

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**RAMON HENRIQUE D. CARDOSO**

N. CLASS.	M 671.35
CUTTER	C 268 a
ANO/EDIÇÃO	2013

**AVALIAÇÃO DO DESGASTE DA FERRAMENTA: avaliação do desgaste da pastilha de metal duro sem cobertura APLX LAMINA no fresamento do aço SAE 1020**

**Varginha**  
**2013**

**FEDECMT**

**RAMON HENRIQUE D. CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DO DESGASTE DA FERRAMENTA: avaliação do desgaste da pastilha de metal duro sem cobertura APLX LAMINA no fresamento do aço SAE 1020**

Trabalho Acadêmico apresentado para cumprir um dos requisitos para aprovação do 10º período do curso de Engenharia Mecânica, sob orientação da Prof. Esp. Rullyan Marques Viera

**Varginha  
2013**

**RAMON HENRIQUE D. CARDOSO**

**AVALIAÇÃO DO DESGASTE DA FERRAMENTA: avaliação do desgaste da pastilha de metal duro sem cobertura APLX LAMINA no fresamento do aço SAE 1020**

Trabalho Acadêmico apresentado ao Esp. Rullyan Marques Viera do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS-MG, como um dos requisitos para aprovação no curso de Engenharia Mecânica.

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

---

Prof Me. Luis Carlos Viera Guedes

---

Prof Me. Joao Mario Mendes de Freitas

---

Prof Esp. Rullyan Marques Viera

OBS.:

Dedico este trabalho aos colegas e familiares  
que ajudaram na realização do mesmo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores e amigos por terem ajudado na construção deste trabalho.

"É preciso menos tempo para fazer algo da maneira certa do que explicar por que foi feito da maneira errada."

Henry Longfellow

## 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 presente trabalho tem o objetivo de apresentar o resultado da avaliação da influencia do óleo solúvel no processo de fresamento do aço SAE 1020, utilizando fluido emulsificável e a seco, no desgaste da ferramenta de corte sem revestimento. Para obtenção dos resultados, foram usados dois blocos quadrados do aço SAE 1020 que foram fresadas em máquina CNC, utilizando 200m/min de velocidade do corte e 0,12mm/rev para cada aresta de corte, no caso 2 (dois), com 1mm de AP (profundidade de corte).

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

## **ABSTRACT**

*The metalworking industry increasingly requires the development of manufacturing processes, especially the modernization of machine tools and the constant evolution of cutting tools. This study evaluates the influence of soluble oil in the milling process of SAE 1020 steel, using fluid sentimental and dry on the wear of the cutting tool without coating. To obtain the results, we used two blocks square of SAE 1020 steel that were milled on a CNC machine using the cutting speed of 200m/min and 0.12 mm / rev for each cutting edge, in this case two (2), with 1mm AP (depth of cut).*

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

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Flanco de uma ferramenta comprometido pelo aparecimento de trincas.....	16
<b>Figura 2</b> - Avaria em forma de lascamento.....	17
<b>Figura 3</b> – Ferramenta de corte com a ponta quebrada.....	18
<b>Figura 4</b> – Sentindo prático da aplicação do fluido de corte.....	19
<b>Figura 5</b> – Fluido sendo aplicado sobre fixoflex.....	20
<b>Figura 6</b> – ferramenta de corte vazada.....	20
<b>Figura 7</b> – Textura de uma superfície mostrando efeitos de rugosidade.....	22
<b>Figura 8</b> – – Esquema de um instrumento de controle de superfície.....	23
<b>Figura 9</b> – Centro de usinagem ROMI.....	24
<b>Figura 10</b> – Suporte de diâmetro de 16 mm montado na cone.....	25
<b>Figura 11</b> – Caixa da pastilha e suporte utilizado.....	26
<b>Figura 12</b> - Usinagem utilizando óleo solúvel.....	26
<b>Figura 13</b> - Resultado do primeiros 5 minutos de teste.....	27
<b>Figura 14</b> – Resultado do primeiros 5 minutos de teste.....	27
<b>Figura 15</b> – Resultado do primeiros 5 minutos de teste.....	28
<b>Figura 16</b> – Resultado do 10º minutos de teste.....	28
<b>Figura 17</b> – Resultado do 10º minutos de teste.....	29
<b>Figura 18</b> – Resultado do 10º minutos de teste.....	29
<b>Figura 19</b> – Resultado do 15º minutos de teste.....	30
<b>Figura 20</b> – Resultado do 15º minutos de teste.....	30
<b>Figura 21</b> - Resultado do 15º minutos de teste.....	31
<b>Figura 22</b> - Resultado do 20º minutos de teste.....	31

