



**Avaliação da usinagem do Aço ABNT 1045 com ferramenta de metal duro  
revestida sem fluido de corte.**

Aluno: Sérgio Henrique Pereira da Mata

Professor Orientador: Prof. Me. Evanilton José Alves Barbosa

Co-orientador: Prof. Me. Arian Souza Guedes

Betim – MG

Dezembro, 2019

**Sérgio Henrique Pereira da Mata**

**Professor Orientador: Prof. Me Evanilton José Alves Barbosa**

**Co-orientador: Prof. Me Arian Souza Guedes**

**Avaliação da usinagem do Aço ABNT 1045 com ferramenta de metal duro  
revestida sem fluido de corte.**

Trabalho apresentado ao Instituto federal de Minas Gerais, campus Betim, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Betim – MG

Dezembro, 2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

M425a Mata, Sérgio Henrique Pereira da  
Avaliação da usinagem do Aço ABNT 1045 com  
ferramenta de metal duro revestida sem fluido de corte /  
Sérgio Henrique Pereira da Mata. – 2019.  
50 f.: il.  
Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em  
Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2019.

Orientação: prof. Evanilton José Alves Barbosa.  
Coorientação: prof. Arian Souza Guedes.

1. Usinagem. 2. Metal duro. 3. Revestimento em metal. I.  
Sérgio Henrique Pereira da Mata. II. Título.

CDU: 621.7

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Denisio P. Marcos CRB-6/3142

**Banca Examinadora**

**Prof. Me. Evanilton José Alves Barbosa**

**Orientador / IFMG Campus Betim**

**Prof. Me Arian Souza Guedes**

**Coorienador / IFMG Campus Betim**

**Prof. Dr. Andre Fonseca Félix**

**IFMG Campus Betim**

**Prof. Me. Vinícius Maia de Sá**

**IFMG Campus Betim**

Betim – MG

Dezembro, 2019

## Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida e não somente nesses anos como universitário. Em todos os momentos, é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À minha querida e amada esposa Gleice Barbosa, companheira de todas as horas, que sempre me apoiou independente das circunstâncias. E também ao meu filho, Ítalo César, que mesmo de pouca idade, teve de suportar a minha ausência em diversos momentos.

Aos meus pais e irmã, pelo amor, incentivo e apoio incondicional

Ao IFMG campus Betim, pela oportunidade de fazer o curso.

Agradeço a todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e a afetividade da educação no processo de formação profissional. Igualmente os agradeço por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre nunca fará justiça aos *professores* dedicados, aos quais, mesmo sem nomeá-los, sou eternamente grato.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação. Muito obrigado!

## Resumo

A análise do processo de usinagem é de grande importância, pois podemos avaliar vários fatores que influenciam direta ou indiretamente no desgaste e vida da ferramenta, uso e escolha de lubrificantes, determinação dos parâmetros de corte, tolerância dimensional da peça, entre outros. O presente trabalho buscou avaliar a usinagem de corpos de prova de Aço ABNT 1045, utilizando um torno Convencional Nardini 220 Gold, como ferramenta de metal duro AC820P fabricado pela Sumitomo com raio de ponta de 0,8mm, variando os parâmetros de corte e mantendo a profundidade de corte em 1mm no raio. Após a realização dos ensaios, foi coletado os cavacos de corte de cada processo, em seguida foi medido a rugosidade dos corpos de prova e captado imagens da superfície de saída da ferramenta com auxílio de um Microscópio eletrônico. A partir da análise dos resultados obtidos foi possível estabelecer relações entre os métodos abordados e o comportamento dos parâmetros de corte em função dos parâmetros utilizados.

Palavras chave: parâmetros de corte; ferramenta de corte; usinagem.

## Lista de figuras

Figura 01.....	14
Figura 02.....	19
Figura 03.....	20
Figura 04.....	21
Figura 05.....	22
Figura 06.....	27
Figura 07.....	28
Figura 08.....	29
Figura 09.....	29
Figura 10.....	30
Figura 11.....	30
Figura 12.....	31
Figura 13.....	32
Figura 14.....	33
Figura 15.....	33
Figura 16.....	34
Figura 17.....	34
Figura 18.....	35
Figura 19.....	35
Figura 20.....	36
Figura 21.....	36
Figura 22.....	37
Figura 23.....	37
Figura 24.....	42
Figura 25.....	42
Figura 26.....	43
Figura 27.....	43
Figura 28.....	44

## Lista de tabelas

Tabela 01.....	17
Tabela 02.....	18
Tabela 03.....	19
Tabela 04.....	23
Tabela 05.....	24
Tabela 06.....	25
Tabela 07.....	26
Tabela 08.....	28
Tabela 09.....	31
Tabela 10.....	32
Tabela 11.....	38



## Lista de gráficos

Gráfico 01.....	39
Gráfico 02.....	40
Gráfico 03.....	40
Gráfico 04.....	41

## Sumário

<b>1 Introdução</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Objetivos</b> .....	<b>12</b>
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
<b>3 Revisão bibliográfica</b> .....	<b>12</b>
3.1 Usinagem .....	12
3.2 Cavaco .....	13
3.3 Fundamentos do processo de torneamento .....	13
3.4 Ferramentas de corte .....	14
3.4.1 Ferramenta de metal duro .....	16
3.4.2 Classificação de ferramentas de metal duro .....	16
3.4.2.1 Ferramenta de corte com cobertura por deposição química a vapor - CVD..	17
3.4.2.2 Ferramenta de corte com cobertura por deposição física a vapor - PVD .....	18
3.5 Desgaste ferramenta de corte .....	19
3.5.1 Mecanismos de desgastes.....	22
3.6 Aço ABNT 1045.....	23
3.7 Rugosidade .....	24
3.7.1 Rugosidade média (Ra).....	26
<b>4 Materiais e métodos</b> .....	<b>27</b>
4.1 Máquinas e equipamentos .....	26
4.2 Ferramentas de corte .....	28
4.3 Suporte para ferramenta de corte .....	29
4.4 Parâmetros de corte .....	30
4.5 Corpo de prova.....	31
4.6 Rugosímetro.....	31
4.7 Microscópio Ótico .....	32
<b>5 Resultados</b> .....	<b>33</b>
<b>6 Conclusão</b> .....	<b>44</b>
<b>7 Bibliografia</b> .....	<b>46</b>

## 1 Introdução

Muitos são os materiais utilizados no universo da mecânica. Isso deve-se às várias necessidades e solicitações, como o aumento da resistência mecânica, as solicitações mecânicas, a redução de peso etc. O aço ABNT 1045 é um aço ligado ao ferro, carbono, silício e manganês muito utilizado na indústria mecânica e na fabricação de diferentes componentes mecânicos (AÇOESPECIAL,2019).

Para a fabricação de diversos componentes, bem como para a usinagem do aço ABNT 1045, muitas das vezes temos como meio de produção, a usinagem dos materiais por meio dos tornos mecânicos, com a finalidade de obtenção de formas geométricas cilíndricas, cônicas, com tolerâncias e dimensões. Para obtenção dessas formas e tolerância utilizamos ferramentas de corte, com geometria definida que interfere diretamente no acabamento superficial das peças a serem usinadas(AÇOESPECIAL,2019).

As solicitações mecânicas do processo de usinagem, principalmente na interface ferramenta-peça, ocasionam desgaste nas ferramentas, interferindo no acabamento superficial. Esses fatores causam um aumento da temperatura na superfície da peça, além da possibilidade de causar tensões residuais indesejáveis na mesma. A abrasão é o principal mecanismo de desgaste atuante na ferramenta de corte, porém temos outros mecanismos que contribuem para a degradação da mesma. Assim e de extrema importância compreender os desgastes atuantes na ferramenta de corte, para minimizar seus efeitos. (GUENZA,2008).

O desenvolvimento de ferramentas de corte de metal duro para usinagem, possibilitou a produção de peças com menor custo e tempo de fabricação. O metal duro pode ser aplicado em materiais de elevada dureza e altas velocidades de corte, devido a sua elevada resistência ao desgaste. Além de ser um material refratário, sendo aplicado na usinagem de aços em geral, onde as condições de trabalho são agressivas com levadas temperaturas e altas taxas de desgaste (OLIVEIRA, 2007).

A escolha inadequada dos parâmetros de corte pode ocasionar desgastes excessivos, quebra de ferramentas, superaquecimento, retrabalhos, desperdício de

matéria prima, aumento do tempo inativo de fabricação e conseqüentemente aumento dos custos. Os processos atuais demandam qualidade, menor tempo de fabricação e são realizados em máquinas CNC que possibilita aumento da produtividade e menor intervenção do operador. Para que isto seja possível, é necessário uma seleção correta dos parâmetros de usinagem, bem como a ferramenta de corte e uma definição boa do programa de usinagem (SANDVIK, 2019).

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho da ferramenta de corte e a rugosidade da superfície na usinagem do Aço ABNT 1045.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a influência dos parâmetros de corte no torneamento do aço ABNT 1045;
- Avaliar o desgaste da ferramenta de corte;
- Avaliar a rugosidade da superfície usinada do Aço ABNT 1045.

## **3 Revisão bibliográfica**

### **3.1 Usinagem**

A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais, e empregando dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 1985).

A evolução da máquina-ferramenta, em termos estruturais, proporcionou melhorias no processo, como, por exemplo, a precisão de movimentos obtidos e a diminuição de vibrações mecânicas com o aumento da rigidez. O processo de usinagem é complexo, envolvendo fenômenos como deformação plástica, fratura, impacto,

pontos de contato intermitentes e contínuos, desgaste, e se caracteriza pela geração de calor e elevada temperatura de corte. Em razão da complexidade do processo de corte, não é muitas vezes possível obter uma descrição matemática da dinâmica do processo, algo que pode ser superado, às vezes, pela utilização de medição indireta através de sensores. Atualmente, o auge da evolução diz respeito à usinagem a elevadas velocidades de corte, realizada em máquinas-ferramentas com os recursos de comandos numéricos. (ALMEIDA, 2010).

