

|                  |
|------------------|
| N. CLASS.....    |
| CUTTER .....     |
| ANO/EDIÇÃO ..... |

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VARLEI CLAUDIANO JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DE DESGASTES DA FERRAMENTA: Análise de desgastes da  
ferramenta, usando como experimento pastilha de metal duro com cobertura TPKT  
ISCAR no fresamento do material SAE 1020**

**VARLEI CLAUDIANO JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DE DESGASTES DA FERRAMENTA: Análise de desgastes da  
ferramenta, usando como experimento pastilha de metal duro com cobertura TPKT  
ISCAR no fresamento do material SAE 1020**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso sob a orientação do Prof. Alexandre Lopes.

**Varginha**

**2015**

**VARLEI CLAUDIANO JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DE DESGASTES DA FERRAMENTA: Análise de desgastes da ferramenta, usando como experimento pastilha de metal duro com cobertura TPKT ISCAR no fresamento do material SAE 1020**

Trabalho Acadêmico apresentado ao professor Alexandre Lopes do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Sul de Minas. UNIS-MG, como um dos requisitos para a aprovação no curso de Engenharia Mecânica.

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_

---

---

---

OBS:

Dedico este trabalho a Deus, porque sem Ele, nada é possível, e a todos meus familiares que me deram forças.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos amigos que me incentivaram nessa longa caminhada até a chegada deste trabalho, aos meus pais que nunca descreditaram na capacidade e na força de vontade do seu filho. Agradeço também aos professores que contribuíram com a construção desse trabalho.

“Cada um de nós compõe a sua própria história,  
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz  
de ser feliz.”

Almir Sater

## RESUMO

A indústria metal mecânica exige cada vez mais o desenvolvimento dos processos de fabricação, principalmente a modernização das máquinas operatrizes e a evolução constante das ferramentas de corte. O trabalho presente tem o objetivo de apresentar o resultado da avaliação da influência do óleo solúvel no processo de fresamento do aço SAE 1020, utilizando fluido emulsivo e a seco, no desgaste da ferramenta de corte com revestimento TiN. Para obtenção dos resultados, foram usados dois blocos quadrados do aço SAE 1020 que foram fresados em máquina CNC, utilizando 180m/min de velocidade do corte e 0,3mm/rev para cada aresta de corte, no caso 3 (três), com 1mm de AP (profundidade de corte).

**Palavras-chave:** Desgaste da ferramenta de corte. Fluido de corte. Fresamento. Ferramenta de corte.

## ABSTRACT

*The metalworking industry increasingly requires the development of manufacturing processes, particularly the modernization of machine tools and the constant evolution of cutting tools. This study aims to present the result of evaluating the influence of soluble oil in the steel milling process SAE 1020, using fluid sentimental and dry, the wear of the cutting tool with TiN coating. To obtain the results, it was used two square blocks of SAE 1020 steel that were milled CNC machine, using 180 m / min cutting speed, 0.15 mm / rev for each cutting edge, in this case three (3), with 1mm AP (depth of cut).*

**Keywords:** *cutting tool wear. Cutting fluid. Milling. The cutting tool.*



## LISTAS DE FIGURA

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-</b> Fresamento frontal sentido concordante  | 12 |
| <b>Figura 2-</b> Diversos modelos de pastilhas de metal duro com coberturas.   | 15 |
| <b>Figura 3-</b> Imagem microscópica de uma pastilha com cobertura CVD   | 15 |
| <b>Figura 4-</b> Imagem microscópica de uma pastilha com cobertura PVD   | 17 |
| <b>Figura 5-</b> Desgaste de flanco na pastilha, devido à abrasão  | 19 |
| <b>Figura 6-</b> Desgaste da pastilha por craterização   | 19 |
| <b>Figura 7-</b> Solda do cavaco com a pastilha  | 19 |
| <b>Figura 8-</b> Deformação da pastilha, através da alta temperatura de corte  | 20 |
| <b>Figura 9-</b> Trincas na aresta de corte da pastilha, devido ao choque térmico                                    | 21 |
| <b>Figura 10-</b> Pastilha quebrada devido o excesso de força mecânica   | 21 |
| <b>Figura 11-</b> Óleo solúvel escolhido PS300   | 25 |
| <b>Figura 12-</b> Sentidos práticos da aplicação do fluido de corte  | 26 |
| <b>Figura 13-</b> Fluido aplicado com fixoflex   | 26 |
| <b>Figura 14-</b> Ferramenta de corte com lubrificação interna   | 27 |
| <b>Figura 15-</b> Textura de uma superfície mostrando efeitos de rugosidade (A), ondulações (B) e erro de forma (C). | 28 |
| <b>Figura 16-</b> Marcas de avanço e falhas (bolhas) no acabamento superficial                                       | 29 |
| <b>Figura 17-</b> Esquema de um instrumento de controle de uma superfície  | 29 |
| <b>Figura 18-</b> Centro de Usinagem ROMI Discovery 560  | 31 |
| <b>Figura 19-</b> Suporte utilizado e caixa de pastilhas   | 32 |
| <b>Figura 20-</b> Especificações e dimensionamento do inserto IC808  | 33 |
| <b>Figura 21-</b> Usinagem com óleo solúvel  | 33 |
| <b>Figura 22-</b> Desgaste dos 3 primeiros minutos de teste  | 34 |
| <b>Figura 23-</b> Resultado dos primeiros 3 minutos  | 35 |
| <b>Figura 24-</b> Resultado dos primeiros 3 minutos  | 35 |
| <b>Figura 25-</b> Resultado do 6º minutos de teste   | 36 |
| <b>Figura 26-</b> Resultado do 6º minutos de teste   | 36 |
| <b>Figura 27-</b> Resultado do 6º minutos de teste   | 37 |
| <b>Figura 28-</b> Resultado final do teste utilizando óleo   | 37 |
| <b>Figura 29-</b> Resultado final do teste utilizando óleo   | 38 |
| <b>Figura 30-</b> Resultado final do teste utilizando óleo   | 38 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 31-</b> Corte a seco/Sistema pneumático da máquina | 39 |
| <b>Figura 32-</b> Primeiros minutos de teste a ar            | 40 |
| <b>Figura 33-</b> Resultado dos 3 primeiros minutos          | 40 |
| <b>Figura 341-</b> Resultado dos 3 primeiros minutos         | 41 |
| <b>Figura 35-</b> Resultado dos 6° minutos de teste          | 41 |
| <b>Figura 36-</b> Resultado dos 6° minutos de teste          | 42 |
| <b>Figura 37-</b> Resultado dos 6° minutos de teste          | 42 |
| <b>Figura 38-</b> Resultado final do teste a seco            | 43 |
| <b>Figura 39-</b> Resultado final do teste a seco            | 43 |
| <b>Figura 40-</b> Resultado final do teste a seco            | 44 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                   | <b>11</b> |
| <b>2 USINAGEM.....</b>                                     | <b>12</b> |
| <b>2.1 Seleção do material da ferramenta de corte.....</b> | <b>13</b> |
| <b>2.2 Coberturas.....</b>                                 | <b>14</b> |
| 2.2.1 Cobertura – CVD.....                                 | 15        |
| 2.2.1.1 Definição e propriedades.....                      | 15        |
| 2.2.1.2 Aplicações .....                                   | 16        |
| 2.2.2 Cobertura – PVD.....                                 | 16        |
| 2.2.2.1 Definição e propriedades.....                      | 16        |
| 2.2.2.2 Aplicações .....                                   | 17        |
| <b>2.3 Desgaste da ferramenta de corte.....</b>            | <b>18</b> |
| <b>2.4 Tipos de desgastes.....</b>                         | <b>18</b> |
| 2.4.1 Desgaste de flanco.....                              | 18        |
| 2.4.2 Craterização.....                                    | 19        |
| 2.4.3 Aresta postiça (BUE).....                            | 19        |
| 2.4.4 Deformação plástica.....                             | 20        |
| 2.4.5 Trincas térmicas.....                                | 20        |
| 2.4.6 Lascamento/quebra da aresta.....                     | 21        |
| <b>2.5 Revestimento escolhido para o teste.....</b>        | <b>21</b> |
| <b>2.6 Fluidos de corte.....</b>                           | <b>22</b> |
| 2.6.1 Funções.....   | 22        |
| 2.6.1.1 Refrigeração.....                                  | 23        |
| 2.6.1.2 Lubrificação.....                                  | 23        |
| 2.6.1.3 Transporte de cavacos.....                         | 23        |
| 2.6.1.4 Proteção contra corrosão.....                      | 24        |
| 2.6.2 Critério de seleção.....                             | 24        |
| <b>2.7 Métodos de aplicação dos fluidos de corte.....</b>  | <b>25</b> |
| 2.7.1 Usinagem a seco.....                                 | 27        |
| <b>2.8 Acabamento superficial.....</b>                     | <b>27</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                        | <b>31</b> |
| <b>3.1 Materiais e métodos experimentais.....</b> | <b>31</b> |
| <b>3.2 Corte com óleo solúvel.....</b>            | <b>34</b> |
| <b>3.3 Corte a seco.....</b>                      | <b>39</b> |
| <br>  |           |
| <b>4 CONCLUSÃO.....</b>                           | <b>41</b> |
| <br>  |           |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                           | <b>42</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma análise de desgastes de pastilhas, em específico a TPKT ISCAR, onde será avaliada a influência dos parâmetros avanço e velocidade de corte, em um processo de fresamento simples e a influência dos fluidos de corte. Para a avaliação do desgaste, será utilizado apenas uma velocidade de corte e um avanço determinado, para fazer o comparativo do lubrificante solúvel e a seco.

O aço carbono SAE 1020 é um dos aços mais utilizados, devido a sua baixa temperabilidade, excelentes forjabilidade e soldabilidade, porém sua usinagem é relativamente pobre. Este tipo de aço sae 1020 pode ser aplicado de diversas formas com cementação com excelente relação custo benefício comparado com aços utilizados para o mesmo propósito. A microestrutura presente neste aço no seu estado normalizado é perlita fina e ferrita.

Em um processo de usinagem, o fluido de corte é um material composto, na maioria das vezes líquida, usado na indústria com a função de refrigerar, lubrificar, proteger contra a oxidação e limpar a região da usinagem, além de aumentar a produção, reduzir custo, aumentar a qualidade superficial da superfície e lucratividade da empresa. Mas os fluidos de corte também podem ser prejudiciais em operações de corte intermitentes.

Atualmente, devido ao custo dos fluidos, utilizados na refrigeração/lubrificação em usinagem, aliado a questões ecológicas e, também aos cuidados com a saúde do trabalhador, é necessário avaliar a real necessidade de se trabalhar com os fluidos (TELES, J.M., 2007).

Com isso, Demonstrarei uma avaliação de desgastes de pastilhas, tanto no fresamento com corte a seco quanto no corte utilizando óleo solúvel. Os resultados serão demonstrados com base no acabamento superficial do material e no desgaste da ferramenta, com o objetivo de definir qual processo de lubrificação será mais viável.

## 2 USINAGEM

Usinagem é o processo de fabricação que confere formato, dimensão e acabamento da superfície de uma peça, removendo-se o material excedente ou sobremetal.