<b>Figura 23</b> – Resultado do 20º minutos de teste .....	32
<b>Figura 24</b> – Resultado do 20º minutos de teste .....	32
<b>Figura 25</b> – Resultado do 25º minutos de teste .....	33
<b>Figura 26</b> – Resultado do 25º minutos de teste .....	33
<b>Figura 27</b> – Resultado do 25º minutos de teste.....	34
<b>Figura 28</b> – Usinagem utilizando ar comprimido .....	34
<b>Figura 29</b> – Resultado do 5º minutos de teste a seco .....	35
<b>Figura 30</b> – Resultado do 5º minutos de teste a seco .....	35
<b>Figura 31</b> – Resultado do 5º minutos de teste a seco.....	36
<b>Figura 32</b> - Resultado do 10º minutos de teste a seco.....	36
<b>Figura 33</b> - Resultado do 10º minutos de teste a seco.....	37
<b>Figura 34</b> – Resultado do 10º minutos de teste a seco .....	37
<b>Figura 35</b> – Resultado do 15º minutos de teste a seco .....	38
<b>Figura 36</b> – Resultado do 15º minutos de teste a seco.....	38
<b>Figura 37</b> – Resultado do 15º minutos de teste a seco.....	39
<b>Figura 38</b> – Resultado do 20º minutos de teste a seco .....	39
<b>Figura 39</b> – Resultado do 20º minutos de teste a seco .....	40
<b>Figura 40</b> – Resultado do 20º minutos de teste a seco .....	40
<b>Figura 41</b> – Resultado do 25º minutos de teste a seco .....	41
<b>Figura 42</b> – Resultado do 25º minutos de teste a seco .....	41
<b>Figura 43</b> – Resultado do 25º minutos de teste a seco .....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 USINAGEM.....</b>	<b>12</b>
2.1 Materiais da ferramenta de corte.....	13
2.2 Ferramenta revestida.....	13
2.3 Desgaste da ferramenta de corte.....	14
2.4 Formas de desgaste de ferramenta de corte.....	15
2.4.1 Trinca.....	15
2.4.2 Lascamento.....	16
2.4.3 quebra.....	17
2.5 Fluido de corte.....	18
2.6 Método de aplicação de fluido de corte.....	19
2.7 Usinagem a seco.....	21
2.8 Integridade superficial.....	21
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1 Materiais e Métodos Experimentais.....	24
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho iria avaliar a influencia dos parâmetros avanço e velocidade de corte no processo de fresamento do aço SAE 1020, utilizando fluido emulsionável e a seco. Para obter os resultados será usada apenas uma velocidade de corte e um avanço determinado para melhor avaliar o desgaste da ferramenta.

O aço SAE 1020 é um dos aços ao carbono mais comum utilizado como aço para cementação com excelente relação custo benefício comparado com aços mais ligados para o mesmo propósito. Possui excelente plasticidade e soldabilidade. Mas possui menor capacidade de endurecimento. É utilizado em componentes mecânicos de uso como engrenagens, eixos, eixos-comando, pinos guia, anéis de engrenagem, colunas.