### 3.2 Cavaco

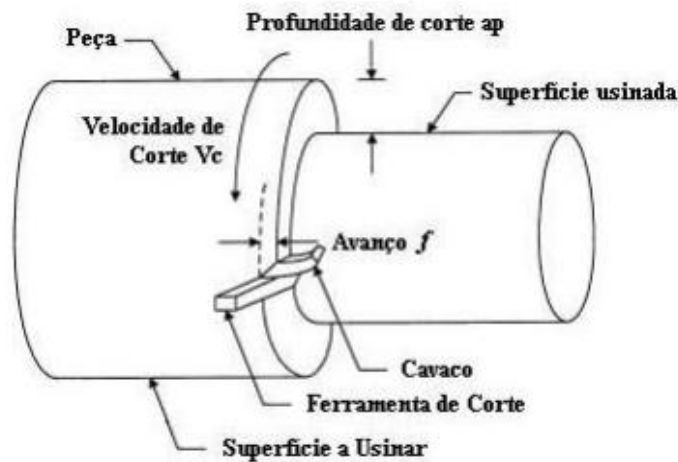
Como operações de usinagem, entendemos aquelas que conferem à peça, forma, ou dimensões e acabamento, por meio da produção de cavaco que se caracteriza como a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. (FERRARESI, 2000).

O cavaco, no processo de usinagem, é um subproduto do processo, podendo evidenciar ou causar problemas. Ou seja, a sua forma, tamanho e volume podem ser indicativos de problemas, como danos à superfície da peça e ocupando espaço excessivo, relativos tanto a qualidade do material usinado quando a ferramenta de corte (AMORIM, 2002).

### 3.3 Fundamentos do processo de torneamento.

O torneamento é a operação por intermédio da qual um sólido indefinido gira ao redor do eixo da máquina operatriz, que, por sua vez, executa o trabalho de usinagem, ao mesmo tempo em que uma ferramenta de corte lhe retira material periféricamente de modo a transformá-lo numa peça bem definida, tanto em relação à forma quanto em relação às dimensões (CHIAVERINI et al., 1986).

Figura 1: parâmetros no torneamento cilíndrico externo



Fonte: (AMORIM, 2002)

Conforme Amorim (2002), O torneamento é realizado em uma máquina na qual sua operação requer apenas três parâmetros de ajuste: velocidade de avanço ( $f$ ); velocidade de corte ( $V_c$ ); e profundidade de corte ( $a_p$ ).

- Velocidade de corte ( $V_c$ ) é a velocidade instantânea do ponto selecionado sobre o gume, no movimento de corte, em relação a peça [m/min];
- A velocidade de avanço ( $f$ ) é a velocidade de deslocamento da ferramenta em cada volta de  $360^\circ$  de uma peça (avanço em [mm/rotação]), ou por unidade de tempo (avanço em [mm/minuto]);
- Profundidade de corte ( $a_p$ ) é a profundidade de penetração da ferramenta medida perpendicularmente ao plano de trabalho.

### 3.4 Ferramentas de corte

Na usinagem, a geometria da ferramenta de corte exerce grande influência no desempenho do processo de corte. Por melhor que seja o material da ferramenta, se

a sua geometria não for preparada adequadamente, não haverá êxito na operação. Tão importante é a sua importância que se faz necessário normalizar, a seleção do ferramental de maneira a possibilitar uma especificação técnica para seleção das mesmas os profissionais e a literatura especializada (MACHADO et al., 2009).

Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2008), não existe uma classificação geral de materiais para ferramentas. No entanto, com base nas suas características químicas, eles podem ser agrupados da seguinte forma:

- Aços rápidos;
- Aços rápidos com cobertura;
- Metal duro;
- Metal duro com cobertura;
- Nitreto de boro cúbico;
- Diamante;
- Cermet ;
- Cerâmica.

Para a correta seleção da ferramenta de corte, considera-se vários fatores, entre eles: dureza; processo de usinagem; microestrutura do material a ser trabalhado; condições da máquina operatriz; formas e dimensões da própria ferramenta; condições de usinagem; e características do material da ferramenta de corte (ALMEIDA, 2010).

Com a possibilidade de corte a seco, houve um crescimento na indústria mecânica da utilização de ferramentas com revestimento. Isso deu-se em razão da proteção contra os desgastes abrasivo e adesivo, e também da redução do atrito no corte.

Esse revestimento pode ser em mono ou multicamadas, e o sucesso desse processo é resultado das propriedades mecânicas e físicas (ALMEIDA, 2010).

#### 3.4.1 Ferramenta de metal duro

Ferramentas de metal duro são materiais da metalurgia do pó, um composto de partículas de carboneto de tungstênio (WC) e um ligante rico em cobalto metálico (Co). Essas ferramentas para aplicações de usinagem de metal representam mais de 80% do carboneto de tungstênio (WC) fase dura. Carbonitreto cúbico adicional são outros componentes importantes, especialmente em classes com gradiente sinterizado. O corpo do metal duro é conformado através da prensagem do pó, ou de técnicas de molde por injeção dentro de um corpo que é então sinterizado até a densidade total (SANDVIK COROMANTE, 2019)

#### 3.4.2 Classificação de ferramentas de metal duro

A Classe P utiliza-se na usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam cavacos longos e dúcteis. São constituídos de metais duros de elevado teor de TiC+TaC, que lhes conferem uma elevada dureza a quente e resistência ao desgaste.

A Classe M é empregada na usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam tanto cavacos longos quanto curtos. É um grupo de propriedades intermediárias destinadas a ferramentas de aplicações múltiplas.

A Classe K se destina à usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam cavacos curtos e materiais não-metálicos. Esta classe foi o primeiro tipo de metal duro a ser desenvolvido, sendo composto de carbonetos de tungstênio aglomerados com cobalto (SANDVIK COROMANTE, 2019).



**Tabela 1: classificação do metal duro segundo norma ISO 503/2004**

Designação ISO	Dureza e resistência ao desgaste	Tenacidade
P 01 P 10 P 20 P 25 P 30 P 40 P 50	↑	↓
M 10 M 20 M 30 M 40	↑	↓
K 01 K 05 K 10 K 20 K 30 K 40	↑	↓

Fonte: norma ISO 503/2004

#### 3.4.2.1 Ferramenta de corte com cobertura por deposição química a vapor – CVD

CVD significa deposição química a vapor. A cobertura CVD é gerada por reações químicas em temperaturas de 700-1050 °C. Essas coberturas têm alta resistência ao desgaste e excelente adesão ao metal duro. O primeiro metal duro com cobertura CVD era de uma única camada de cobertura de carboneto de titânio (TiC). As coberturas de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e de nitreto de titânio (TiN) foram introduzidas posteriormente. Mais recentemente, as coberturas de carbonitreto de titânio (MT-Ti(C,N) ou MT-TiCN, também chamado de MT-CVD, foram desenvolvidas para melhorar as propriedades da classe devido à sua habilidade em manter a interface de metal duro intacta. As modernas coberturas CVD combinam MT-Ti(C,N), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiN. As propriedades da cobertura foram melhoradas continuamente quanto às propriedades de adesão, tenacidade e desgaste em virtude de otimizações e tratamentos posteriores micro-estruturais (SANDVIK COROMANT, 2019)

**Tabela 2: composição química e características de ferramentas de corte com cobertura física a vapor.**

<b>Composição Química</b>	<b>Características</b>
MT-Ti(C,N)	Sua dureza oferece resistência ao desgaste por abrasão, resultando na redução do desgaste de flanco.
CVD- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Quimicamente inerte e com baixa condutividade térmica, tornando-o resistente a craterização. Atuando também como uma barreira térmica para melhorar a resistência à deformação plástica.
CVD-TiN –	Melhora da tenacidade da aresta em cortes interrompidos e reduz as tendências a abrasão.

Fonte: (SANDVIK COROMANT, 2019)

#### 3.4.2.2 Ferramenta de corte com cobertura física a vapor – PVD

As coberturas por Deposição Física a Vapor (PVD) são formadas em temperaturas relativamente baixas (400-600°C). O processo envolve a evaporação de um metal que reage, por exemplo, com nitrogênio, para formar uma cobertura de nitreto dura na superfície da ferramenta de corte. As coberturas PVD agregam resistência ao desgaste a uma classe devido à sua dureza. As tensões de compressão das coberturas também agregam tenacidade à aresta, e resistência contra trincas térmicas. Os principais constituintes da cobertura PVD estão descritos abaixo. As modernas coberturas são combinações destes componentes em camadas sequenciais e/ou em coberturas laminadas. As coberturas laminadas possuem várias camadas finas, na faixa de nanômetro, que tornam a cobertura ainda mais dura (SANDVIK COROMANT, 2019).

**Tabela 3: composição química e características de ferramentas de corte com cobertura física a vapor.**

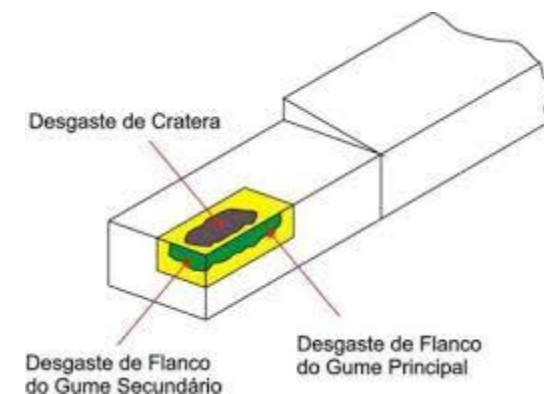
<b>Composição Química</b>	<b>Características</b>
PVD-TiN-	A primeira cobertura PVD era nitreto de titânio. Ele possui propriedades de uso geral e uma cor dourada.
PVD – Ti(C,N)	O carbonitreto de titânio é mais duro do que TiN, e agrega resistência ao desgaste de flanco.
PVD – (Ti, Al)N	O nitreto de titânio alumínio possui maior dureza em combinações com resistência à oxidação, melhorando a resistência geral ao desgaste.
Oxido PVD	Usado por sua inerência química e resistência aprimorada a craterização.