O sobremetal removido denomina-se cavaco. O cavaco é retirado de diferentes tipos de materiais, tais como: ferro fundido, aço, alumínio, bronze, plástico e outros, que são os mais utilizados pela indústria mecânica para fabricação de seus produtos. Ao ser submetida à usinagem, a peça já apresenta uma forma definitiva: blocos, tarugos, fios, chapas ou barras. O formato da peça bruta determina o processo de fabricação empregado, que pode ser: forjamento, laminação e trefilação. Esses processos, no entanto, não garantem a exatidão dimensional e a qualidade de superfície da peça executada. É a usinagem que gera a peça com essas características. (SENAI, 1998).

De 15 a 20% de todo o aço produzido no mundo, é transformado e removido por usinagem em forma de cavaco, ou seja, este processo vem apresentando grandes aprimoramentos, tanto nos equipamentos quanto na operação.

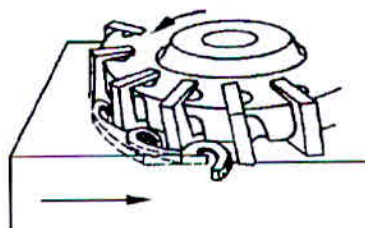
A usinagem, portanto, é o processo de fabricação que, mediante a remoção do sobremetal, atende às exigências e qualidade estabelecidas por fabricantes e consumidores. Existem vários processos de usinagem, onde se destaca nesse trabalho, o fresamento.

O fresamento é usado para obter superfícies com formatos:

- a) planos paralelos ao eixo de rotação da ferramenta;
- b) planos perpendiculares ao eixo de rotação da ferramenta.

O fresamento também é empregado para obter formas combinadas desses dois tipos de superfície. A fresa é a ferramenta multicortante empregada para realizar o processo de usinagem e também realiza o movimento de corte; a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se desloca, realizando o movimento de avanço. (SENAI., SP. 1998)

Figura 2-Fresamento frontal sentido concordante



Fonte: (SENAI., SP. 1998)

## 2.1 Seleção do material da ferramenta de corte

Para escolher o tipo de material a serem utilizados nas ferramentas de corte, alguns fatores devem ser avaliados para selecionar o ideal, alguns desses fatores: tipo de material a ser usinado, processo de usinagem, dureza, a forma do cavaco, custo do material, etc. De acordo com a Workfer as ferramentas de corte são otimizadas por grupos de materiais e tipo de operações. Aplicadas corretamente e com os dados de cortes, otimizados melhoram a produtividade para muito além do que as pastilhas do tipo geral podem lhe oferecer. (CIMM, 2009)

As ferramentas de aço carbono e baixa liga, são de custo mais baixo, maior disponibilidade, melhor usinabilidade, facilidade de têmpera, etc. O principal inconveniente dessas ferramentas é a redução da dureza, e, portanto, sua habilidade de operarem como ferramenta de corte, em temperaturas relativamente baixas, em torno de 250°C. Os aços-rápidos são aços liga cujos elementos de liga principais são W, Mo, Cr, V, Co e Nb com boa tenacidade, elevada resistência ao desgaste e dureza a quente. Em algumas ferramentas de corte, como brocas, machos, alargadores e alguns tipos de fresas, a aplicação de materiais mais resistentes ao desgaste como metal duro ou cerâmico, é muito restrito devido a sua forma e dimensão. Assim, tem-se algumas ferramentas de aço rápido onde se busca algumas melhorias, através da aplicação de uma camada de revestimento de um material mais resistente ao desgaste, como o TiN, TiC, aplicados pelos processos CVD e PVD.

A ferramenta de metal duro é um material da metalurgia do pó, um composto de partículas de carboneto de tungstênio (WC) e um ligante rico em cobalto metálico (Co). Metais duros para aplicações de usinagem de metal representam mais de 80% do carboneto de tungstênio (WC) fase dura. Carbonitretos cúbicos adicionais são outros componentes importantes, especialmente em classes com gradiente sinterizado. O corpo do metal duro é conformado, através de prensagem do pó ou técnicas de molde por injeção, dentro de um corpo que é então sinterizado até densidade total. (SANDVIK, 2015)

Segundo Centro de Informação Metal Mecânica (CIMM), o metal duro surgiu em 1927, com o nome de Widia, com as seguintes composições, 81% de tungstênio, 6% de carbono e 13% de cobalto, tendo como características, elevada dureza, elevada resistência à compressão, elevada resistência ao desgaste, possibilitando de obter propriedades distintas nos metais duros pela mudança específicas dos carbonetos e das proporções do ligante e controle sobre a distribuição estrutural (CIMM, 2010).

## 2.2 Coberturas

As ferramentas de corte com revestimentos usadas em indústrias para usinagem são: carboneto de titânio (TiN) e óxido de alumínio (processo CVD), nitreto de titânio (TiN), carboneto de titânio (TiCN) (processo PVD); nitreto de carbono e alumínio (AlCrN)

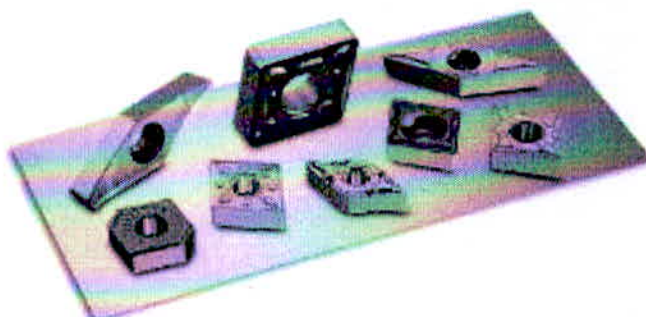
A importância dos revestimentos vem crescendo muito, em específico nas ferramentas de usinagem, em razão da proteção contra os desgastes abrasivos e adesivos, redução do atrito no corte, e possibilidade de corte a seco. Esses revestimentos podem ser de mono ou multicamadas, proporcionando uma flexibilidade na seleção dos sistemas de acordo com as necessidades de cada aplicação.

O sucesso dos revestimentos em ferramenta de corte resulta das propriedades mecânicas (dureza a quente, resistência ao desgaste e tensões compressivas) e físicas (estabilidade química, boa adesão, resistência à corrosão), tanto à temperatura ambiente quanto à temperaturas mais elevadas (BOUZAKIS, K.D. et. al., 1999). Todas as ferramentas de corte podem ser revestidas, e este revestimento deve ser precedido de estudo técnico e econômico. As fases envolvidas no processo de revestimento são inspeção da ferramenta (rugosidade inferior de  $2\mu\text{m}$ , inexistência de trinca, rebarbas, queima de retífica), decapagem, rebarbação, projeto de fixação no forno, revestimento e inspeção final. No processo de revestimento, ocorrem reações heterogêneas nas quais difusões dos reagentes, absorção e desorção dos compostos pela peça ocorrem ao longo do evento. Na inspeção final, verifica-se composição química da camada, estrutura, aderência ao substrato e propriedades mecânicas (SANTOS, 2003).

Metal duro revestido apresenta-se atualmente em 80-90% de todas as pastilhas para ferramenta de corte. Seu sucesso como um material da ferramenta deve-se à sua exclusiva combinação de resistência ao desgaste e tenacidade, além de sua habilidade para conformidade com formatos complexos. Metal duro revestido combina metal duro com uma cobertura. Juntos eles formam uma classe personalizada para sua aplicação.



Figura 3-Diversos modelos de pastilhas de metal duro com coberturas.



Fonte: (WALTER, 2000 )

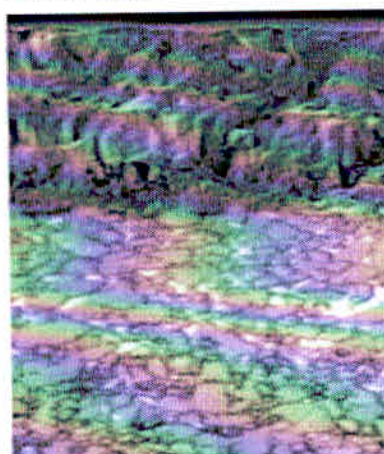
As classes de metal duro revestido são a primeira escolha para uma variedade de ferramentas e aplicações.

## 2.2.1 Cobertura – CVD

### 2.2.1.1 Definição e propriedades

CVD significa Deposição por Vapor Químico. A cobertura CVD é gerada por reações químicas a temperaturas de 700-1050°C.

Figura 4-Imagem microscópica de uma pastilha com cobertura CVD



Fonte: (SANDIVIK, 2015)

As coberturas CVD possuem alta resistência ao desgaste e excelente adesão ao metal duro. O primeiro metal duro revestido CVD era de uma única camada de cobertura de carboneto de titânio (TiC). Coberturas de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e coberturas 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.

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 com baixa condutividade térmica, tornando-o resistente à craterizações. Atua também como uma barreira térmica para melhorar a resistência à deformação plástica.

CVD-TiN - Melhora a resistência ao desgaste e é usada para detecção de desgaste.

Tratamentos posteriores- Melhoria da tenacidade da aresta em cortes interrompidos e reduz as tendências à abrasão.

#### 2.2.1.2 Aplicações

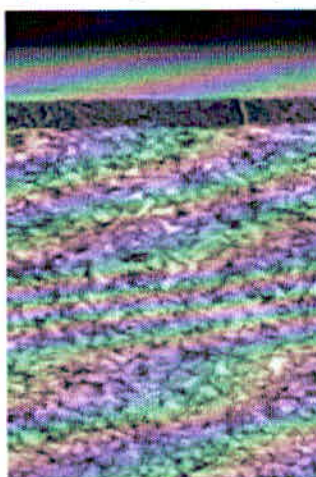
Classes com cobertura CVD são a primeira escolha em uma ampla variedade de aplicações onde é importante a resistência ao desgaste . Tais aplicações são encontradas em torneamento geral e mandrilamento de aços, com resistência à craterizações oferecida pelas coberturas CVD espessas. Torneamento geral de aços inoxidáveis e para classes de fresamento em ISO P, ISO M, ISO K. Para furação, as classes CVD são geralmente usadas na pastilha periférica.

#### 2.2.2. Cobertura – PVD

##### 2.2.2.1 Definição e propriedades

Coberturas por Deposição Física de 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 à uma classe devido à sua dureza. As tensões de compressão das coberturas também agregam tenacidade à aresta e resistência contra trincas térmicas.

Figura 5-Imagem microscópica de uma pastilha com cobertura PVD



Fonte: (SANDIVIK , 2015)

Os principais constituintes da cobertura PVD são descritos abaixo. Coberturas modernas são combinações destes constituintes em camadas sequenciais e/ou em coberturas laminadas. As coberturas laminadas possuem várias camadas finas, na faixa de manômetro, que tornam a cobertura ainda mais dura.

PVD-TiN - A primeira cobertura PVD foi nitreto de titânio. Ele possui propriedades de uso geral e uma cor dourada.

PVD-Ti(C,N) - Carbonitreto de titânio é mais duro do que TiN e agrega resistência ao desgaste de flanco.

PVD-Ti(C,N) - Nitreto de titânio-alumínio possui maior dureza em combinação com resistência à oxidação, melhorando a resistência geral ao desgaste.

Óxido PVD - Usado por sua inerência química e resistência aprimorada à craterizações.

#### 2.2.2.2 Aplicações

As classes com cobertura PVD são recomendadas para arestas de corte tenazes e afiadas, bem como para materiais com tendência a abrasão. Há muitas aplicações assim e elas incluem todas as fresas e brocas inteiriças e a maioria das classes para canais, rosqueamento e fresamento. Classes com cobertura PVD também são amplamente usadas para aplicações de acabamento e como a classe de pastilha central na furação.