Em usinagem, fluido de corte é aplicado para aumentar a produção, qualidade de superfície, reduzir custo e aumentar lucro. Teste de desempenho é um pré-requisito para seleção ótima e aplicação de fluido de corte e sua importância são crescentes em conexão com a necessidade para documentação de novos fluidos de corte baseados em produtos sustentáveis, corte com mínima quantidade de fluido e a seco. Fluido de corte também pode ser prejudicial em operações de corte intermitentes tais como fresamento. A oscilação de temperatura promovida pelo fluido causa variações de tensões na ferramenta promovida pelo fluido causa variações de tensões na ferramenta ocasionando trincas perpendiculares a aresta de corte (VIERA, J.M. et. al., 2001). Atualmente, devido ao preço dos fluidos, utilizados na refrigeração 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.

Com isso, nesse presente trabalho irei demonstrar resultados tanto no corte a seco quanto no corte com fluido de corte. Comparando a usinabilidade do aço SAE 1020 nos dois processos, avaliar a influencia dos fluidos de corte na qualidade das superfícies usinadas, avaliar o desgaste das pastilhas de metal duro APLX LAMINA no fresamento e definir qual o melhor processo de usinagem para o aço SAE 1020.

## 2 USINAGEM

A usinagem é um processo utilizado na fabricação de componentes voltados aos diversos setores industriais. Estima-se que em torno de 15 a 20% de todo aço produzido no mundo seja transformado e removido por usinagem na forma de cavaco, o que evidencia que este processo apresenta perspectivas reais de aprimoramento, tanto no equipamento quanto na operação. A tendência mundial da indústria de usinagem é produzir peças complexas com dimensional/tolerâncias geométricas bem definidas, acabamento superficial esmerado, baixo custo e sem poluir o meio ambiente.

O processo de usinagem é complexo, envolvendo fenômenos com 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 o que pode ser superado, as vezes, pela utilização de medição indireta através de sensores. A evolução diz respeito a usinagem a elevadas velocidade de corte, realizada em máquinas ferramentas com os recursos de comando numérico.

Na usinagem, o fresamento se caracteriza por uma ferramenta chamada fresa provida de aresta cortante dispostas simetricamente em torno de seu eixo. O movimento de corte é proporcionado pela rotação da fresa ao redor do eixo, o movimento de corte é proporcionado pela rotação da fresa ao redor do eixo, o movimento de avanço feito pela peça que esta fixada na mesa da maquina (DINIZ, A.E. et. al., 2000). Por causa de um grande numero de dentes a taxa da remoção do metal é freqüentemente elevada. O fresamento é usado para produção de formas curvadas, cavidades, e em função da posição do eixo - arvore da maquina ferramenta, se classifica em horizontal (eixo - arvore posição horizontal), vertical ou inclinado.

Quando a superfície obtida não for plana ou o eixo de rotação da ferramenta for inclinado em relação a superfície originada na peça, considera-se à obtenção de superfície plana perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta.

O cavaco é definido como a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular (FERRARESI, D., 1977). A usinabilidade de um material pode ser quantificada levando- se em consideração o numero de componentes produzidos por horas, o custo de usinagem do componente ou qualidade final da superfície trabalhada (TRENT,E.M. et. al., 2000).

## 2.1 Materiais da ferramenta de corte

Considera-se uma serie de fatores na seleção do material da ferramenta de corte a ser utilizado, dentre eles a microestrutura do material a ser usinados, dureza e tipo de cavaco, processo de usinagem, condições da maquina operatriz, forma e dimensões da própria ferramentas, custo do material da ferramenta (alta dureza a quente, resistência ao desgaste, tenacidade, estabilidade química)

As ferramentas de aço carbono e baixa liga, são de custo mais baixo, maior disponibilidade, melhor usinabilidade, facilidade de tempera, 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 ligas 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 uma material mais resistente ao desgaste, como o TiN, TiC, aplicados pelos processos CVD e PVD.