Fonte: (SANDVIK COROMANT, 2019)

### 3.5 Desgaste de ferramentas de corte

Segundo Braga (2017), no uso da ferramenta de corte no processo de usinagem, a ponta da ferramenta pode sofrer desgastes de diversos tipos.

**Figura 2: Desgastes típicos em ferramentas de corte**



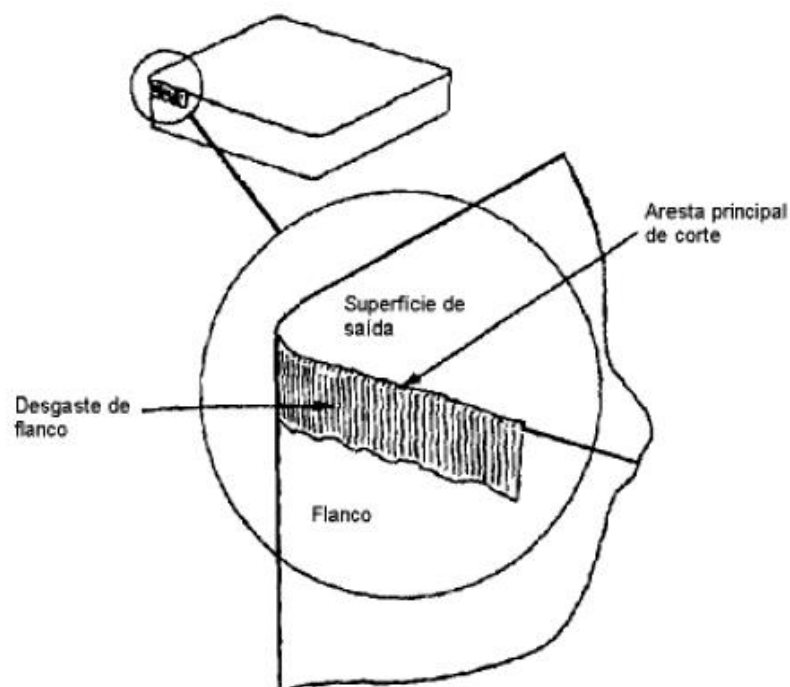
Fonte: (CHAVES; CASARIN; KIECKOW, 2014)

Segundo Braga (2017), no geral, os desgastes gerados nas ferramentas são atribuídos a fenômenos complexos, nos quais uma combinação de efeitos dos mecanismos de desgaste depende de alguns fatores. Tais fatores incluem:

- Tipo do material da ferramenta, bem como a geometria da mesma;
- Tipo do material que será usinado, levando em consideração sua dureza e usinabilidade;
- As condições de corte utilizadas, como a velocidade de corte, avanço e profundidade.

A ferramenta de corte possui algumas regiões em que o desgaste ocorre com mais frequência, são elas as superfícies de folga e de saída. Nelas podem ocorrer os desgastes de flanco, cratera e entalhe, sendo o primeiro o mais importante no desempenho e utilidade da ferramenta (SOUTO, 2007).

**Figura 3– Desgaste de flanco da ferramenta de corte.**



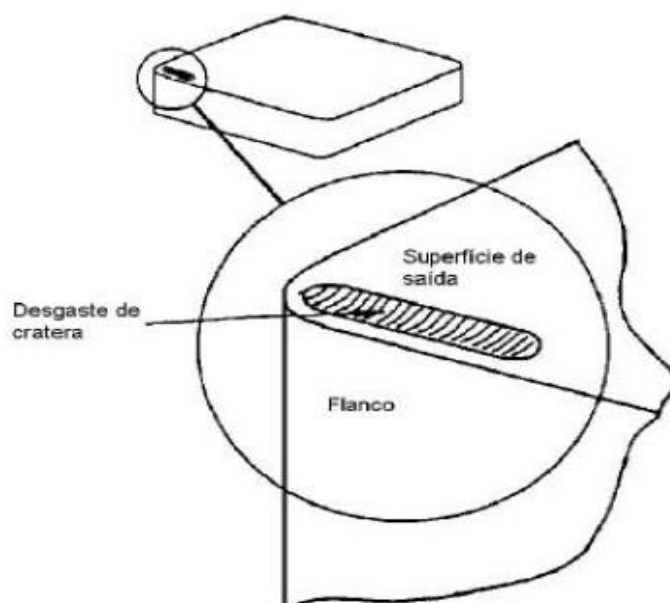
Fonte: AMORIM, 2002.

O desgaste de flanco ocorre quando o ângulo de folga diminui, assim aumentando a área de união entre as superfícies da ferramenta de corte e da peça, o que faz aumentar o atrito entre essas superfícies e acarretando em elevadas temperatura e tensão (SOUTO, 2007).

Para saber se a ferramenta de corte ainda é utilizável, o desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) deve ser no máximo de 0,3 mm e o desgaste de flanco máximo ( $VB_{Bmáx}$ ) deve ser de no máximo 0,6 mm. Quando algum desses critérios é atingido pela ferramenta de corte, deve-se reafiá-la ou substituí-la (ISO 3685, 1993).

Já o desgaste de cratera ocorre na superfície de saída, onde se localiza, durante o corte, a região de deslizamento do cavaco. Este tipo de desgaste resulta de uma combinação entre os mecanismos de desgaste por abrasão por difusão, devido as altas temperaturas geradas, em altas velocidades de corte, o que favorece o mecanismo de desgaste por difusão. A resistência a abrasão é reduzida causada pela difusão, assim favorecendo o desgaste abrasivo, sendo então a forma da cratera resultante da distribuição de tensões na superfície da ferramenta. O desgaste assume então a forma de uma cratera, paralela a aresta de corte, alongada com as extremidades arredondadas.

**Figura 4: Desgaste de cratera**



Fonte: AMORIM, 2002

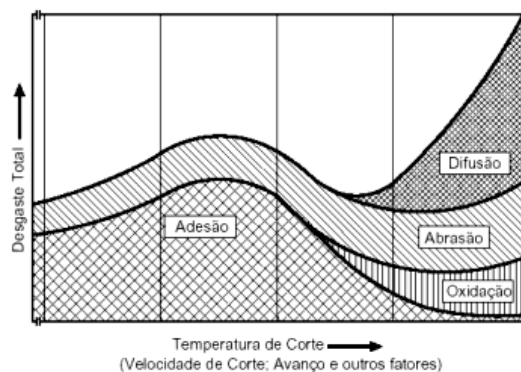
### 3.5.1 Mecanismos de desgaste

O desgaste da ferramenta de corte influencia no desempenho da mesma. Este desgaste é caracterizado pela perda de material, degradação e ocorre gradativamente (SOUTO, 2007).

De acordo com Trent e Wright (2000) apud Souto (2007), os mecanismos de desgaste da ferramenta existentes são: cisalhamento plástico a altas temperaturas, deformação sob tensões de compressão, desgaste por difusão, desgaste por aderência e arrastamento, desgaste abrasivo e desgaste de entalhe. Uma maneira para se aumentar a vida útil da ferramenta e conseqüentemente o seu desempenho, é determinar o mecanismo de desgaste atuante nela e evitá-lo ou então interrompê-lo caso este já ocorra (AMORIM, 2002).

Os principais mecanismos de desgaste que atuam nas ferramentas de corte são a abrasão, difusão, adesão e oxidação, que são influenciados pela temperatura e velocidade de corte. Nela é possível perceber que em baixas temperaturas de corte só existem os mecanismos de adesão e abrasão e que em altas temperaturas, a adesão deixa de existir e surgem a difusão e oxidação, com predominância da difusão (ROHLOFF, 2012).

**Figura 5 – Influência da temperatura e velocidade dos principais mecanismos de desgaste.**



Fonte: KÖNIG e KLOCKE (1997) apud ROHLOFF (2012).

A abrasão é um dos mecanismos de desgaste mais frequente, em que partículas duras estão presentes entre as superfícies e com a elevada temperatura a dureza da ferramenta é diminuída. É o principal causador do desgaste de flanco da ferramenta e para evitá-lo é necessária uma ferramenta com elevada dureza a quente. A adesão é um mecanismo em que ocorre a APC (aresta postiça de corte) devido a ação de forças elevadas ou pela interação do cavaco com a ferramenta. Desta forma, cada vez menos a ferramenta toca na peça para realizar o corte e adquire aparência áspera. A difusão ocorre quando os átomos de um material se transportam para outro material e essa transferência é acentuada pela temperatura, pela solubilidade de cada elemento no material e pelo tempo de contato entre o cavaco e a ferramenta. Por último, tem-se a oxidação, que nada mais é que a formação de óxidos na superfície da ferramenta de corte devido a alta temperatura aliada a presença de umidade no ambiente e a ferramenta sempre estará sujeita a este tipo de mecanismo de desgaste (ROHLOFF, 2012).

### 3.6 Aço ABNT 1045

O aço **ABNT 1045** é um aço para beneficiamento com temperabilidade baixa, ou seja, baixa penetração de dureza na seção transversal, não sendo recomendado seu uso para seções superiores a 60 mm. Possui uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura. É utilizado em geral com durezas de 180 a 300 HB. Para grandes seções, é necessário utilizar o tratamento térmico de normalização (GGDMETALS, 2019).