### **2.3 Desgaste da ferramenta de corte.**

O desgaste da ferramenta de corte pode ser avaliado através dos métodos diretos e indiretos. No método direto, mede-se a geometria da ferramenta usando-se dispositivos óticos. O método indireto utiliza a aquisição de valores medidos de variáveis do processo (tais como a força de corte, temperatura, vibração, emissão acústica) e da relação entre o desgaste da ferramenta e esses parâmetros de processo. Testar a vida da ferramenta envolve a consideração de variáveis numerosas tais como o material, geometria e revestimento da ferramenta, característica do material da peça, condições de corte, o tipo e a modalidade de aplicação do fluido de corte, as características dinâmicas da ferramenta, da máquina e dos dispositivos elétricos da ferramenta/peça, etc.

O desgaste de uma ferramenta de metal duro é o resultado da ação de vários fenômenos distintos, denominados componentes do desgaste. Dependendo da natureza do material usinado e das condições de usinagem, predominará uma ou outra das componentes do desgaste sobre as demais. (FERRARESI, 1977)

Os mecanismos de desgaste como difusão, abrasão e adesão atuam isoladamente ou em conjunto, promovendo desgastes através de deformação plástica por cisalhamento, por altas tensões de compressão ou entalhe.

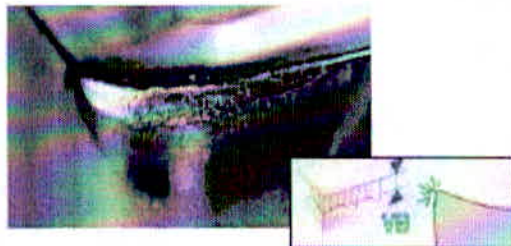
### **2.4 Tipos de desgastes**

Para entender as vantagens e as limitações de cada material, é importante ter algum conhecimento dos diferentes mecanismos de desgaste aos quais as ferramentas de corte estão sujeitas.

#### **2.4.1 Desgaste de flanco**

Abrasivo: O tipo mais comum de desgaste e o tipo preferido de desgaste, pois oferece uma vida útil da ferramenta previsível e estável. O desgaste de flanco ocorre devido à abrasão, causada por constituintes duros no material da peça.

Figura 6-Desgaste de flanco na pastilha, devido à abrasão

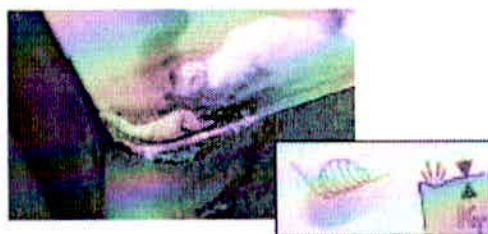


Fonte: (SANDIVIK, 2015)

#### 2.4.2 Craterização

Químico: A craterização é localizada na saída da pastilha. Ela ocorre devido à reação química entre o material da peça e a ferramenta de corte e é aumentada pela velocidade de corte. Craterização excessiva enfraquece a aresta de corte e pode levar à quebra.

Figura 7- Desgaste da pastilha por craterização

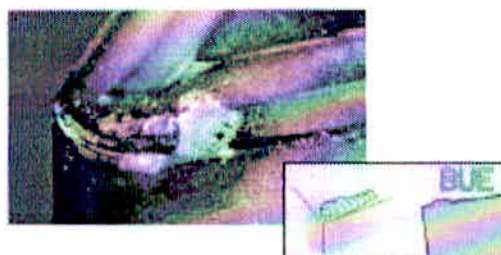


Fonte: (SANDIVIK, 2015)

#### 2.4.3 Aresta postiça (BUE)

Adesivo: Este tipo de desgaste é causado por solda por pressão do cavaco na pastilha. É mais comum na usinagem de materiais pastosos, como aços com baixo teor de carbono, aços inoxidáveis e alumínio. Baixa velocidade de corte aumenta a formação de aresta postiça.

Figura 8- Solda do cavaco com a pastilha



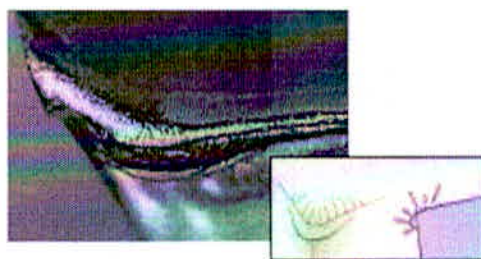
Fonte: (SANDIVIK, 2015)

#### 2.4.4 Deformação plástica

**Térmico:** A deformação plástica ocorre quando o material da ferramenta é amolecido. Isto acontece quando a temperatura de corte está muito alta para uma determinada classe. Em geral, as classes mais duras e as coberturas mais espessas melhoram a resistência ao desgaste por deformação plástica.

A deformação plástica superficial por cisalhamento a altas temperaturas ocorre em usinagem de metais com alto ponto de fusão com ferramentas de aço rápido. As tensões cisalhantes na interface cavaco-ferramenta são suficientes para causar deformação plástica superficial. Devido às altas temperaturas ali desenvolvidas, a tensão de escoamento do material da ferramenta, próximo à interface, é reduzida. Como consequência, o material é arrancado da superfície da ferramenta, formando-se assim uma cratera (TRENT, E.M. et. al., 2000).

Figura 9- Deformação da pastilha, através da alta temperatura de corte



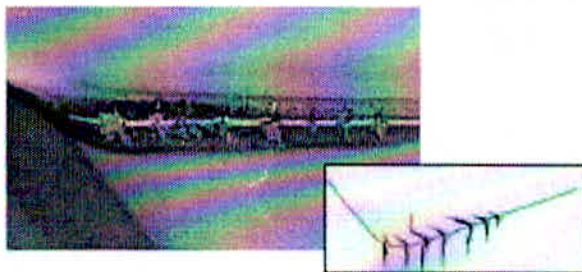
Fonte: (SANDIVIK, 2015)

#### 2.4.5 Trincas térmicas

**Térmico:** Quando a temperatura na aresta de corte muda rapidamente de quente para frio, várias trincas podem surgir perpendiculares à aresta de corte. Trincas térmicas são relativas a cortes interrompidos, comuns em operações de fresamento e agravadas pelo uso de refrigerante, pois o uso de refrigerante aumenta a variação térmica.

Essas trincas podem levar ao lascamento da aresta de corte, e são mais prováveis de formar em elevadas velocidades de corte ( $V_c > 100\text{m/min}$ ), desde que a amplitude da temperatura aumenta com a velocidade de corte. Em velocidades de corte abaixo de  $100\text{m/min}$ , essas trincas não se formam, mas adesão e lascamento ocorrem devido ao carregamento mecânico e a natureza instável da aresta postiça.

Figura 10- Trincas na aresta de corte da pastilha, devido ao choque térmico

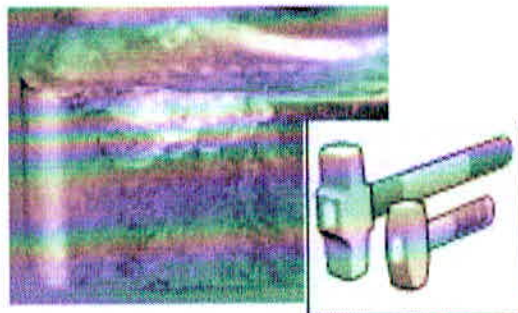


Fonte: (SANDIVIK, 2015)

#### 2.4.6 Lascamento/quebra da aresta

Mecânico: O lascamento ou a quebra são o resultado de uma sobrecarga das tensões de tração mecânica. Estas tensões podem ocorrer por vários motivos, como martelamento de cavacos, uma profundidade de corte ou avanço muito alto, inclusão de areia no material da peça, aresta postiça, vibrações ou desgaste excessivo na pastilha.

Figura 11- Pastilha quebrada devido o excesso de força mecânica

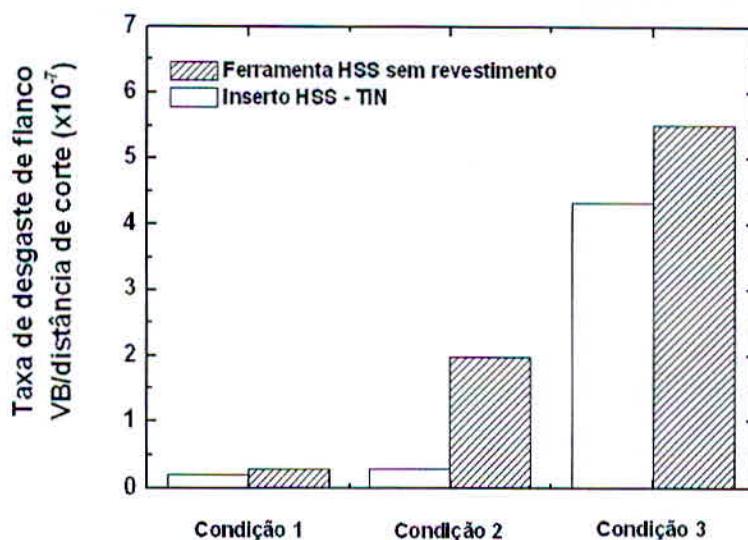


Fonte: (SANDIVIK, 2015)

#### 2.5 Revestimento escolhido para o teste

O revestimento de TiN foi escolhido porque é considerado como mais benéfico em operações de desbaste e usinagem em aço e mais vantajoso como revestimento de aço rápido. As taxas de desgaste são apresentadas como histograma na Figura 10, em torneamento a seco.

Gráfico 1- Comparação das taxas de desgaste de flanco de inserto de aço rápido na condição de revestido de TiN e não revestido, sobre três condições de torneamento a seco



Fonte: autor

O revestimento de TiN reduz o desgaste de flanco das ferramentas de aço rápido em diferentes condições, mas a extensão da redução varia. Esses resultados sugerem que reduções do desgaste de flanco dependem das condições de usinagem e este comportamento pode ser explicado pelo mapa de desgaste (LIM, S.C. et. al., 1995). Constatou-se que a presença do revestimento próximo à aresta de corte é capaz de ajudar a prolongar a vida da ferramenta dos inserts revestidos.

## 2.6 Fluidos de corte

Um fluido Lubrificante deve resistir a altas temperaturas e pressões, possuir boas propriedades anti-aderentes e viscosidade adequada (deve ser alta o suficiente para aderir às superfícies e relativamente baixa para melhor penetração na interface).

### 2.6.1 Funções

Com a finalidade de compreender a aplicação dos fluidos e conseguir avaliar os tipos exigentes na Indústria, além do modo de atuação de cada um no processo de usinagem. desejado, os fluidos de corte podem ser dividido em 4 funções básicas:



### 2.6.1.1 Refrigeração

Considerada como a principal função quando se trata de altas velocidades de corte, a refrigeração pode aumentar a vida útil das ferramentas, pois previne que estas atinjam sua temperatura crítica, isto é, evita que a temperatura faça alterações físicas e químicas na Ferramenta. Outro fator bastante considerável é o aumento da precisão dimensional da peça, isso ocorre porque devido à ausência da temperatura, não há dilatação térmica.

Em geral, a temperatura é afetada principalmente pela velocidade de corte, segundo Yuhara, estima-se que 80% do calor tenha origem pela deformação mecânica do cavaco, 18% pelo atrito do cavaco na saída da superfície da ferramenta e somente 2% é gerado pelo atrito da ferramenta com a peça.

