abrasão e adesão. A abrasão esteve presente em todo o ensaio. Já a adesão apareceu em alguns momentos, porém com maior ênfase na fresa A8, que pode ter sido o fator fundamental para um desgaste acentuado no seu fim de vida.

REFERÊNCIAS

- ARMAREGO, E. J. A.; DESHPANDE, N. P., Computerized End-Milling Force Predictions with Cutting Models Allowing for Eccentricity and Cutter Deflections. **Annals of the CIRP**, v. 40, n. 1, p. 25-29, 1991.
- BET, Luciano. **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor**. 1999. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- BIERMANN, D.; WOLF, M.; ASSMUTH, R. Cutting edge preparation to enhance the performance of single lip deep hole drills. **Procedia CIRP**, n. 1, p.172 – 177, 2012.
- BORDIN F. M., **Efeito do tratamento da microgeometria de brocas helicoidais de metal-duro sobre a integridade superficial dos furos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 128p, 2013.
- CARRER, Mylena. **Influência do tratamento do gume por arraste sobre a qualidade superficial da peça e a vida da ferramenta para o processo de fresamento**. 2018. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.
- CHE-HARON, C.H.; JAWAID, A. The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 166:2, p. 188-192, 2005.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 8580: Fertigungsverfahren Spanen - Teil 0: Allgemeines; Einordnung, Unterteilung, Begriffe; dimensions**. Alemanha, 2003.
- DINIZ A. E., MARCONDES F. C., COPPINI N. L., Tecnologia da Usinagem dos Materiais. MM Editora. 1999.
- FERRARESI D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: E. Blucher, 3v, 1970.
- GIRARDELO, Ronaldo. **Influência do tratamento do gume por arraste sobre a vida da ferramenta e a qualidade superficial no fresamento do aço P20**. 2019. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.
- HRONEK, Ondřej; ZETEK, Miroslav; BAKĽA, Tomáš. The Immersion Depth Influences on Cutting Edge Radius During Drag Finishing. **Proceedings Of The 28th Daaam International Symposium**, Vienna, Austria, p.1030-1036, jan. 2017.
- KARPUSCHEWSKI, B., BYELYAYEV, O., MAIBORODA, V.S. Magneto-abrasive machining for the mechanical preparation of high-speed steel twist drills. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, n. 58, 295-298, 2009.
- KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren Band 1: Drehen, Fräsen, Bohren**. 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1997.

MACHADO A. R. COELHO R. T., ABRÃO A. M., SILVA M. B., **Teoria da usinagem dos materiais**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 384 p. 2009.

MENDES, Alexandre A.A. **Estudo de processo de retificação aplicado à recuperação de placas de molde de máquinas de lingotamento contínuo de placas de aço**. 2011. 101 f. TCC (pós-graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

OLIVEIRA J.M., **Caracterização da Integridade de Superfícies Usinadas para produção de moldes e matrizes**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 110p, 2006.

OST C. A., **Análise da qualidade superficial no fresamento de aço P20 com diferentes tratamentos de ferramentas e condições de lubrificarrefrigerantes**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 103p, 2016.

OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH (Alemanha). **HSC Granulates**. 2018. Disponível em: <<https://www.otec.de/en/products/media/dry-finishing/dry-grinding-granulate/>>. Acesso em: 01 nov. 2020.

PEÇANHA JÚNIOR, Luiz A.F. **Sinterização de compósitos TiB₂-AlN via plasma pulsado aplicado a ferramenta de corte**. 2014. Tese (Doutorado) – Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.

RISSE, K. **Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl**. Dissertação de Mestrado, RWTH Aachen, Aachen, 153p., 2006.

RODRIGUEZ C. J. C., **Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing**. Tese de Doutorado, Universidade de Kassel, Alemanha. 205p., 2009.

SEEMIKERI, C.Y.; BRAHMANKAR, P.K.; MAHAGAONKAR, S.B. Investigations on surface integrity of AISI 1045 using LPB tool. **Tribology International**, n. 41, p.724–734, 2008.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de Corte I**. 6. ed. Florianópolis, Santa Catarina: Editora da Ufsc, 2005. 249 p.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de Corte II: Brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos, abrasivos**. 3. ed. Florianópolis, Santa Catarina: Editora da Ufsc, 2005. 314 p.

TABENKIN, Alex. **Surface finish: a machinist's tool. A design necessity**. Mar. 1999. Disponível em: <<https://www.mmsonline.com/articles/surface-finish-a-machinist39s-tool-a-design-necessity>>. Acesso em: 01 out. 2020.

TIKAL F., **Schneidkantenpräparation: Ziele, Verfahren und Messmethoden**. Kassel University Press, 2009.

UHLMANN E., OBERSCHMIDT D., KUCHE Y., LÖWENSTEIN A., Influence of cutting edge preparation on the performance of micro milling tools. **Procedia CIRP**, 46:214–217, 2016.

UHLMANN E., KUCHE Y., OBERSCHMIDT D., POLTE J., Droplet removal from PVD-coated micro-milling tools with the immersed tumbling process. **European Society For Precision Engineering And Nanotechnology -euspen-**, Hannover, Germany, p.255-256, jun. 2017.

WEINGAERTNER W. L., SCHROETER R. B., POLLI M. L., GOMES J. O., PAES A., **Influência do comprimento em balanço da ferramenta sobre a estabilidade dinâmica do fresamento de topo reto à altas velocidades.** In: 2 COBEF - Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2004, Florianópolis. Anais do 2º COBEF 2004. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

WHITEHOUSE, D.J. **Surfaces and their measurement.** London: Hermes Penton Science, 2000.

ZEILMANN, R. P.; CALZA, D. C.; XAVIER, E. B. Influência das condições de aplicação de fluido lubrificante sobre a qualidade superficial para o processo de furação. Anais do 17º **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.** Foz do Iguaçu, 2006.

ZEILMANN, R. P. **GEODEF.** Caxias do Sul: Notas de Aula, 2019. 59 slides, color.