**TABELA 4: composição química do Aço ABNT 1045**

<b>Elemento</b>	Mn	C	S	P	Fe
<b>Concentração (%)</b>	0,6	0,42	0,05	0,04	O que sobra
	a	A			
	0,9	0,50			

Fonte: (GELSON LUZ, 2019)

As propriedades do aço 1045, como em qualquer outro aço, variam de acordo com o tratamento térmico que ele possui. A normalização ajuda a reduzir as tensões internas induzidas por operações, tais como forjamento, fundição, corte a fogo com maçarico (oxicorte) usinagem ou solda em aços de baixo teor de carbono (normalmente abaixo de 0,50%). A normalização também melhora a homogeneidade microestrutural e a resposta ao tratamento térmico (por exemplo, recozimento ou têmpera), e aumenta a estabilidade dimensional por transmitir a "memória térmica" para processos posteriores em mais baixas temperaturas. Ou seja, mesmo existindo deformações, elas serão menores em tratamentos subsequentes. Peças que requerem resistência máxima e aquelas submetidas ao impacto, muitas vezes são normalizadas. Quando grandes seções transversais são normalizadas, também são revenidas para reduzir ainda mais a tensão e controlar mais estreitamente as propriedades mecânicas, principalmente em aços com altos teores de carbono e outros elementos de liga, uma vez que o resfriamento ao ar pode gerar uma transformação martensítica, aumentando de forma acentuada a resistência mecânica do material, porém reduzindo a sua tenacidade. Por isso, é importante que, em tais casos, o revenimento seja realizado. No aço ABNT1045, a normalização induz o grão bem fino, o que melhora as propriedades mencionadas e, sobretudo, como já apontado, a usinabilidade (AÇOESPECIAL, 2019).

**Tabela 5: propriedades mecânicas do Aço ABNT 1045**

Peso específico	7.87 g/cm <sup>3</sup>
Limite de escoamento	450 Mpa
Resistência à tração	585 Mpa
Modulo de elasticidade	210GPa

Fonte: (GELSON LUZ, 2019)

### 3.7 Rugosidade

A importância do estudo do acabamento superficial é bastante significativa, uma vez que a boa qualidade superficial é exigida em peças nas quais houver atrito, desgaste, corrosão, resistência à fadiga, entre outros fatores (SOUZA, 2017).



No processo de torneamento, a ferramenta de corte provoca na superfície de trabalho sulcos, que podem causar problemas se a peça for de alta precisão de ajuste. Tais problemas podem ser, de acordo com Lira (2015):

- Qualidade de deslizamento;
- Resistência ao desgaste;
- Possibilidade de ajuste do acoplamento forçado;
- Resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes;
- Qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras;
- Resistência à corrosão e à fadiga;
- Vedação;
- Aparência.

Ainda segundo Lira, o valor dos sulcos ou marcas deve ser conhecido para decidir se a peça está adequada ou não, a depender da aplicação da mesma. A rugosidade é o conjunto de desvios padrões microgeométricos, representados pelas saliências presentes na superfície. O instrumento mais utilizado para medir a rugosidade é o rugosímetro.

A rugosidade ( $R_a$ ) pode ser indicada pelo número de classe de rugosidade, segundo a NBR 8404/84, e conforme consta na tabela abaixo.

**Tabela 6: classes de rugosidade**

Classe de rugosidade	Desvio médio aritmético ( $R_a$ ) $\mu\text{m}$
N 12	50
N 11	25
N 10	12,5
N 9	6,3
N 8	3,2
N 7	1,6
N 6	0,8
N 5	0,4
N 4	0,2
N 3	0,1
N 2	0,05
N 1	0,025

Fonte: NBR 8404/1984

Portanto, medir e caracterizar o acabamento das superfícies torna-se o diferencial no processo de usinagem. As indústrias vêm dando grande importância ao acabamento superficial e precisão dimensional das peças usinadas. (REDDY e RAO, 2005).

**Tabela 7: Grupos de rugosidade conforme processo de fabricação**

Grupos de rugosidades	▽			▽▽			▽▽▽			▽▽▽▽		
Rugosidade máxima valores em Ra(μm)	50			6,3			0,8			0,1		
Classes de rugosidade (GRADE)	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
Rugosidade máxima valores em Ra(μm)	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Informações sobre os resultados de usinagem												
Serrar	[Barra com hachuras para N12-N10]											
Limar	[Barra com hachuras para N10-N7]											
Plainar	[Barra com hachuras para N10-N7]											
Tornear	[Barra com hachuras para N10-N4]											
Furar	[Barra com hachuras para N10-N7]											
Rebaixar	[Barra com hachuras para N9-N7]											
Alargar	[Barra com hachuras para N9-N4]											
Fresar	[Barra com hachuras para N10-N4]											
Brochar	[Barra com hachuras para N9-N7]											
Raspar	[Barra com hachuras para N8-N5]											
Retificar (frontal)	[Barra com hachuras para N9-N4]											
Retificar (lateral)	[Barra com hachuras para N9-N2]											
Alisar	[Barra com hachuras para N9-N4]											
Superfinish	[Barra com hachuras para N4-N1]											
Lapidar	[Barra com hachuras para N3-N1]											
Polir	[Barra com hachuras para N3-N1]											

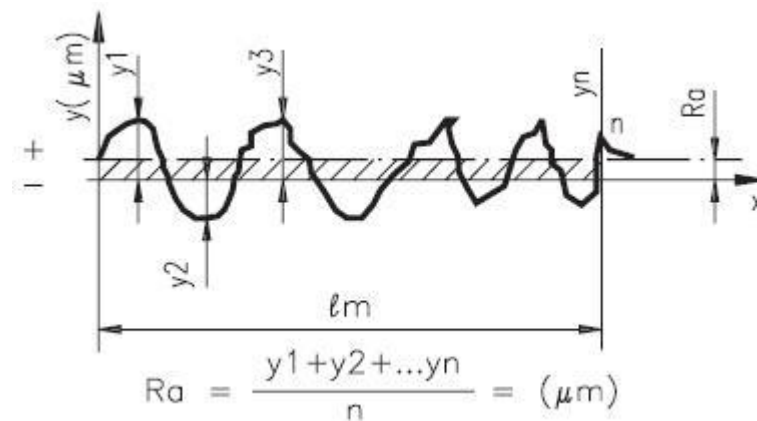
[Barra branca] Faixa para um desbaste superior  
 [Barra com hachuras] Rugosidade realizável com usinagem comum  
 [Barra com hachuras diagonais] Rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais

Fonte: NBR 8404/84

### 3.7.1 Rugosidade média (Ra)

Por ser fornecida pela maioria dos rugosímetros, por ter um dos conceitos mais antigos em uso e facilidade de obtenção e cálculo, a rugosidade média (Ra) é a mais utilizada. Caracteriza-se pela distância média de um perfil desde a sua linha média sobre um comprimento médio (Lm) (LIRA, 2015).

**Figura 6: Representação das amplitudes para cálculo de Ra.**



Fonte: TELECURSO 2000

Lm: é comprimento de amostragem

Y1, ... Yn: são picos e vales no comprimento de usinagem

Ra é utilizado em controle contínuo de produção e quando os sulcos do processo de usinagem tem orientação bem definida. Muito utilizado também em acabamentos com fins estéticos. Quando temos picos e vales atípicos, o valor de Ra não será alterado significativamente pelo fato de ser uma média, caracterizando, assim, uma desvantagem em relação a outros parâmetros (LIRA,2015).

## 4 Materiais e métodos

### 4.1 Máquinas e equipamentos

O ensaio foi realizado no Laboratório de Usinagem do IFMG (Campus Betim), utilizando o torno mecânico *Nardini Nodus 220 Gold*.

**Tabela 8: Especificações torno *Nardini Nodus 220 Gold***

Altura de Pontas:	220mm
Distância entre pontas	750
Rotação	18 velocidades, de 30 a 2360rpm
Diâmetro do furo de árvore	52
Potência do motor principal	7,5Hp

Fonte: Nardini

**Figura 7: Torno mecânico *Nardini Nodus 220 Gold*.**



Fonte: autor

#### 4.2 Ferramenta de corte

A ferramenta de corte utilizada no processo de usinagem por torneamento foi a AC820P, CNMG120408N-GU, formato do inserto losango de 80°, ângulo de alívio de 0°, comprimento da aresta de corte de 12,9 mm, com direção de avanço neutra, raio de ponta de 0,8 mm, fabricada de metal duro pela Sumitomo Electric com revestimento CVD.

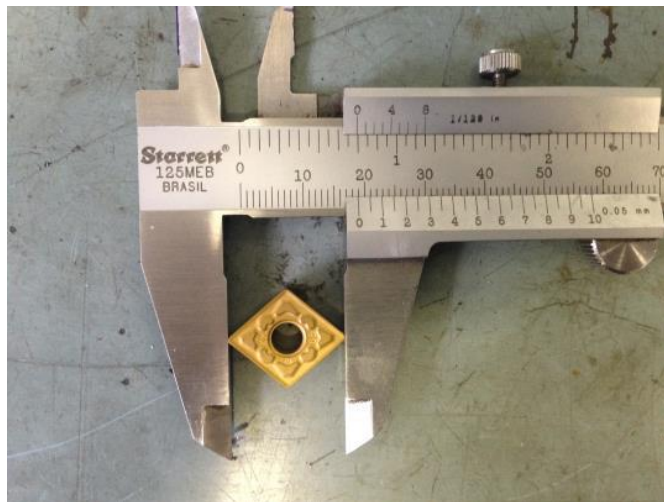
**Figura 8: Seleção parâmetros de corte**

**P** Aço **Condições de Corte Recomendadas** (O texto em vermelho indica a 1ª recomendação.)

Material de Trabalho	Processo	Quebra-cavaco	Classe	Condições de Corte		
				Profundidade de Corte $a_p$ (mm)	Taxa de Avanço $f$ (mm/rot)	Velocidade de Corte $V_c$ (m/min)
Aço Mole	Acabamento Fino	FL	T1500Z	0,2-0,6-1,0	0,05-0,15-0,25	100-250-400
	Acabamento Médio	LU	AC810P	0,5-1,0-1,5	0,1-0,25-0,4	260-340-420
		<b>GU</b>	<b>AC820P</b>	1,0-2,5-4,0	0,2-0,35-0,5	200-260-320
		MU	AC830P	2,0-4,0-6,0	0,3-0,45-0,6	140-180-220
Aço com Médio Teor de Carbono	Acabamento Fino	FL	T1500Z	0,2-0,6-1,0	0,05-0,15-0,25	100-200-300
	Acabamento Médio	LU	AC810P	0,5-1,0-1,5	0,1-0,25-0,4	210-275-340
		<b>GU</b>	<b>AC820P</b>	1,0-2,5-4,0	0,2-0,35-0,5	150-190-230
		MU	AC830P	2,0-4,0-6,0	0,3-0,45-0,6	110-135-160
Aço com Alto Teor de Carbono	Acabamento Fino	FL	T1500Z	0,2-0,6-1,0	0,05-0,15-0,25	50-150-250
	Acabamento Médio	LU	AC810P	0,5-1,0-1,5	0,1-0,25-0,4	170-225-280
		<b>GU</b>	<b>AC820P</b>	1,0-2,5-4,0	0,2-0,35-0,5	130-165-200
		MU	AC830P	2,0-4,0-6,0	0,3-0,45-0,6	90-120-150

Fonte: Sumitomo

**Figura 9: ferramenta de corte AC820P.**

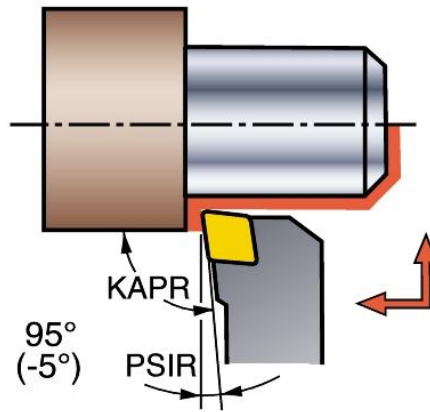


Fonte: autor

### 4.3 Suporte para ferramenta de corte

O suporte intercambiável utilizado para a pastilha de corte AC820P para o ensaio, foi o da Sandvik, PCLNR2020K12, conforme montagem abaixo.