Sabe-se que a maior parte da energia utilizada para o cisalhamento do material é convertida em calor, sendo que, desta, cerca de 75% é removida pelo cavaco, os 25% restante são distribuídos entre a peça, a ferramenta e o meio. (Yuhara, 2001)

### 2.6.1.2 Lubrificação

A lubrificação tem como finalidade diminuir o atrito da ferramenta/cavaco/peça, com a diminuição de atrito, pode concluir que o calor gerado será também reduzido, além de facilitar o dobramento do cavaco.

Em virtude das elevadas pressões de contato das interface ( da ordem de 2700Mpa) é difícil formar uma camada de Fluido de espessura suficiente para lubrificação, e a real eficácia dessa função é discutível (Stemmer, 2005)

### 2.6.1.3 Transporte de cavacos

O Fluido de Corte é utilizado como uma espécie de removedor de cavaco, isso é feito para que o cavaco não comprometa a ferramenta, nem mesmo a interface da peça.

O cavaco não retirado pode acarretar em uma série de problemas, isso fez com que estudos em cima dos fluidos, desenvolvessem várias formas para remoção, entre elas se destacam:

- a) Remoção por esforço mecânico: o cavaco é arrastado pela ferramenta quando flui pela área usinada.
- b) Resfriamento brusco: devido a troca de calor do fluido com a interface da peça, haverá um choque térmico, facilitando a quebra do cavaco.
- c) Alta pressão: é usado um jato de ar com alta pressão junto com o fluido de corte, ocorrendo a expulsão e quebra de cavaco.

#### 2.6.1.4 Proteção contra corrosão

Devido à alta tendência de corrosão de materiais recém-usinados, o fluido tem uma espécie de película protetora, isso impede que a peça usinada entre em contato com o oxigênio e umidade.

#### 2.6.2 Critério de seleção

A escolha do fluido de corte é importante durante o processo industrial de um produto, pois dependerá de uma sequência de fatores inter-relacionados tais como, aspectos econômicos, custos relacionados ao procedimento de descarte e saúde humana.

Para escolher qual fluido utilizar, deve se analisar qual objetivo será melhor para a empresa, por exemplo: Aumentar a produção, melhoria no acabamento da interface da peça usinada, aumento da vida útil da ferramenta, arraste de cavaco, entre outros. Depois de escolhido o objetivo, existe uma série de fluidos há escolher, outro tipo de seleção de fluidos de corte com possibilidades para melhorar as condições de usinagem, é o tipo de operação a ser feita, material da peça, acabamento superficial, tipo da ferramenta de corte, etc.

Material da peça: A usinabilidade de um material é definida pelas características da mesma e do seu comportamento nas condições do processo de usinagem.

Para materiais ferrosos (aços), praticamente qualquer fluido de corte pode ser utilizado, dependendo do tipo de operação a ser feito. É recomendado o uso de emulsões e soluções.

O aço a ser escolhido é o SAE 1020, logo o fluido de corte será o solúvel. Levando em considerações os dados do fornecedor da máquina a ser feita a experiência. A escolha do solúvel foi do PS-300.

Figura 12- Óleo solúvel escolhido PS300

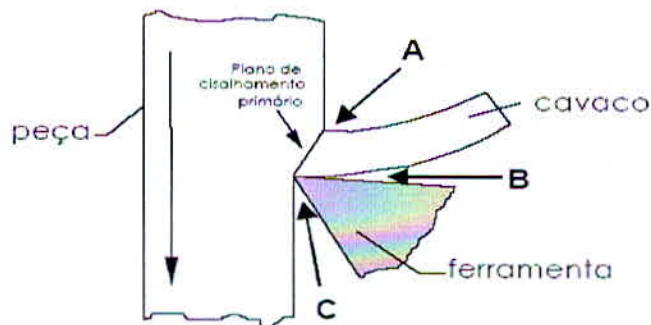


Fonte: autor

## 2.7 Métodos de aplicação dos fluidos de corte

A principal finalidade de se usar o fluido do corte em processos é reduzir temperaturas de corte na zona do corte, a fim de aumentar a vida da ferramenta. As vantagens deste uso, entretanto, têm sido questionadas devido aos efeitos negativos no custo do produto, no ambiente e na saúde humana. O corte a seco foi tentado como uma alternativa possível ao uso do fluido de corte (SALES, W.F. et. al., 2002) PIGOTT, COLWELL (citado por DINIZ, A.E. et. al., 2007) foram os primeiros autores que discutiram o uso do fluido de corte a alta pressão com as ferramentas a alta velocidade de corte. Observaram um aumento significativo na vida da ferramenta, quando o líquido de alta pressão foi usado, em comparação ao método convencional de aplicar o fluido de corte. De acordo com esses autores, o método convencional não produziu resultados significativos, porque os cavacos são refrigerados muito mais do que a ferramenta e a peça. Além disso, a velocidade baixa de penetração não permite que o lubrificante alcance a aresta de corte.

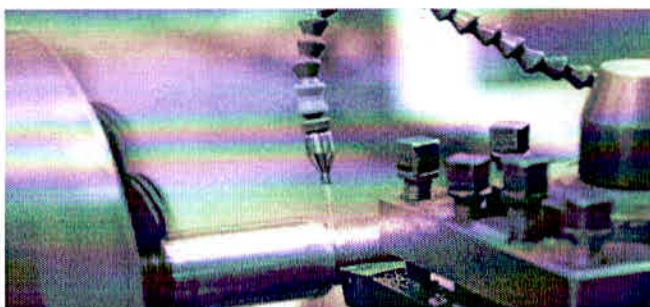
Figura 13- Sentidos práticos da aplicação do fluido de corte



(MACHADO, A.R. et. al. , 1999)

O fluido de corte pode, também, ser aplicado sob diversas direções e/ou vazões, posicionado na interface cavaco-ferramenta ou na peça. São inúmeras as combinações possíveis para a sua aplicação, mas, atualmente, os métodos mais utilizados são o jorro do fluido a baixa pressão, ou por gravidade, sendo este sistema o mais usado devido à sua simplicidade. O fluido é jorrado sobre cabeça contra a superfície do cavaco, ou ainda na superfície de saída da ferramenta. Neste caso, o fluido vai de encontro à superfície fraturada do cavaco, sendo arrastado para fora da interface cavaco-ferramenta, dispensando dispositivos especiais (SANTOS, S.C. et. al., 2003).

Figura 14- Fluido aplicado com fixoflex



Fonte: autor

Com o principal objetivo de incrementar a lubrificação na interface cavaco ferramenta, foi desenvolvido um sistema em que o conjunto suporte e ferramenta de corte é vazado, permitindo o fluido passar pelo seu interior, chegando até a superfície de saída da ferramenta (ISCAR, 2001).

Figura 15- Ferramenta de corte com lubrificação interna



Fonte: (WALTER, 2000)

### 2.7.1 Usinagem a seco

Apresentada como melhor alternativa para os problemas criados pelos fluidos de corte, a usinagem a seco consiste de um método pneumático.

Pistola de Ar com alta pressão: produz um jato constante de ar para a ferramenta de corte que afasta os cavacos durante o processo de usinagem, a pistola pode ser programada para funcionar em determinados momentos no processo, dependendo do tipo de máquina CNC.

O tempo de vida da ferramenta e a qualidade superficial da usinagem a seco, são semelhantes à conseguida com a usinagem usando-se fluidos de corte tradicionais. As vantagens desta tecnologia são o atendimento aos requisitos ecológicos, redução de custos e aumento da produtividade. Porém existem algumas desvantagens, tais como problemas provocados pelas poeiras produzidas pela operação, maior solicitação térmica da peça, provocando um efeito negativo na qualidade da peça e necessitando de ferramentas especiais (SALES, W.F. et. al., 2002).

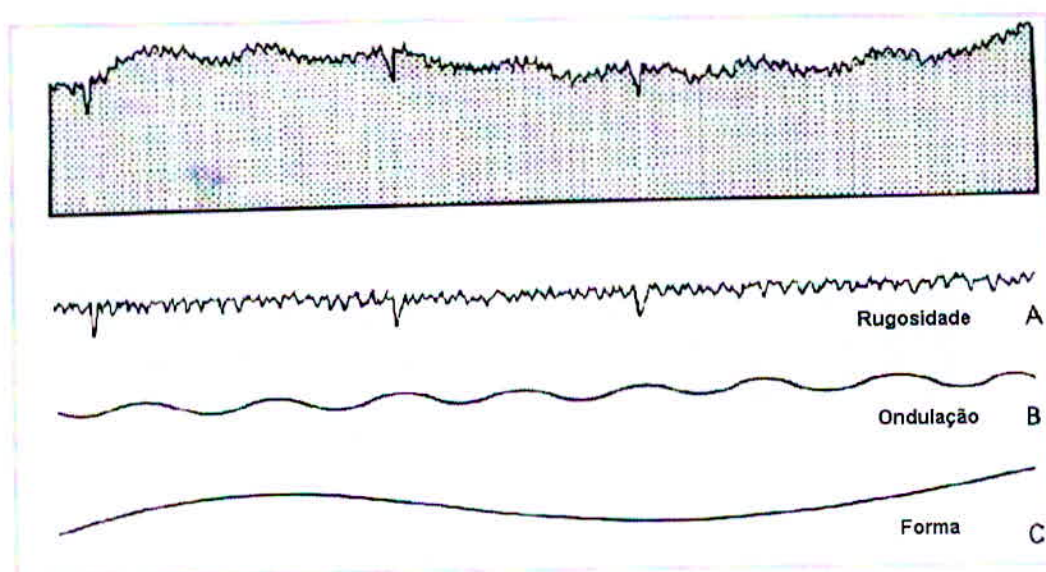
## 2.8 Acabamento superficial

Integridade superficial é o termo utilizado para denotar as condições e a qualidade de superfícies usinadas e resultam da combinação do processo de deformação plástica, propagação de trincas, reações químicas e forma de energia empregada para a remoção do

cavaco. É uma medida da qualidade de uma superfície usinada e interpretada com elementos que descrevem a estrutura real da superfície e subsuperfície.

Nas superfícies existem irregularidades tais como alturas, espaçamentos e formas. Ao examinar uma superfície real, pode-se ver o padrão dos picos e vales que podem ser irregulares ou repetitivos.

Figura 16- Textura de uma superfície mostrando efeitos de rugosidade (A), ondulações (B) e erro de forma (C).



(OLIVEIRA, C.J., 2004)

As irregularidades podem ser classificadas de acordo com a superfície ou acabamento superficial.

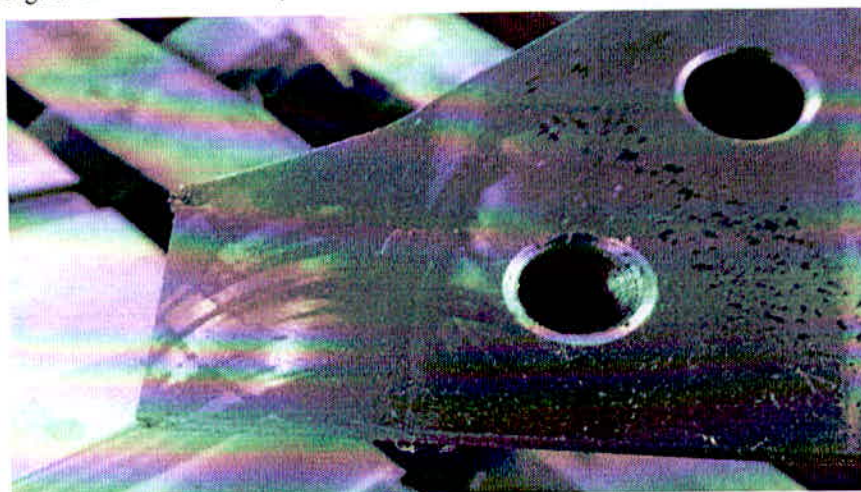
a) Rugosidade superficial: são finas irregularidades resultantes de ação inerente do processo de corte, ou seja, marcas de avanço. A altura ou profundidade média dessas irregularidades são medidas em pequeno comprimento chamado "cut-off" (comprimento da amostra). Pode-se dizer que a rugosidade e ondulações constituem a textura de uma superfície apesar de apresentarem outras caracterizações.

b) Ondulações: consistem de irregularidades superficiais cujos espaçamentos são maiores em aproximadamente 1mm que o cut-off, causado por deflexões e vibrações da ferramenta ou da peça.

c) Marcas de avanço: denotam as direções das irregularidades superficiais, dependendo da orientação da peça e ferramenta de corte na máquina, ou do movimento relativo da peça e ferramenta.