A ferramenta de metal duro é um produto da metalurgia do pó feito de partículas duras finamente divididas de carbonetos de metais refratários, sintetizados com um ou mais metais do grupo do ferro (níquel, ou cobalto). As partículas duras são WC em combinação com outros TiC, TaC e NbC. Este material de ferramenta combina dureza a alta temperatura e tenacidade, devido a sua variação de composição (DINIZ, A.E. et. al., 2000)

## 2.2 Ferramentas revestidas

A importância dos revestimentos cresceu na indústria metal mecânica, em particular 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, propiciando 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 a corrosão), tanto na

temperatura ambiente quanto a temperatura mais elevadas (BOUZAKIS, K.D. et. al., 1999) Todas as ferramentas de corte podem ser revestidas, e este revestimento deve ser procedido de estudo técnico e econômico.

No processo de revestimento, ocorrem reações heterogêneas nas quais difusão dos reagentes, absorção e desorção dos compostos pela peça ocorrem ao longo do evento. Na inspeção final, verifica-se composição química da camada, estrutural, aderência ao substrato e propriedade mecânica (ORNELAS SANTOS, J.A.B., 2004).

A maioria dos trabalhos em fresamento foi conduzida em velocidade de corte maior que 100m/min e, em alguns casos, menores velocidades são inevitáveis. Fresa com diâmetro de 2mm por exemplo, para fazer aberturas em superfícies de metal duro. LIEW, W.Y.H. et. AL., 2008 mostraram que revestimento de TiN é efetivo em inibir o início de propagação de trinca no substrato.

Os revestimentos comerciais usados usualmente e indústria de ferramenta para usinagem são carboneto de titânio (TiN) e óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) ( processo CVD), nitreto de titânio (TiN), carboneto de titânio(TiCN) ( processo PVD); nitreto de cromo alumínio (AlCrN).

A dureza do revestimento de TiN é de 2300HV 50gf com espessura da camada entre 0,001 a 0,004mm, coeficiente de atrito a seco com aço de 0,4 e tensão interna de -2,5GPa. A temperatura máxima de trabalho é de 600°C e a coloração amarela (PRENGEL, H.G. et. al., 1998). SANTNER, E. et. al., 1995 mostraram a possibilidade de pré-selecionar revestimento para ferramentas de fresamento com redução de tempo e custo. Os resultados dos testes de fresamento com redução de tempo e custo.

### **2.3 Desgastes de ferramenta de corte**

O desgaste da ferramenta de corte pode ser avaliado através dos métodos direto e indireto. 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 das 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.