**Figura 10: Ângulo principal de corte**



Fonte: Sandvik

**Figura 11: Suporte intercambiável**



Fonte: Autor

#### 4.4 Parâmetros de usinagem

Para o processo de torneamento do Aço ABNT 1045, sem fluido de corte, o mesmo foi realizado nas condições representadas na tabela abaixo:

**Tabela 9: Parâmetros de corte para torneamento.**

Lote	1º	2º	3º	4º
Velocidade de corte (m/mim)	113	113	140	140
Avanço (mm/rot)	0,15	0,29	0,15	0,29
Profundidade de Corte (mm)	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: autor

#### 4.5 Corpo de prova

Foram utilizados corpos de prova de Aço ABNT 1045, cujas dimensões iniciais serão:

- Diâmetro 38mm;
- Comprimento 100mm;
- Comprimento usinado de 70 mm;
- 10 passos de 1mm

Os mesmos foram divididos em 4 lotes contendo 5 corpos de prova cada. E fixados na castanha com 30mm do seu corpo.

**Figura 12: corpo de prova**



Fonte: autor

#### 4.6 Rugosímetro

O rugosímetro utilizado foi o *Mitutoyo Surftest SJ210*, três parâmetros de medição Ra, Rt e Rz para medições externas de peças planas e cilíndricas, com capacidade de medição de 0,05 a 10 micrometros e deslocamento de ponta de 6mm. Em cada

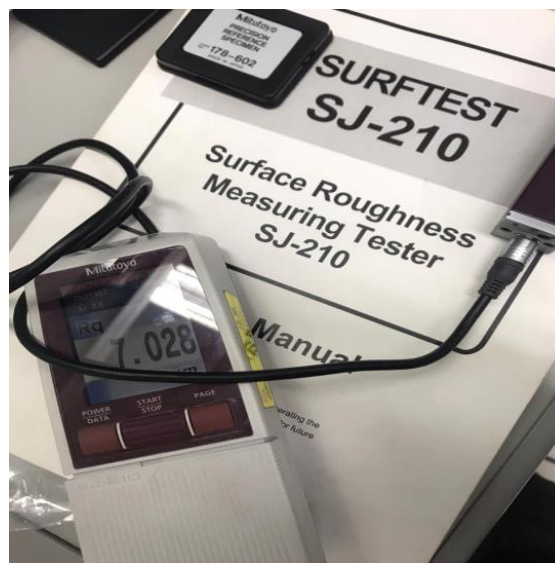
lote foi selecionado o primeiro corpo de prova, o intermediário e a última amostra usinada, para a medição da rugosidade [Ra], com um cut off de 2,5mm conforme tabela abaixo.

**Tabela 10: Determinação de cut off**

TABELA DE COMPRIMENTO DA AMOSTRAGEM (CUT OFF)	
RUGOSIDADE RA (mm)	MÍNIMO COMPRIMENTO DE AMOSTRAGEM L (CUTOFF) (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,80
Maior que 2,0 até 10,0	2,50
Maior que 10,0	8,00

Fonte: NBR 8404/84

**Figura 13: Rugosímetro Surftest**



Fonte: Autor

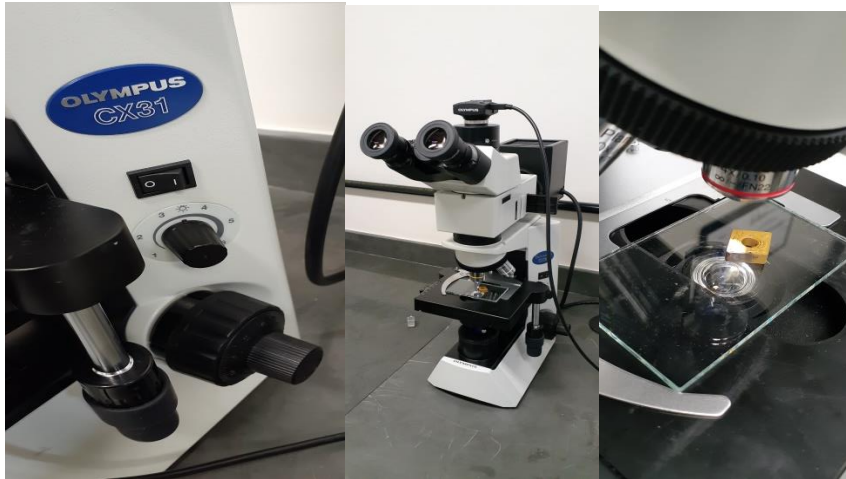
#### 4.7 Microscópio Ótico

As análises da morfologia da superfície de saída das ferramentas foram obtidas através de imagens geradas em um microscópio eletrônico, marca Olympus, modelo CX31, do Laboratório de Usinagem e Automação da Escola de Engenharia da



UFMG. Através dessa técnica de caracterização, pôde-se obter as imagens ampliadas do tipo de desgaste ocorrido na superfície das ferramentas e determinar os melhores parâmetros de corte.

**Figura 14: Microscópio CX 31 Olympus**

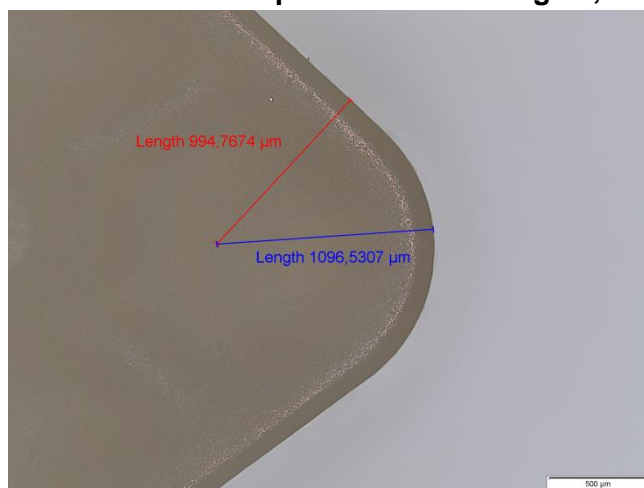


Fonte: Autor

## 5 Resultados

Primeiramente, foram analisadas as medidas do raio de corte da ferramenta AC820P, sem que a mesma tenha sido submetida ao ensaio de usinagem do aço ABNT 1045, apresentando 1,096 mm e 0,99 mm resultando em um raio médio de 1,04mm.

**Figura 15: Análise da medida do raio de ponta da ferramenta de corte metal duro AC820P, sem ser submetida a processo de usinagem, aumento de 4X**



Fonte: autor

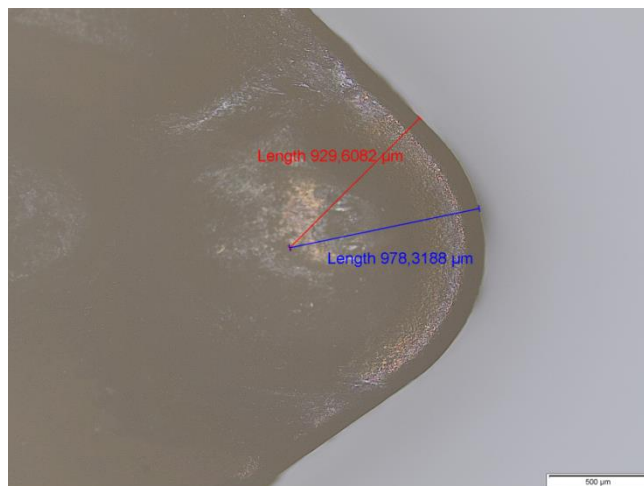
Observou-se que no primeiro lote, utilizando velocidade de corte de 113m/mim, avanço de 0,15 mm/rev e profundidade de corte de 1 mm, foi apresentado desgaste de cratera na superfície de saída do cavaco, conforme figura registrada no microscópio utilizando imagem com aumento de 4X.