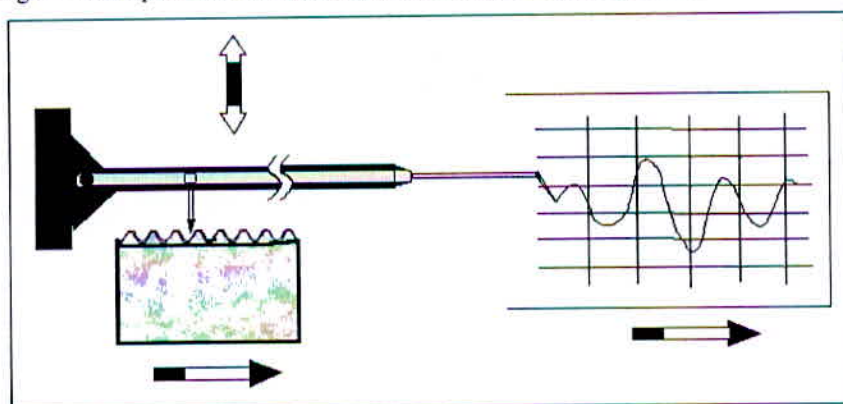
d) Falhas: são interrupções na topografia típica da superfície de um componente, sendo inesperadas e indesejáveis, causadas por defeitos tais como trincas, bolhas, inclusões que podem surgir durante o processo de corte. O levantamento das irregularidades da superfície pode ser realizado através de um apalpador, que percorre todas as irregularidades da superfície e envia um sinal para um transdutor que transforma o sinal mecânico em eletrônico.

Figura 17- Marcas de avanço e falhas (bolhas) no acabamento superficial



Fonte: autor

Figura 18- Esquema de um instrumento de controle de uma superfície



(OLIVEIRA, C.J., 2004)

Em todos os processos de fabricação, além da geometria e tolerâncias de medidas, a rugosidade superficial também é importante. Demanda crescente por melhor confiabilidade e efetividade de conjuntos mecânicos, redução de perdas por atrito e maior potência, levam a aumentos de carga de contato superficiais. As propriedades de superfícies de contato mais importantes são rugosidade superficial e topografia. (SEDLACEK, M. et.al., 2008).



### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais e Métodos Experimentais.

O material utilizado para realização deste teste foi o aço SAE 1020, na forma cubo retangular 160x120x60mm. Operações e programações feitas nesta avaliação foram realizadas na empresa Metalúrgica Pimenta, em um Centro de Usinagem da marca ROMI, modelo Discovery 560.

Figura 19- Centro de Usinagem ROMI Discovery 560



Fonte: o autor

A avaliação de desgaste foi realizada, com velocidade de corte constante e avanço de corte de 0,3 mm/rev por pastilha, com profundidade de corte constante de 1 mm. (Tabela 1). A ferramenta cortará com 45% de sua interface.

Tabela 1 – Parâmetros de corte utilizado no fresamento

| Parâmetros de corte   |            |
|-----------------------|------------|
| Velocidade de corte   | 180 m/min  |
| Profundidade de corte | 1 mm       |
| Avanço por pastilha   | 0,3 mm/rev |

Fonte: o autor

O conjunto ferramenta-porta-ferramenta tem fixação mecânica por interferência. O diâmetro da ferramenta utilizada foi de 25 mm de diâmetro, sem um canal interno para a aplicação do fluido de corte. Foram montadas (3) pastilhas de corte, fixados por parafuso, com o auxílio de uma chave de torque fornecida juntamente com o porta-ferramenta.

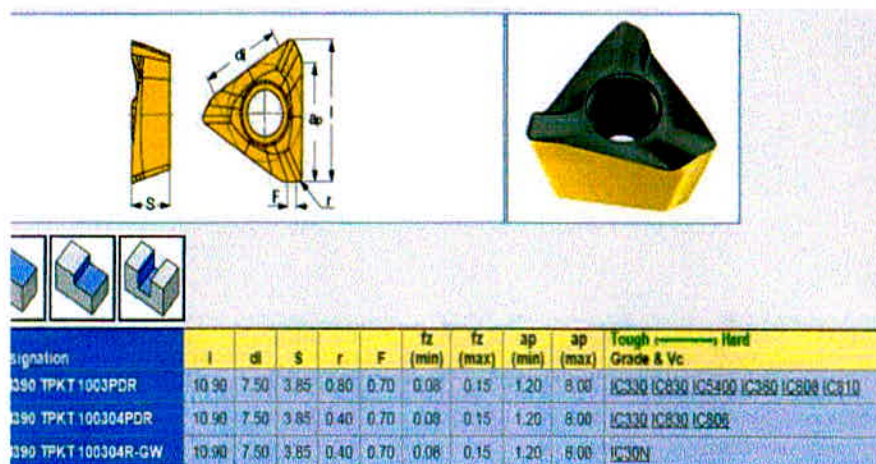
Figura 20- Suporte utilizado e caixa de pastilhas



Fonte: o autor

As pastilhas utilizadas no fresamento foram de metal duro, com tipo de revestimento PVD e revestimento por camada de TiN, modelo TPKT 1003 IC808.

Figura 21- Especificações e dimensionamento do inserto IC808



Fonte: (ISCAR, 1999)

Foram realizados dois tipos de ensaios; com fluido de corte aplicado por fixoflex e outro aplicado a seco (com ar comprimido). O fluido de corte é emulsionável na água, na concentração de 1litro de óleo para 30 litros de água. Para o sistema de aplicação do fluido, utilizou se uma vazão constante de 15 l/min, circulando na maquina através de uma bomba de alta potência com pressão de 10 bar. O desgaste da pastilha e o acabamento superficial foram avaliados visualmente a cada 3 minutos de fresamento.

Figura 22- Usinagem com óleo solúvel



Fonte: o autor

A cada 3 minutos foi avaliado o desgaste da ferramenta, o acabamento superficial da peça e potência necessária que a máquina utilizava para a operação de usinagem (fresamento), a ferramenta de corte foi retirada da máquina e fotografada para poder avaliar os desgastes do inserto TPKT IC808, O tempo total de fresamento foi de 9 minutos, tanto para a usinagem com óleo solúvel PS300, quanto para a usinagem a seco (ar comprimido). Segundo a literatura, para velocidade de corte superior a 120mm/min, um tempo de 50 min ocasionará a fratura do inserto. (PANJAN,J et. al., 2003).

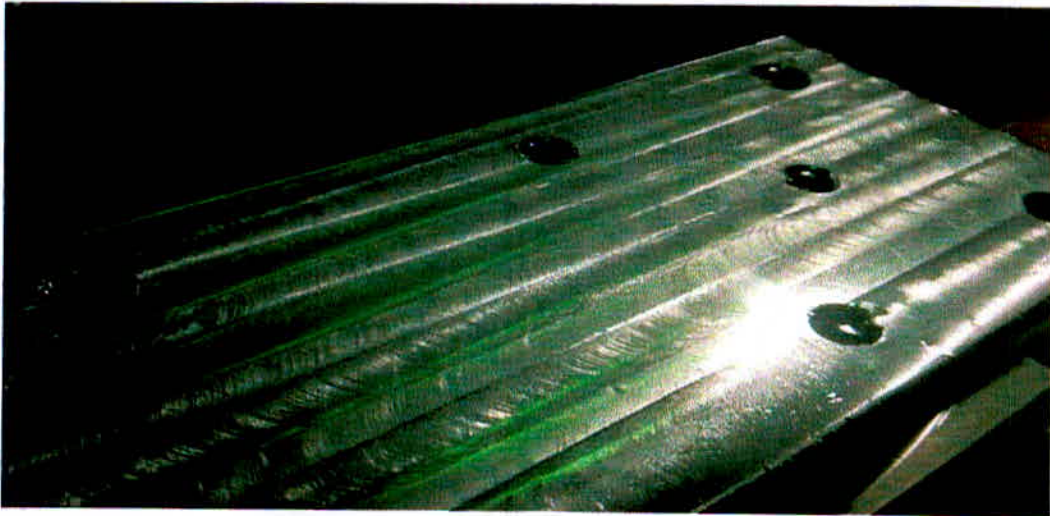
### 3.2 Corte com óleo solúvel.

Figura 23- Desgaste dos 3 primeiros minutos de teste



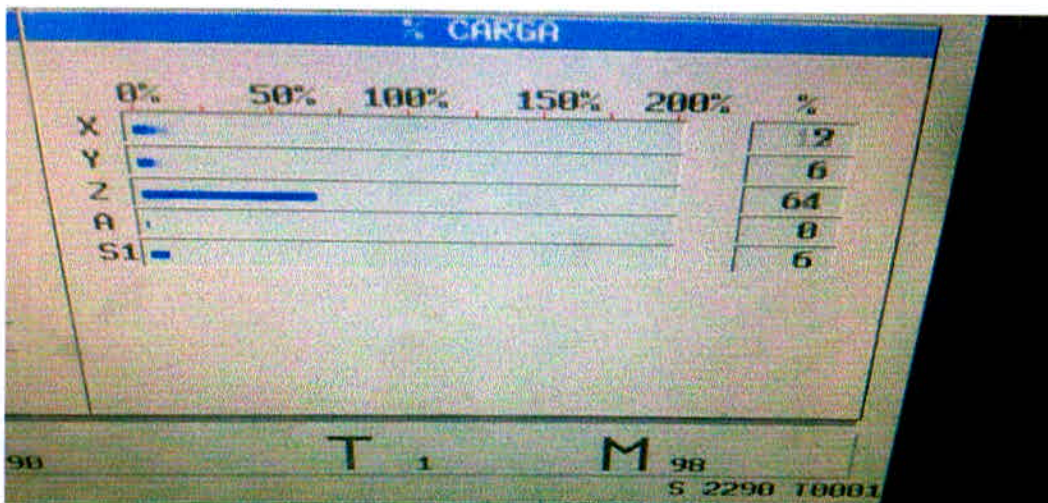
Fonte: o autor

Figura 24- Resultado dos primeiros 3 minutos



Fonte: o autor

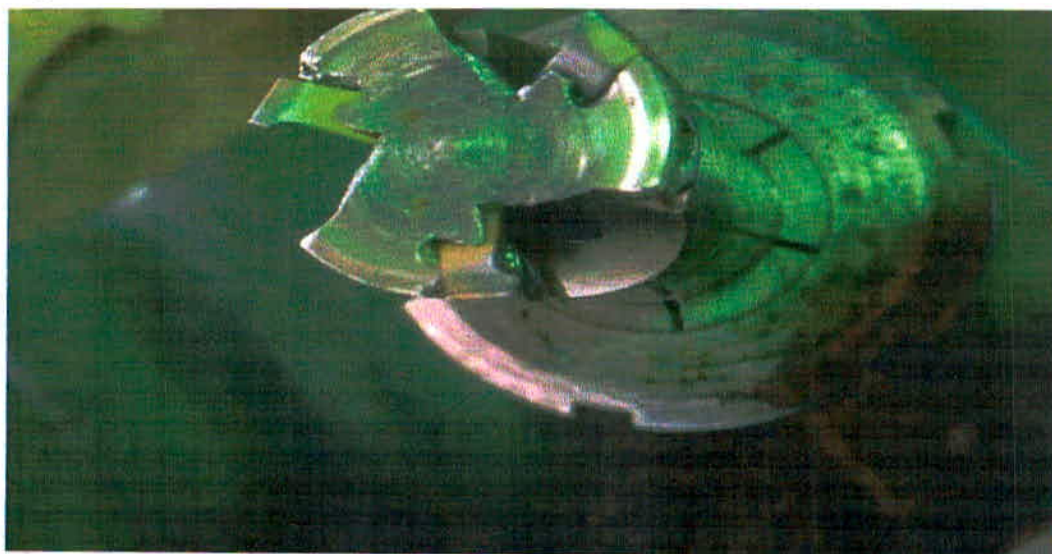
Figura 25- Resultado dos primeiros 3 minutos