## **2.4 Formas de desgaste de ferramenta de corte**

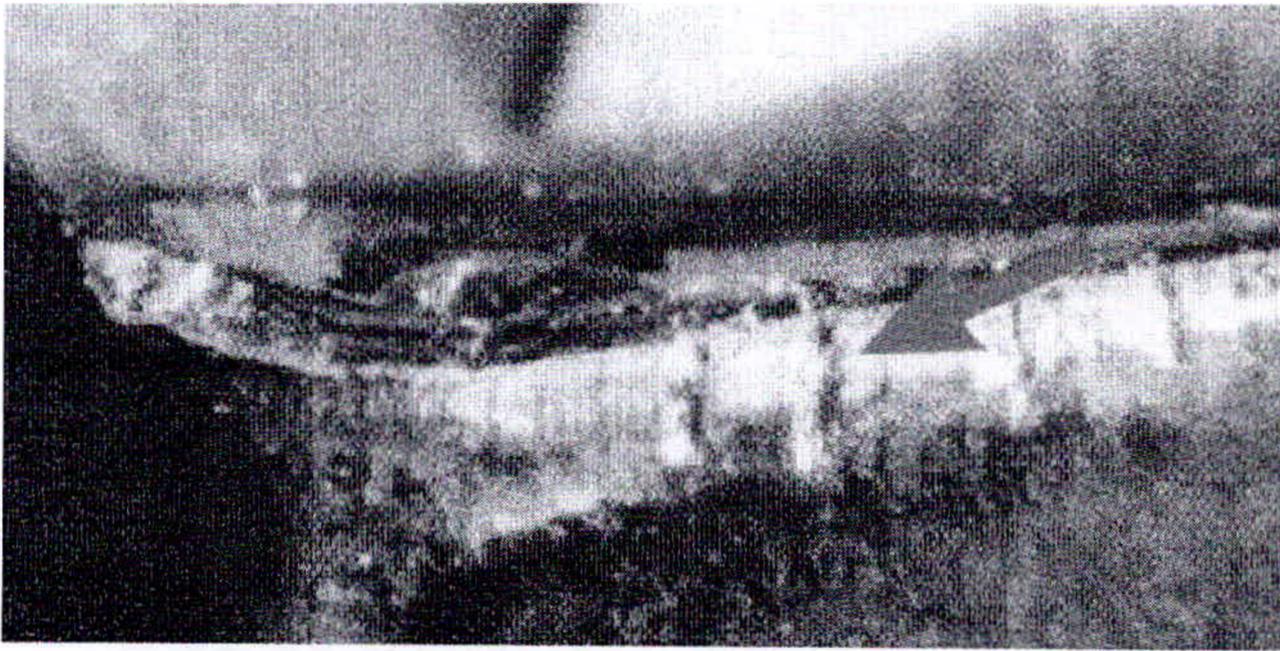
O desgaste de cratera ocorre na superfície de saída da ferramenta originando pelo atrito entre ferramenta e cavaco. O crescimento do desgaste de cratera resulta na quebra da ferramenta, quando esse se encontra com o desgaste de flanco evoluído. O desgaste de flanco ocorre na superfície de folga da ferramenta, causando pelo contato da falha da ferramenta, sendo a forma de desgaste mais comum, e definidor da falha da ferramenta (DINIZ, A.E. et. al., 2000).

Em condições de operação, um entalhe é formado na aresta principal de corte, na extremidade livre do cavaco, levando ao enfraquecimento da aresta de corte. Entalhes menores, também, são formados na aresta secundária de corte, influenciando principalmente o acabamento superficial produzido.

### **2.4.1 Trica**

As trincas podem ser de origem térmica e mecânica. Elas ocorrem principalmente devido a carregamentos térmicos cíclicos e aos impactos de entrada e saída da ferramenta na peça. Aparecendo com relativa frequência em materiais de metal duro. A formação e propagação das trincas estão diretamente relacionadas com a tenacidade do material, pois além da nucleação é preciso energia suficiente para romper às barreiras que impedem sua propagação ao longo do material. Cuidado especial deve ser tomado na seleção dos materiais sujeitos a condições de corte desfavoráveis, pois o tamanho de grão influencia decisivamente no mecanismo. As regiões de contorno de grão formam barreiras naturais à propagação das trincas. Por isso, materiais com tamanho de grão refinado tendem a ter maior tenacidade e suportar melhor os carregamentos cíclicos durante o fresamento. A Figura 1 mostra o flanco de uma ferramenta comprometido pelo aparecimento de trincas de origem térmica.

Figura 1- Flanco de uma ferramenta comprometido pelo aparecimento de trincas de origem térmica.