**Figura 16: análise morfológica da superfície de saída 1º lote, aumento 10x**



Fonte: autor

**Figura 17: análise do Raio de ponta da ferramenta de corte 1º lote, aumento de 4x**

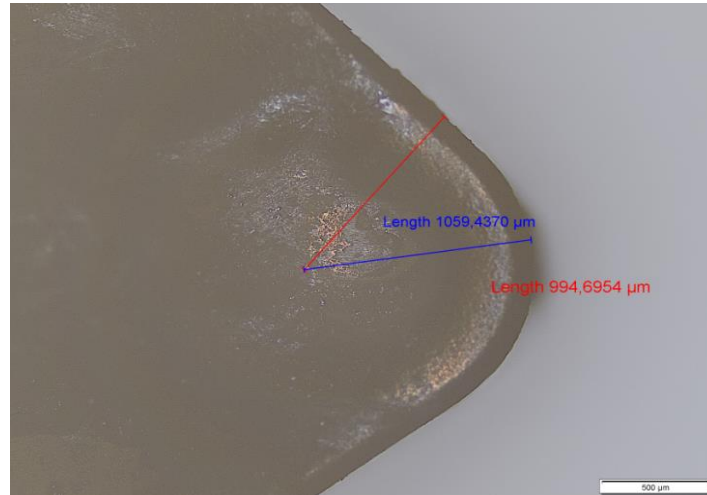


Fonte: autor

No segundo lote, utilizando a mesma velocidade de corte do primeiro lote e alterando apenas o avanço para 0,3 mm/ rev, observou-se também um desgaste de cratera em sua superfície, e não foi caracterizada uma modificação do raio de ponta da ferramenta, conforme figuras abaixo. No primeiro lote, mediu-se um raio de ponta da ferramenta de 0,978 mm; já no segundo lote, de 1,059 micrometros, não

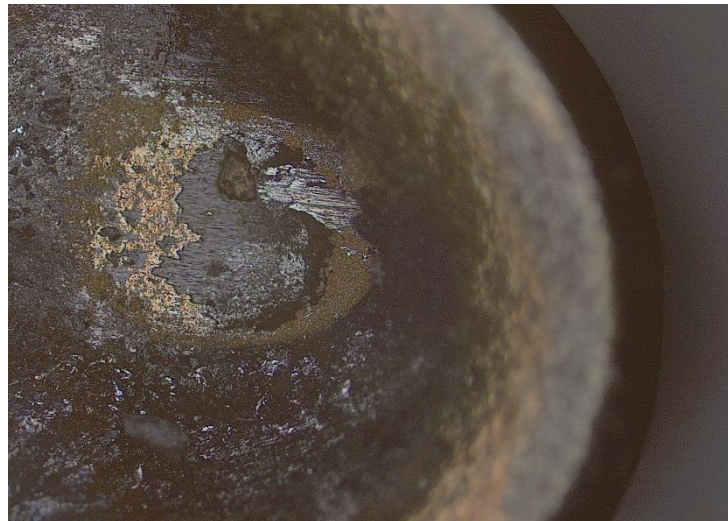
evidenciando uma modificação ou desgaste das mesmas. Observou-se um desgaste superficial na ferramenta de corte utilizada no segundo lote, conforme demonstrado nas imagens a seguir.

**Figura 18: Análise da ponta da ferramenta de corte 2º lote, aumento de 4x.**



Fonte: autor

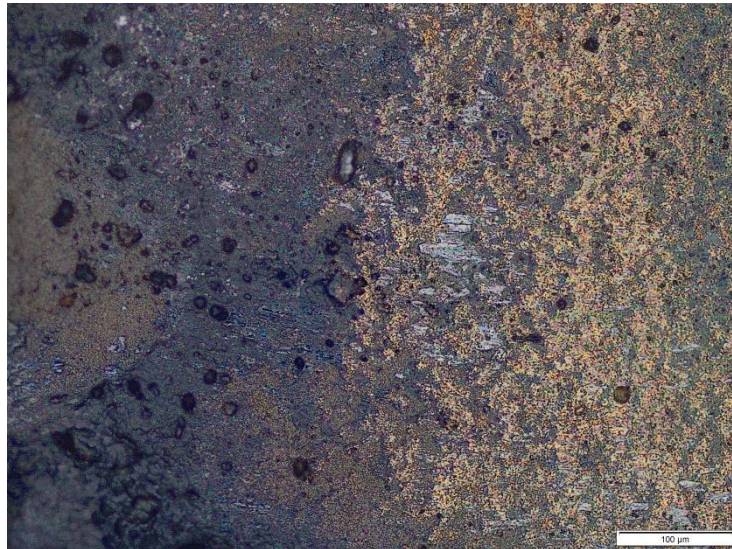
**Figura 19: análise superfície de saída do cavaco 2º lote, aumento 10x**



Fonte: autor

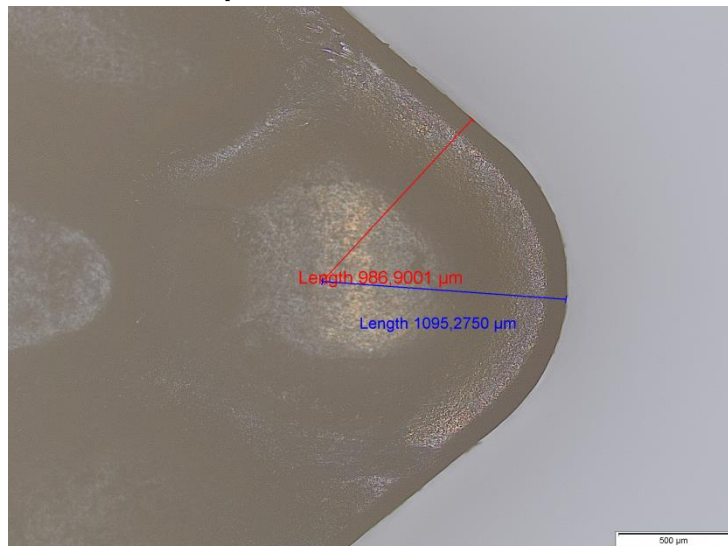
No terceiro lote, no qual utilizou-se velocidade de corte de 140 m/mim, avanço de 0,15 mm/rev e profundidade de corte de 1mm, foi possível observar desgaste em pequenos pontos localizados ao longo da superfície de saída do cavaco. Apresentou-se um raio de ponta de 0,986 mm conforme imagens registradas abaixo.

**Figura 20: análise de desgaste da superfície de saída 3º lote, aumento de 20x**



Fonte: autor

**Figura 21: análise da ponta da ferramenta 3º lote, aumento de 4x**



Fonte: autor

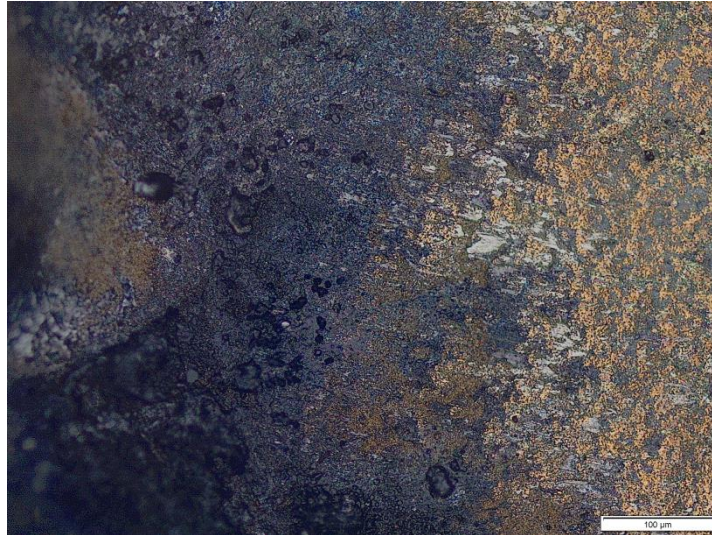
Já no quarto lote, modificando apenas o avanço de trabalho para 0,29 mm/rev, em relação ao terceiro lote, observou-se também pequenos desgastes superficiais localizados ao longo da superfície de saída do cavaco, apresentando um raio de ponta da ferramenta de 0,985 micrometros, conforme imagens abaixo.

Comparando os valores coletados das medidas dos raios, de corte e das quatro ferramentas entre si, não foi verificada uma variação relevante entre as mesmas. Comparando com uma ferramenta de metal duro na qual não foi realizado o ensaio,



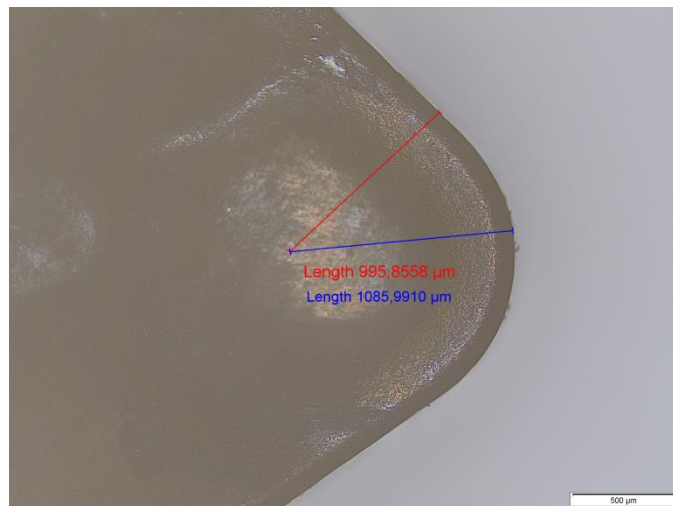
nenhum dos lotes apresentou uma variação discrepante ou que confirme um desgaste das mesmas.