Fonte: o autor

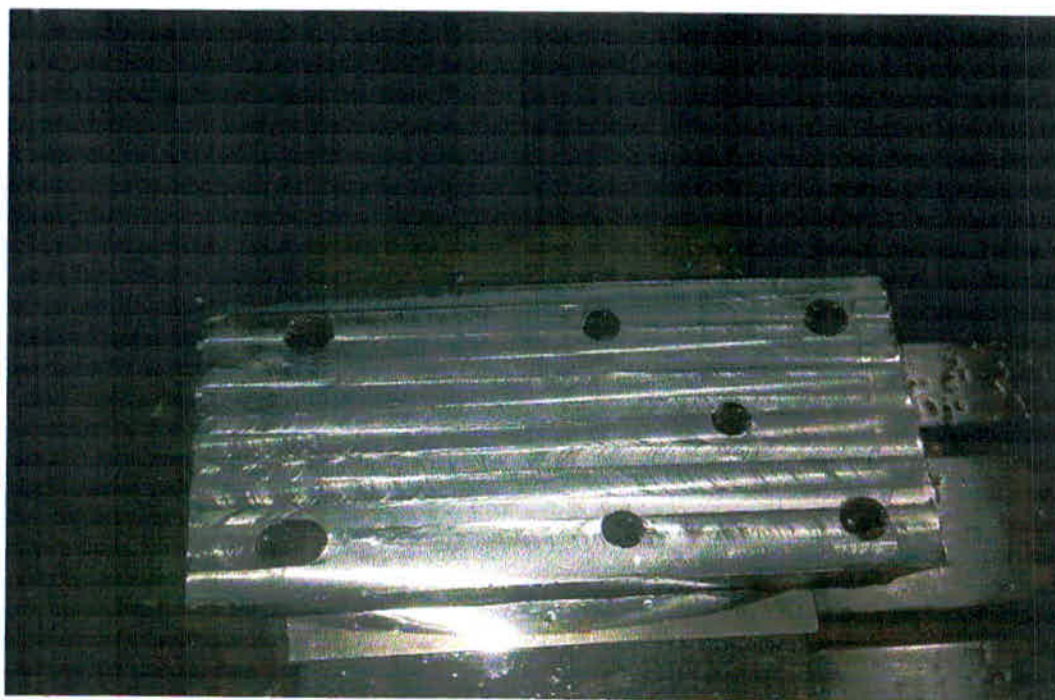
Como pode ser observado, não ocorreu nenhuma fratura na pastilha (Figura 22), o acabamento superficial da peça ficou espelhado (Figura 23), o revestimento de cobertura não queimou (Figura 22) e a máquina utilizou apenas 6% de sua potencia (Figura 24).

Figura 26- Resultado do 6º minutos de teste



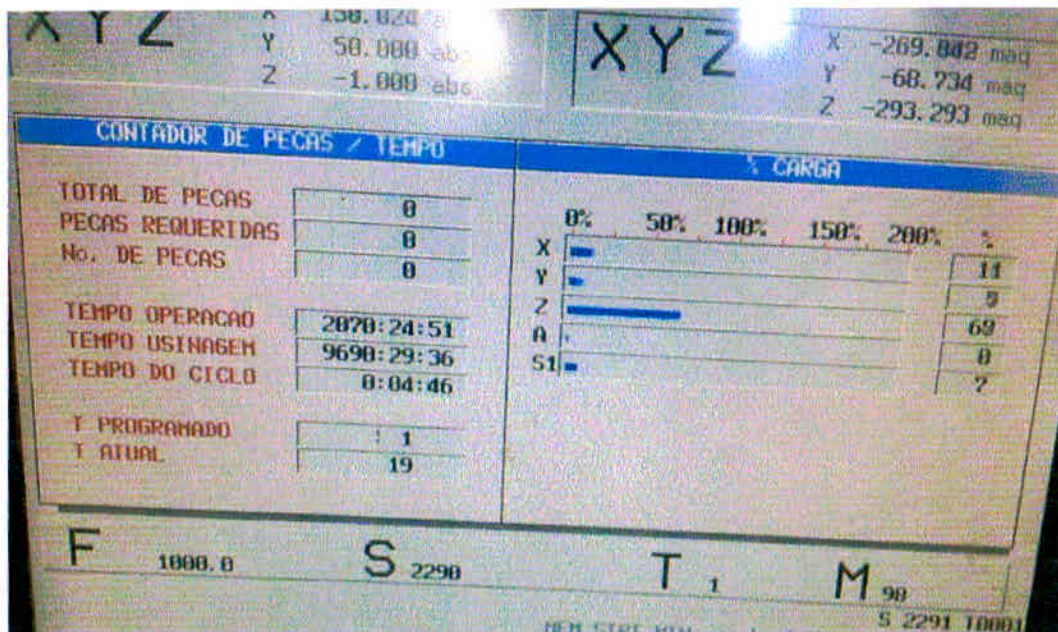
Fonte: o autor

Figura 27- Resultado do 6º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 28- Resultado do 6º minutos de teste



Fonte: o autor

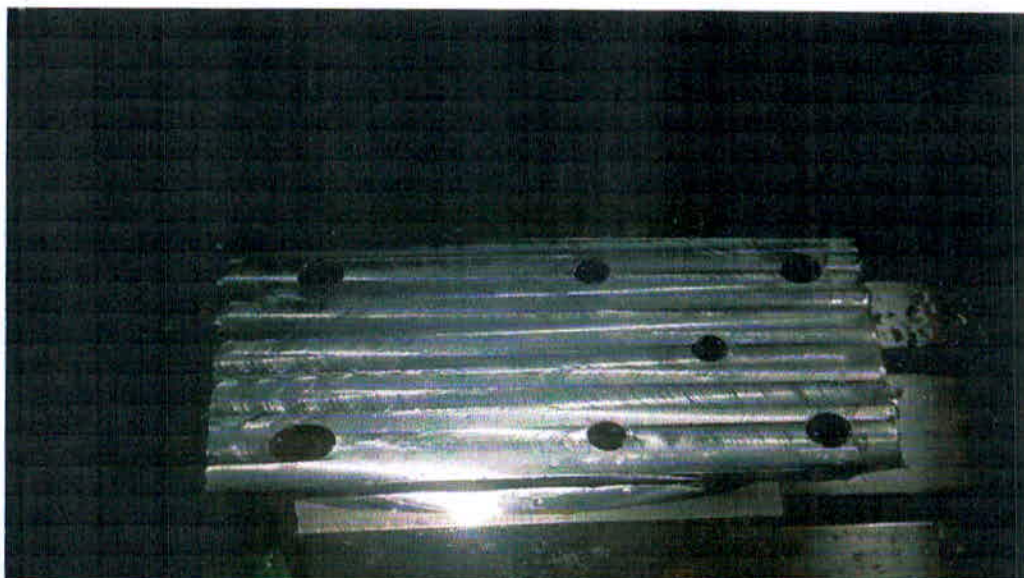
Observando novamente, não ocorreu nenhum tipo de fratura na pastilha (Figura 25), a superfície da peça ainda esta espelhada (Figura 26), não houve queima no revestimento de cobertura (Figura 25) e a máquina utilizou apenas 7% de sua potência (Figura 27).

Figura 29- Resultado final do teste utilizando óleo



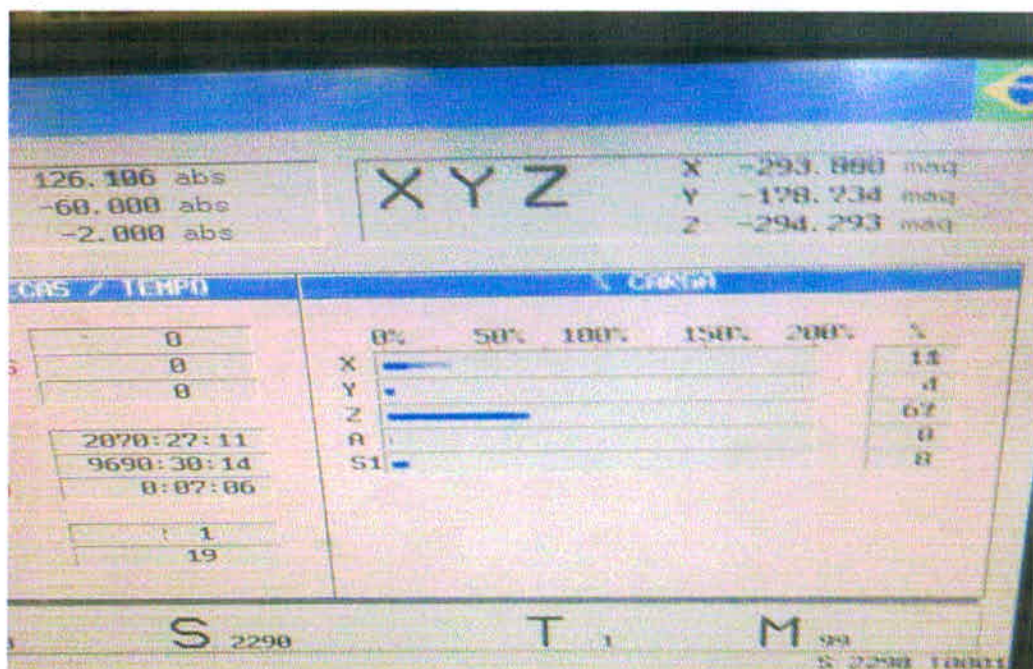
Fonte: o autor

Figura 30- Resultado final do teste utilizando óleo



Fonte: o autor

Figura 31- Resultado final do teste utilizando óleo



Fonte: o autor

Observando nessa avaliação ocorreu uma queimadura no seu revestimento de cobertura TiN (Figura28), necessitando usar o outro lado da aresta de corte, pois a falta de cobertura trará a



ruptura do inserto. O acabamento ainda ficou espelhado (Figura 29), a pastilha não fraturou (Figura 28) e a máquina passou a usar 8% de sua potência (Figura 30).