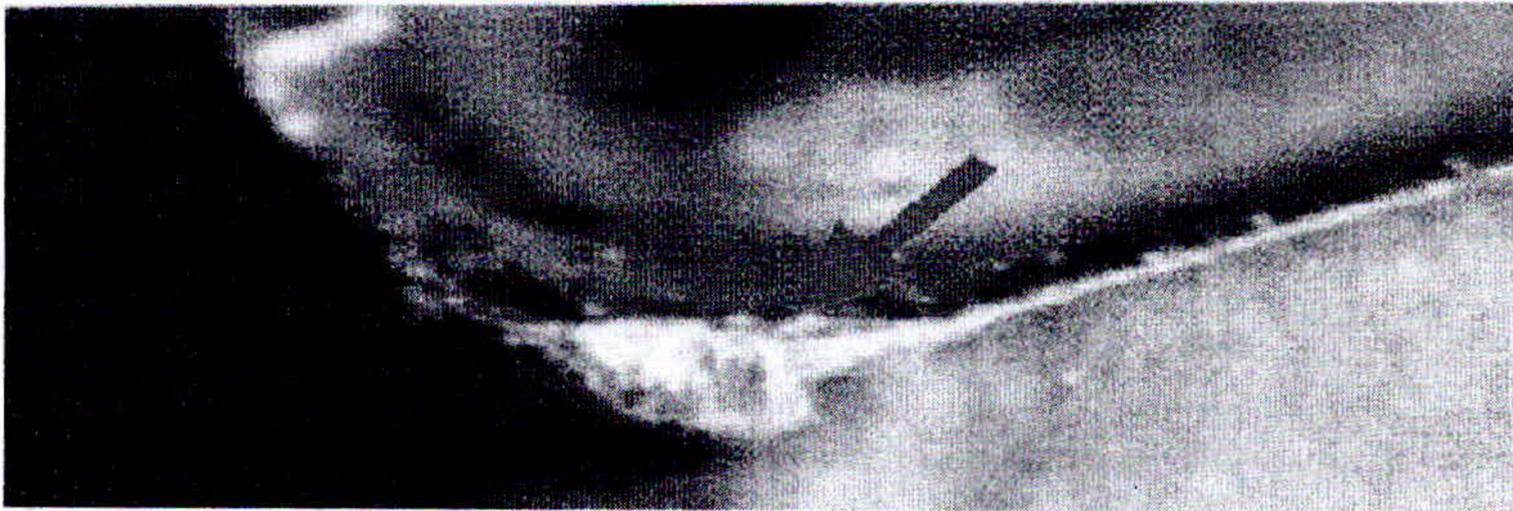


Fonte:(SANDIK-COROMANT, 1999)

#### 2.4.2 Lascamento

O lascamento ocorre principalmente devido a sobrecargas mecânicas ou aliado à propagação das trincas. À medida que se aumenta a velocidade de avanço, cresce também a espessura do cavaco e conseqüentemente as forças de corte, aumentando também a chance de ocorrer o lascamento com a remoção repentina de parte considerável da ferramenta. Frequentemente o lascamento (figura 2) está relacionado às discontinuidades durante o corte, principalmente ao utilizar ferramentas de baixa tenacidade. No fresamento os vários ciclos de entrada e saída dos dentes podem causar variações instantâneas severas nas forças de corte, sendo suficientes para romper parte da região sobrecarregada. Para evitar este problema são necessários cuidados especiais com relação aos ângulos de corte e estratégias de início e final do corte.