**Figura 22: análise superficial da ferramenta de corte metal duro utilizada 4º lote, aumento de 20X**



Fonte: autor

**Figura 23: Análise da medida do raio de ponta da ferramenta de corte 4º lote, aumento 4X**



Fonte: autor

A rugosidade média é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de amostragem. Os resultados da rugosidade se encontram na tabela abaixo

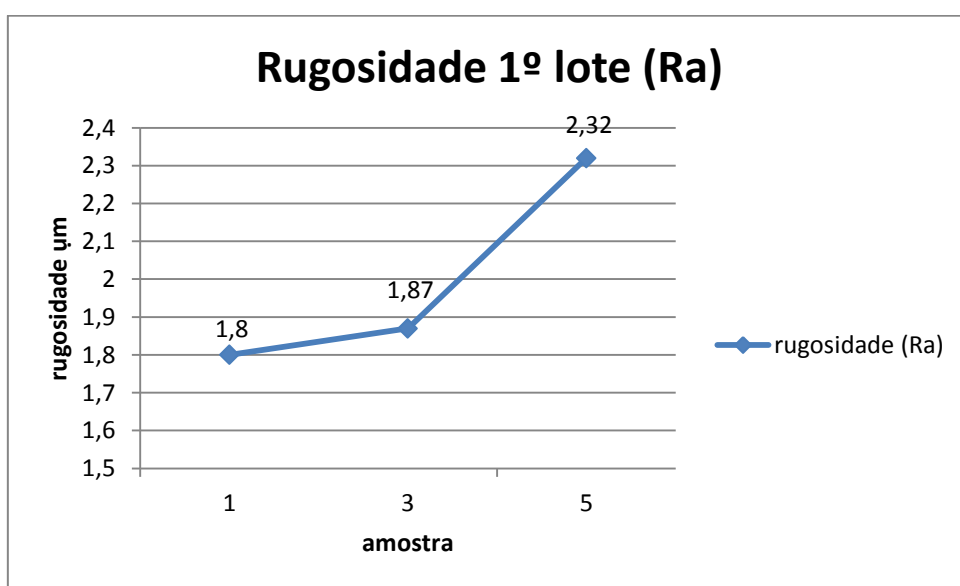
**Tabela 11: Valores medidos de rugosidade em Ra (um)**

Lote	Amostra	Valor Medido (Ra)	Média (Ra)	Desvio padrão
1º lote	1	1,837	1,803	0,05
		1,834		
		1,729		
	3	1,685	1,875	0,20
		2,157		
		1,783		
	5	2,2	2,321	0,08
		2,4		
		2,365		
2º lote	6	2,396	2,380	0,01
		2,36		
		2,385		
	8	2,8	2,967	0,17
		2,892		
		3,21		
	10	3,216	3,058	0,11
		2,95		
		3,01		
3º lote	11	5,653	5,704	0,32
		6,12		
		5,34		
	13	5,977	5,856	0,39
		5,323		
		6,27		
	15	5,903	6,123	0,16
		6,24		
		6,254		
4º lote	16	5,74	5,673	0,19
		5,41		
		5,87		
	18	6,24	5,856	0,28
		5,75		
		5,58		
	20	6,68	6,246	0,31
		6,12		
		5,94		

Fonte: Autor

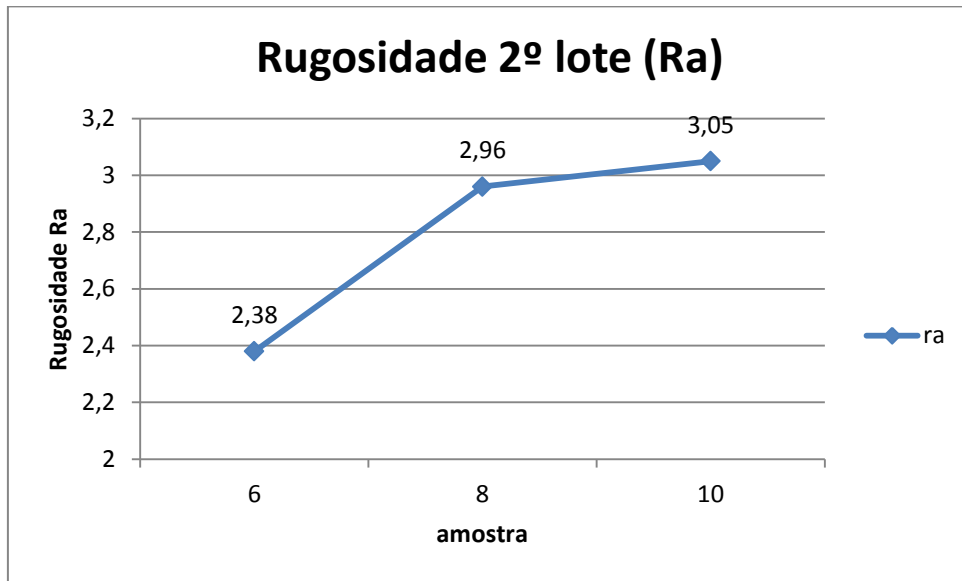
O primeiro lote foi usinado com velocidade de corte 113m/mim, avanço de 0,15 mm/rev e profundidade de corte de 1 mm, observando que nas amostras selecionadas, identificadas com os números 1, 3 e 5 para análise da rugosidade, foram registrados os valores de 1,80, 1,87 e 2,32 Ra respectivamente. Sendo assim, uma tendência de aumento da rugosidade, conforme norma 8404/84 que classifica as rugosidades, as mesmas ficaram compreendidas entre as classes N7 e N9, o que classifica o processo como uma superfície alisada.

**Gráfico 1: Rugosidade das amostras 1, 3 e 5 referente ao primeiro lote.**



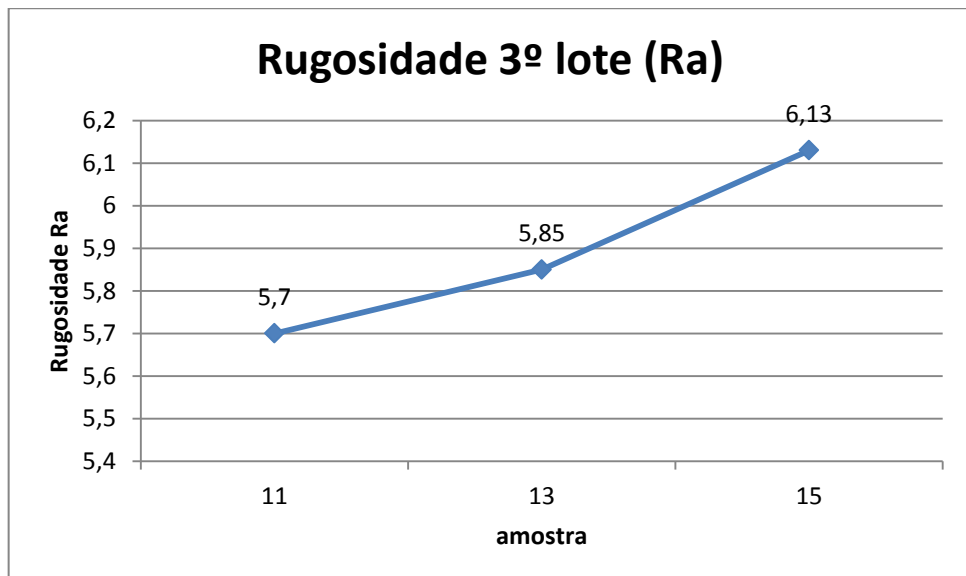
No segundo lote, utilizando uma ferramenta de metal duro nova, sem que a mesma tenha passado por qualquer processo, variando o avanço para 0,29 mm/rev, a velocidade de corte de 113m/mim, mantendo profundidade de corte, rotação de trabalho e com a rugosidade dos corpos de prova de 6, 8 e 10, mediu-se as rugosidades com os seguintes valores médios respectivos: 2,38 Ra, 2,96Ra e 3,05Ra, conforme gráfico abaixo. Observe-se que as mesmas ficaram compreendidas entre as classes de rugosidade N7 e N8; verificou-se também aumento da rugosidade em relação ao processo anterior.

**Gráfico 2: Rugosidade das amostras 6, 8 e 10 referente ao segundo lote.**



No terceiro lote, utilizando velocidade de corte de 140 m/mim, avanço de 0,15 mm/ver e 1mm de profundidade e realizando o ensaio nos corpos de prova 11, 13 e 15, registrou-se os valores de rugosidade Ra médio de respectivamente: 5,7 Ra, 5,85 Ra e 6,13 Ra.

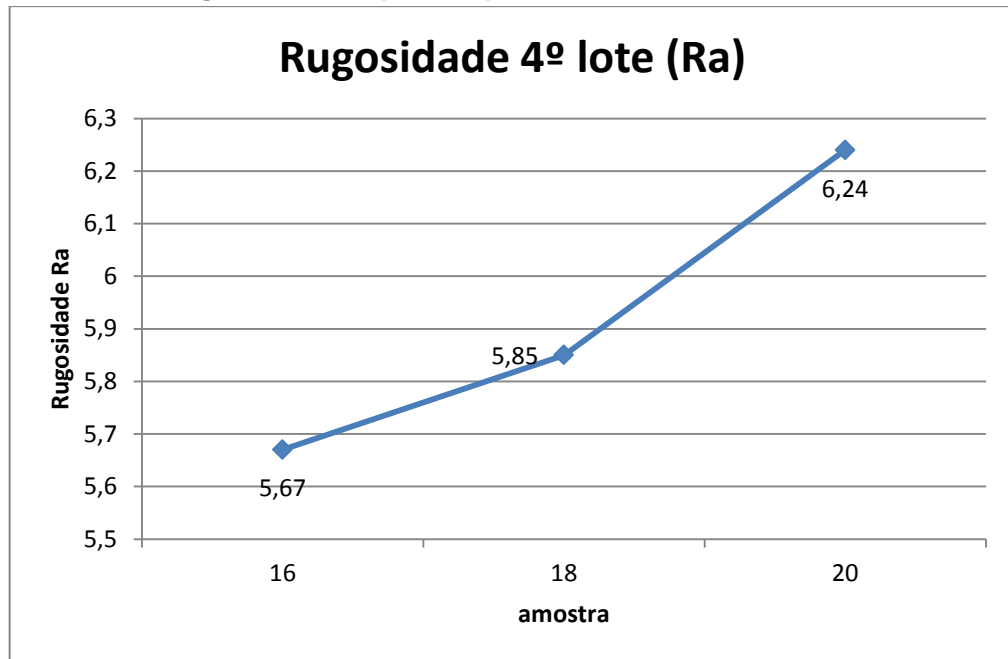
**Gráfico 3: Rugosidade das amostras 11, 13 e 15, referentes ao 3º lote**





No quarto lote, com profundidade de corte de 1 mm, avanço de 0,29 mm/rev, velocidade de corte de 140m/mim e realizando ensaio nos corpos de prova identificados 16, 18 e 20, mediu-se os respectivos valores: 5,67, 5,85 e 6,24Ra.