Ao finalizar a avaliação com fluido de corte solúvel, tivemos os seguintes resultados; ocorreu uma queimadura na aresta de corte da pastilha, perdendo a cobertura de revestimento, mas ainda o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina aumentou de 6% a 8% de sua potência no eixo árvore (S1).

### 3.3 Corte a seco

Figura 32- Corte a seco/Sistema pneumático da máquina



Fonte: o autor

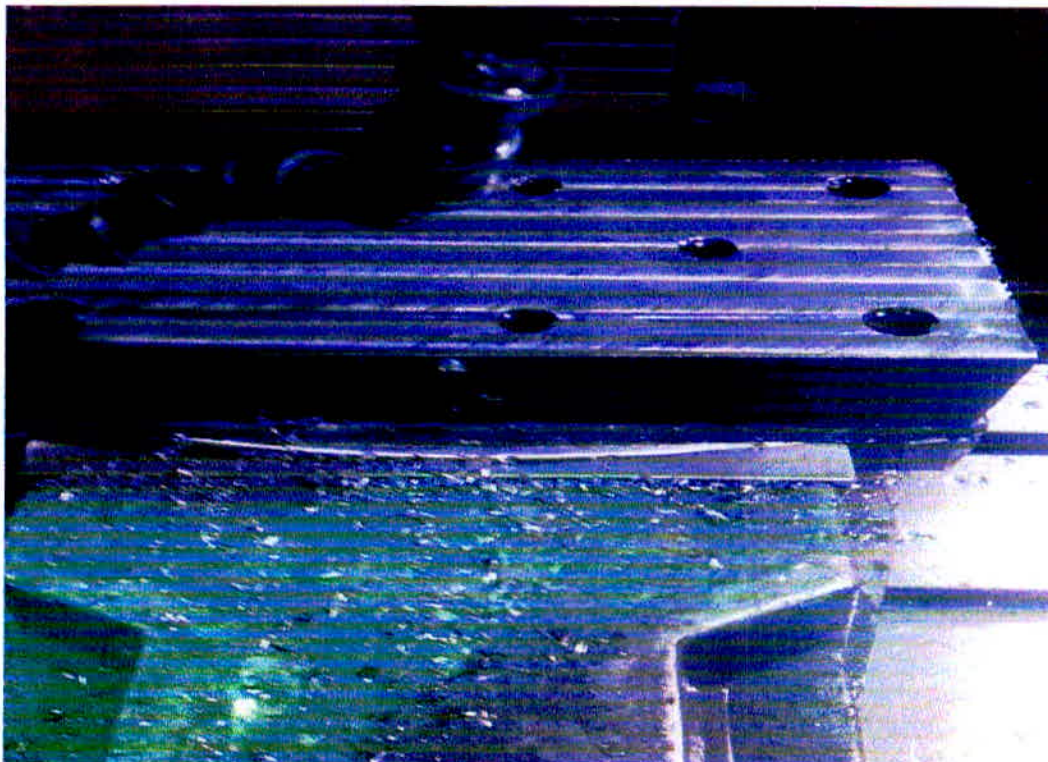
O ensaio foi avaliado conforme foi o ensaio com óleo solúvel, foi utilizada outra peça, porém idêntica a do experimento anterior. A cada 3 minutos, sendo avaliado o desgaste da ferramenta, o acabamento superficial da peça e a potência necessária que a máquina (centro de usinagem ROMI) utilizava para o fresamento, a ferramenta de corte foi retirada da máquina e fotografada para a avaliação do desgaste, o tempo total de fresamento foi de 9 minutos.

Figura 33- Primeiros minutos de teste a ar



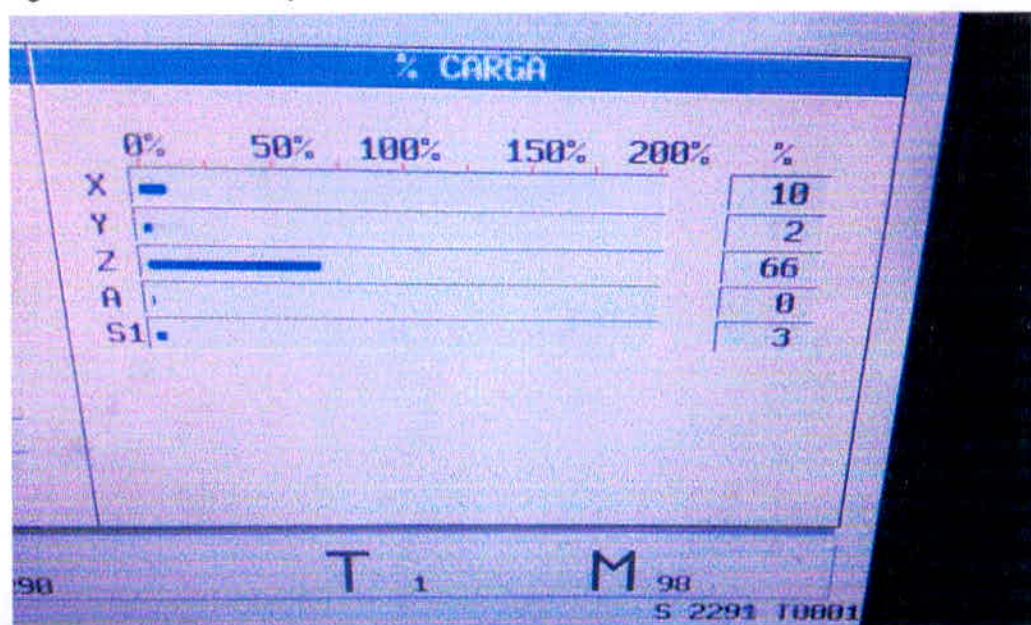
Fonte: o autor

Figura 34- Resultado dos 3 primeiros minutos



Fonte: o autor

Figura 35- Resultado dos 3 primeiros minutos



Fonte: o autor

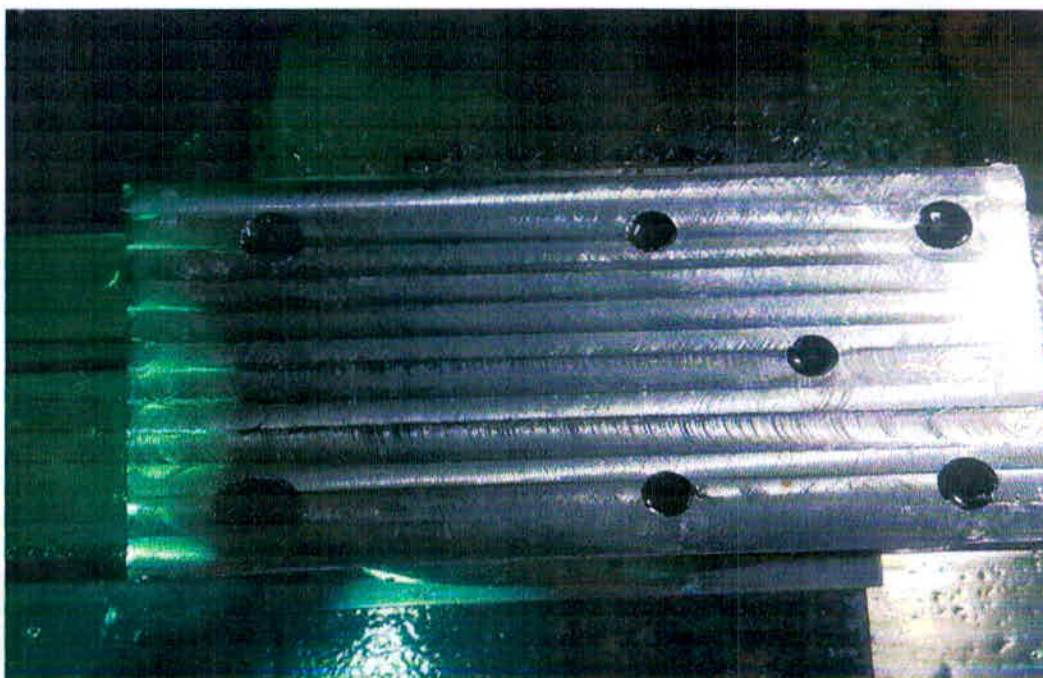
Após os 3 primeiros minutos de teste, observando os resultados, não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta (Figura 32), a aresta de corte esta em perfeitas condições, a peça ficou espelhada (Figura 33), e a máquina ainda utilizou apenas 3% de sua potencia no eixo árvore (Figura 34).

Figura 36- Resultado dos 6° minutos de teste



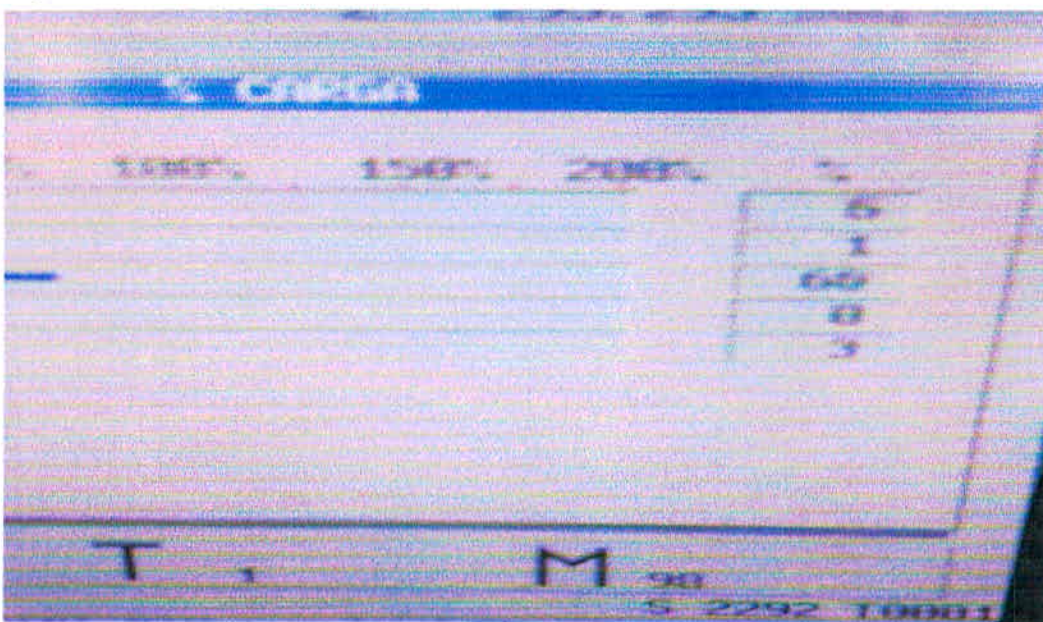
Fonte: o autor

Figura 37- Resultado dos 6º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 38- Resultado dos 6º minutos de teste