**Gráfico 4: Rugosidade corpos de prova 16, 18 e 20, referentes ao 4º lote**



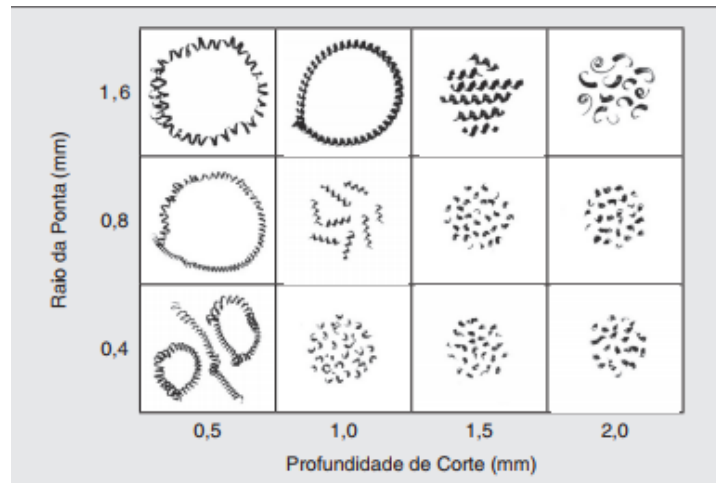
Comparando o primeiro lote ao segundo, no qual modificou-se apenas o avanço, foram mantidos os outros parâmetros de corte e utilizou-se velocidade de corte de 113 m/mim, foi possível observar que o segundo lote obteve valores maiores de rugosidade. Devido ao menor avanço de corte do primeiro lote.

Já na comparação do terceiro lote ao quarto, no qual utilizou-se velocidade de corte de 140 m/mim, houve um aumento da rugosidade do quarto em relação ao terceiro lote, mas não de maneira acentuada, como verificado na comparação entre os dois primeiros lotes.

Comparando o primeiro lote ao terceiro, no qual modificou-se apenas a velocidade de corte - sendo que no primeiro foi utilizada velocidade de corte de 113 m/mim, e no terceiro de 140 m/mim, observou-se um aumento na rugosidade de aproximadamente 3 vezes maior. Devido a maior vibração da máquina ferramenta.

Comparando o segundo lote - no qual utilizou-se avanço de 0,29 mm/rev - ao quarto - no qual alterou-se a velocidade de corte de 113m/mim para 140 m/mim -, foi possível observar um aumento de quase 3 vezes na rugosidade medida.

**Figura 24: tipo de cavaco apresentado em relação raio da pontada ferramenta e profundidade de corte conforme fabricante Sumitomo**



Fonte: Sumitomo

No primeiro lote, após a usinagem das 5 amostras - foram coletados os cavacos de usinagem e registrados através de imagem. Como resultado, houve cavacos espirais em sua maior parte, conforme foto abaixo.

**Figura 25: cavaco de usinagem do 1º lote**



Fonte: autor

O segundo lote, no qual manteve-se a profundidade de corte, alterado apenas o avanço para 0,297 mm/rev e velocidade de corte de 113 m/mim, apresentou cavaco espiral longo e uma pequena parcela fragmentada.

**Figura 26: cavaco de corte 2º lote**



Fonte: autor

O terceiro lote, após a usinagem de 5 corpos de prova, apresentou em sua maior parcela um cavaco fragmentado, conforme se observa na imagem a seguir.

**Figura 27: cavaco de corte 3º lote**



Fonte: autor

O quarto lote, apresentou em sua maior parte um cavaco fragmentado, conforme se observa na imagem a seguir.

**Figura 28: cavaco de corte 4º lote**



Fonte: autor

Avaliando o tempo de usinagem, o tempo de corte no primeiro lote para usinagem de um corpo de prova foi de 0,5 minutos por passe e 5 minutos para usinagem total de uma amostra, acabamento médio de 2,00 Ra.

Já no segundo lote, para usinagem de de um corpo de prova foi de 0,25 minutos por passe e 2,5 minutos para usinagem total da amostra, e uma rugosidade media de 2,8 Ra.

No terceiro lote, apresentou 0,4 minutos por passe e 4 minutos para usinagem total de uma amostra, e acabamento médio de 5,89Ra.

No quarto e ultimo lote, apresentou 0,2 minutos por passe e 2 minutos para usinagem de uma amostra e acabamento de 5,92 Ra.

## **6. Conclusão**

Após a análise dos dados obtidos no decorrer deste estudo, através da investigação experimental e analítica, foi possível destacar que, comparativamente, a ferramenta de corte submetida ao ensaio de usinagem do primeiro lote apresentou um maior

desgaste de cratera na superfície de saída do cavaco, que ficou evidenciado na imagem captada. Esse desgaste foi decorrente da abrasão gerada pelo contato do cavaco na superfície de saída. As ferramentas de corte utilizadas no 3º e 4º lotes, foi observado desgaste de cratera, mas com menor intensidade e em pontos decentralizados na superfície de saída da mesma. Esse desgaste não tem influência diretamente na rugosidade do material ensaiado, e também não é um critério para fim de vida da ferramenta de corte.

Não ficou evidenciada uma variação discrepante no raio da ponta da ferramenta, com as medições realizadas no microscópio eletrônico em cada ferramenta utilizada.

Verificou-se também que o cavado coletado em todos os lotes se apresentou em forma espiral fragmentado, ficando muito próximo da referência apresentada pelo fabricante da ferramenta de corte. E que em questões de ocupação, espaço, volume e segurança da operação, está conforme a literatura.

Com a medição da rugosidade ao longo de cada lote, foi verificada uma tendência de aumento da rugosidade, quando se modificava o avanço, e mantida a rotação. E foi verificado um aumento da rugosidade superficial ao se manter o avanço e modificar a rotação de quase 3 vezes maior. Esse fato pode ser decorrido da vibração de todo o conjunto da máquina influenciando nas medidas coletadas, lembrando que a mesma não tem um sistema de fixação e absorção de vibrações conforme os padrões.

Os dados de corte utilizados no ensaio que mais se aproxima aos valores recomendados pelo fabricante são relativos ao 4º lote: velocidade de corte de 140m/mim e avanço de 0,3 mm/rev. O valor médio na figura 7, na condição media é de 150m/mim e a faixa de avanço varia de 0,2 a 0,5 mm/ver.

Levando em conta o desgaste mínimo observado na ferramenta de corte, do quarto lote, a diferença significativa no tempo de corte em relação aos demais lotes, com exceção do 2º lote, e a compatibilidade com os dados técnicos fornecidos pelo fabricante, concluímos que o 4º lote são os melhores parâmetros, que contribuem para a produtividade dos eixos fabricados em Aços ABNT 1045.

## 7 Bibliografia

AÇOPORTE. **Aço SAE 1045**. Disponível em: <http://www.acosporte.com.br/aco-sae-1045>. Acesso: 30 de março 2019.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira ABNT NBR ISO 503**, 2004.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira ABNT NBR 3685**, 1993.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira ABNT NBR 8404**, 1984.

ALMEIDA, Cristiano Mateus de. **A447a Avaliação do desgaste da ferramenta de metal duro revestida com TiN no fresamento do aço ABNT 4140 laminado a quente e temperado/revenido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2010.

AMORIM, H. J. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2002.

B.T. Chaves. J.J. Casarin, F. Kieckow. “Sistema de monitoramento do desgaste de ferramentas de corte em operações de usinagem”. **Anais 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Santo Angelo- RS. URI – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2014.

BRAGA, Marcela Dalprat Alegre. **B73a Avaliação do tipo de desgaste de ferramenta de um compósito cerâmico de alumina-zircônia para usinagem de ligas metálicas de uso aeroespacial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores). São José dos Campos: INPE, 2017.

CHAVERRINI, V. **Tecnologia Mecânica**. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 7ª. ed. São Paulo: Art Líber Editora, 2010.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: EdgardBlucher Ltda, 2000.

GGD METAIS. **GGD 1045**. Disponível em: <https://ggdmetals.com.br/produto/sae-1045/>. Acesso: 27 de abril de 2019.

GUENZA, J. E. **Análise do desempenho do fresamento em altas em velocidades de corte do ferro fundido GG25 em aplicação industrial**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Departamento de pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LIRA, F. A. **Metrologia dimensional**: técnicas de medição e instrumentos para controle e fabricação industrial. 1º ed. São Paulo: Érica, 2015.

LUZ, Gerson. **Aço carbono 1045**. Disponível em [www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html](http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html). Acesso: 30 de março 2019.

NARDINI. Nodus **ND 220: torno mecânico paralelo universal. Normas técnicas**. Disponível em: [http://www.nardinisa.com.br/site/wp-content/uploads/2014/12/catalogo\\_nodus\\_nd220.pdf](http://www.nardinisa.com.br/site/wp-content/uploads/2014/12/catalogo_nodus_nd220.pdf). Acesso: 15 de novembro de 2019.

OLIVEIRA, A. J. **Análise do desgaste de ferramenta no fresamento com altas velocidades de aços endurecidos**. 2007. 205 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Unicamp, Campinas, 2007.

REDDY, N. S. e RAO, P. V. **Selection of optimum tool geometry and cutting conditions using a surface roughness prediction model for end milling**. Int. J. Adv. Manuf. Technol, 2005.

ROHLOFF, R. C. **Efeito dos parâmetros de corte no fresamento do aço inoxidável AISI 420 para moldes e matrizes**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Tupy - Ist, Joinville, 2012.

SANDVIK Coromant. **Materiais de ferramenta de corte**. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>. Acesso: 15 de abril de 2019

SCARAMBONI, Antonio et al. **Telecurso 2000: Mecânica /Metrologia**. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2003.

SOUTO, U. B. **Monitoramento do desgaste de ferramenta no processo de fresamento via emissão acústica**. 2007. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, UFU, Uberlândia, 2007.

SUMITOMO. **Catálogo geral de ferramentas de corte**. Disponível em: <https://www.sumitool.com/br/downloads/cutting-tools/general-catalog/>. Acesso: 15 de abril de 2019

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4ª ed. Butterworths: Boston, USA, 2000.