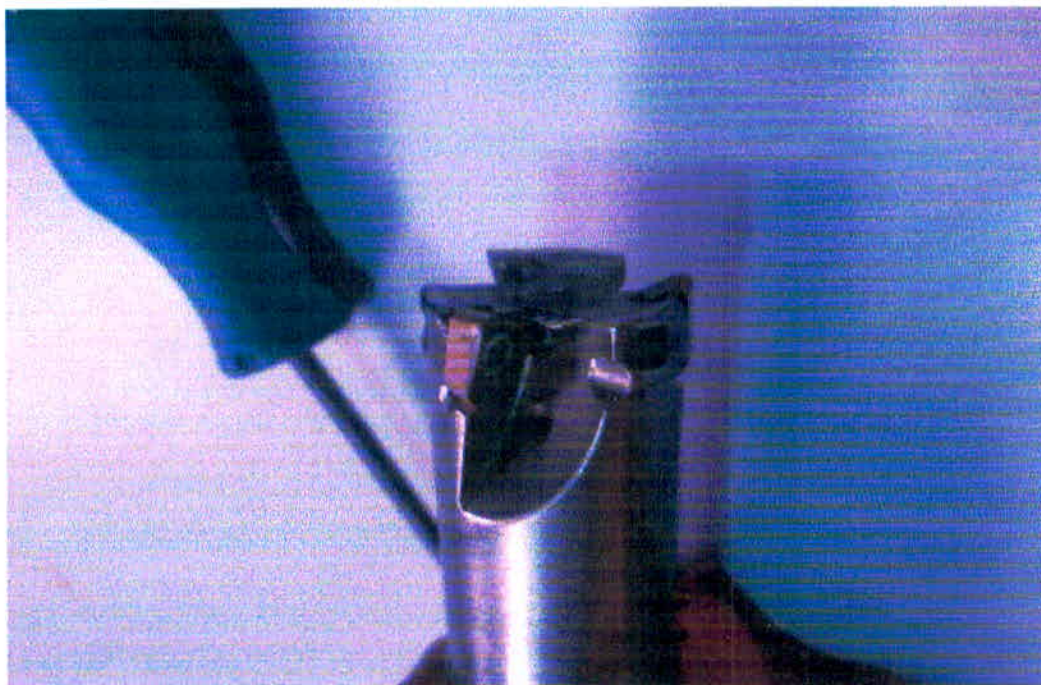


Fonte: o autor

Novamente avaliando a ferramenta, após 6 minutos de teste, não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, a aresta de corte não perdeu sua cobertura (Figura 35), a peça esta com

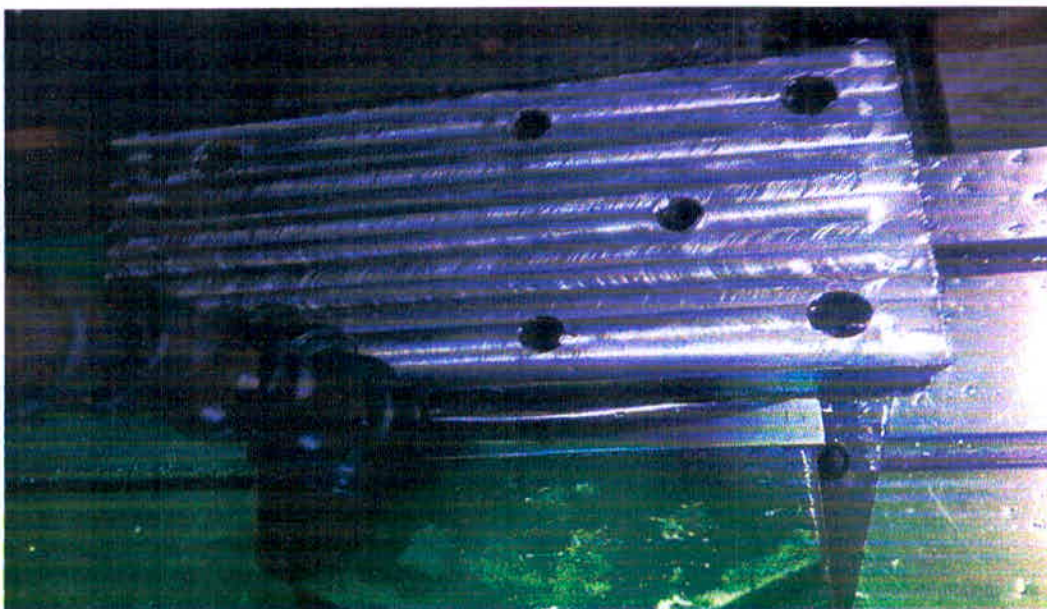
o acabamento superficial espelhado (Figura 36) e a máquina utilizou apenas 3% de sua potência máxima.

Figura 39- Resultado final do teste a seco



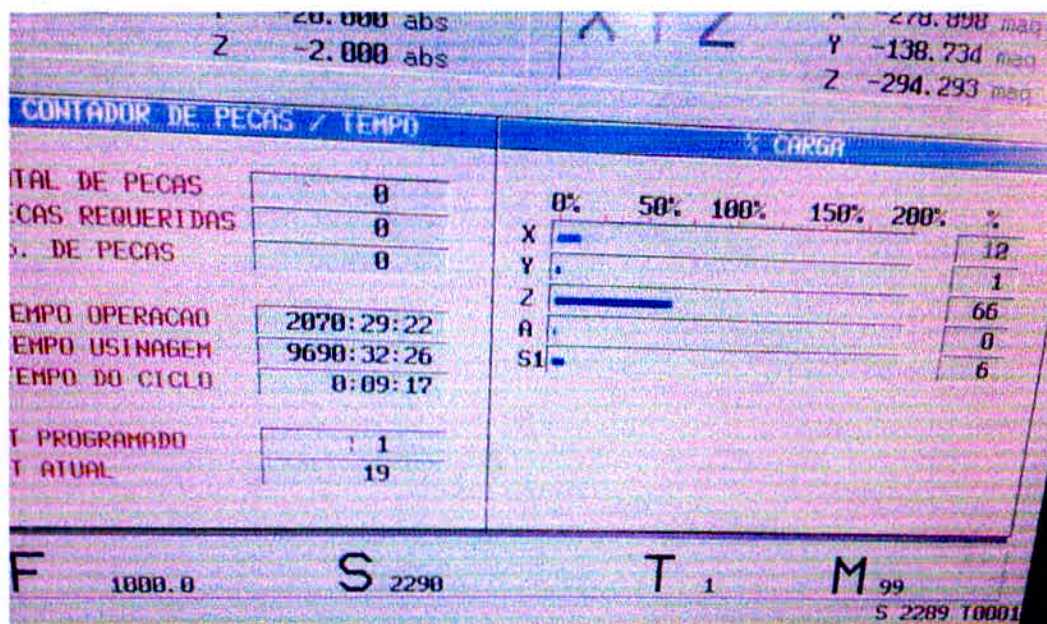
Fonte: o autor

Figura 40- Resultado final do teste a seco



Fonte: o autor

Figura 41- Resultado final do teste a seco



Fonte: o autor

Após os 9 minutos de teste, observando mais uma vez, não houve nenhuma fratura (Figura38), o acabamento superficial da peça ficou espelhado (Figura39), houve uma pequena queimadura no revestimento da aresta cortante (Figura38) e a máquina aumentou para 6% de sua potência (Figura40).

Finalizando o teste de corte utilizando ar comprimido, obtivemos os seguintes resultados; não houve trinca ou quebra da ferramenta, apenas uma pequena queimadura no revestimento de cobertura TiN na aresta de corte, a máquina aumentou de 3% para 6% e o acabamento superficial da peça ficou espelhado.

#### 4 CONCLUSÃO

A alta demanda de velocidade e baixo custo nos processos produtivos vêm sendo um dos principais motivos para se tentar novos processos de fresagem. Para isso, tanto os maquinários quanto a ferramenta de corte precisam ser adequadas para acompanharem a demanda de serviço e peças que precisam produzir.

Portanto, para que as necessidades dos consumidores satisfaçam, dando preferência a produtos produzidos com sustentabilidade, buscando seguir as normas e alternativas para se manter no mercado, considerando a escassez de matéria prima e os altos preços de aquisição de óleo solúvel, uma opção foi a usinagem a seco, onde não é necessário o uso de óleo solúvel.

Após 9 minutos de teste, concluiu tanto o processo de usinagem com óleo solúvel quanto o processo de ar comprimido, os resultados foram praticamente iguais; ambos com acabamentos espelhados e a mesma vida útil da ferramenta, porém o resultado com ar comprimido utilizou menos potência da máquina, sendo em tese o melhor para se trabalhar. Além de ser muito pouca a diferença, a usinagem a seco seria melhor, por causa do baixo custo e praticamente a mesma eficiência.

## REFERÊNCIAS

BOUZAKIS, K.D.; VIDAKIS, N.; MICHAILIDIS, N.; LEYEDECKER, T.; ERKENS, G., FUSS, G. **Quantification of properties modification and cutting performance of (TiAl)N coating at elevated temperatures**. Surface & coating technology v.120-121 p.34-43, 1999.

CIMM, Centro de Informação Metal Mecânica,  
<[http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/7058-os-materiais-das-ferramentas-de-corte](http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7058-os-materiais-das-ferramentas-de-corte)>. Acesso em 20 maio 2015

CIMM, Centro de Informação Metal Mecânica,  
<<http://www.cimm.com.br/portal/catalogo/detalhe/384>>. Acesso em 23 maio 2015

DINIZ, A. E., MICARONI, R. **Influence of the direction and flow rate of the cutting fluid on tool life in turning process of AISI 1045 steel**. International Journal of Machine Tools & Manufacture 47,p.247–254,2007.

FERRARESI, D., 1977, **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.

ISCAR **Conceitos básicos de usinagem**, 2001.

LIM, S C,LIM, C.Y.H; LEE, K.S. **The effects of machining conditions on the flank wear of TiN-coated high speed steel tool inserts**. Wear n 181-183, p. 901-902, 1995.

MACHADO, A. R., SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais**, Apostila, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 4ª Versão, 1999

OLIVEIRA C J., **Avaliação da Influência de Sistemas de Filtragem Aplicados a Topografia de Superfície em Usinagens** Dissertação de Mestrado PUC Minas, 2004.

ORNELAS SANTOS, J.A.B.; **Estudo da aplicação de revestimentos superficiais em Fresas Caracois** Dissertação de Mestrado no Curso de Engenharia Mecânica na PUC 2004

PANJAN, J., NAVINSEK, B.; CEKADA, M. **A new experimental method for studying the cracking behaviour of PVD multilayer coating** Surface and Coating Technology , nº 174-175, 55-62, 2003.

SALES W.F., GUIMARÃES G., A .R. MACHADO, EZUGWU E.O. **Cooling ability of**



**cutting fluids and measurement of the chip-tool interface temperatures.**

Industrial Lubrication and Tribology . vol. 54, n° 2, p. 57–68, 2002.

SANDVIK CROMANT. Disponível em:

<<https://www.sandvikcoromant.com.br/usinagens>>

SANTOS, S. C., SALES, W. F. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais,**

Apostila, PUC Minas, Belo Horizonte, MG. 2003.

SEDLACEK, M.; PODGORNIK, B.; VIZINTIN, J. **Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear** Wear , article in press, 2008.

SENAI SP. DRD. **Usinagem - tecnologia do corte.** São Paulo, 1998.

STEMMER, C.E. Ferramentas de Corte I. 6ª Edição revisada e ampliada. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005

TELES, J.M. **Torneamento de ferro fundido nodular ferritizado com nióbio utilizando ferramenta de metal duro** Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Itajubá dezembro, p.110, 2007.

TRENT, E.M., WRIGHT, P.K. **Metal Cutting,** 4rd Edition, Butterworths-Heinemann Ltda. 2000.

YUHARA, D. A. Aplicação de Revestimento PVD em Ferramentas de Corte. São Paulo, 2001 <http://www.Brasimet.com.br/artigos/REVESTIMENTOS.pdf>. Acesso em 16 maio 2015