Figura 2 - avaria em forma de lascamento

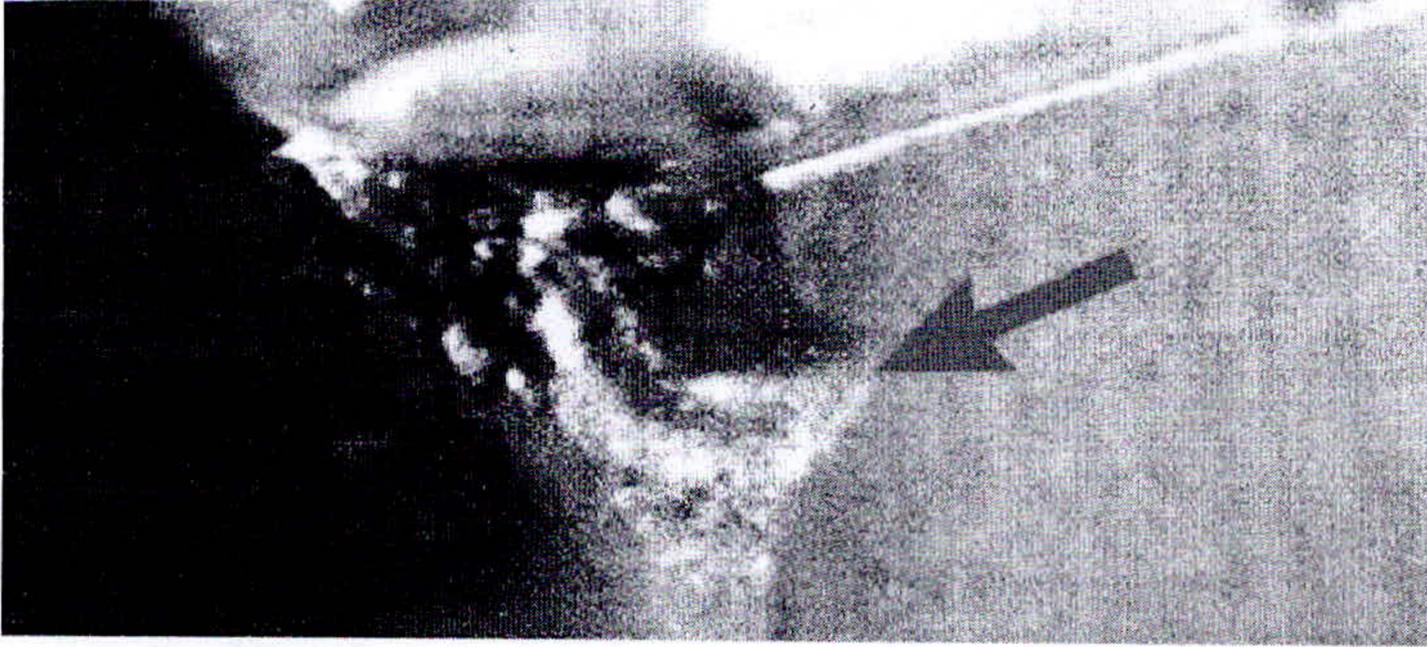


Fonte:(SANDIK-COROMANT, 1999)

### 2.3.3 Quebra

A avaria mais severa que pode ocorrer numa ferramenta é a quebra propriamente dita (figura 3). Neste caso ocorrem danos de grandes proporções que a tornam inoperante. A quebra pode ocorrer instantaneamente, causada por choques mecânicos mais severos ou evoluir a partir das trincas e lascamentos localizados, levando à perda da função de corte, e, conseqüente sobrecarga da ferramenta. Outros acontecimentos como interrupções repentinas durante o corte (*ie.* quedas de energia elétrica), falta de espaço para saída do cavaco, inclusões duras no material da peça podem ocasionar quebras repentinas na ferramenta (DINIZ *et al.*, 2006 *apud* FERRER, 2006). Cuidados especiais devem ser tomados como precaução para evitar as quebras no HSC, pois a alta energia liberada após quebras mais severas pode comprometer a segurança do processo, pondo em risco não somente o equipamento e a peça, mas também a própria segurança do operador.

Figura 3 -ferramenta de corte com a ponta quebrada, sem a presença visível da atuação dos outros mecanismos envolvidos nas avarias (trincas e lascamentos).



Fonte: (SANDIK-COROMANT, 1999)

## 2.5 Fluidos de corte

As principais funções do fluido de corte são de lubrificar a baixas velocidades de corte, refrigeração a altas velocidades de corte, e, menos importante, ajudar a retirar o cavaco da zona de corte e proteger a máquina ferramenta e a peça de corrosão atmosférica (SANTOS, S.C. et. al., 2003).

A produtividade impulsionou o estudo e o desenvolvimento de vários tipos de fluidos de corte ao longo dos anos e, principalmente, nas últimas décadas (SILVA, M.B. et. al., 1998).

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

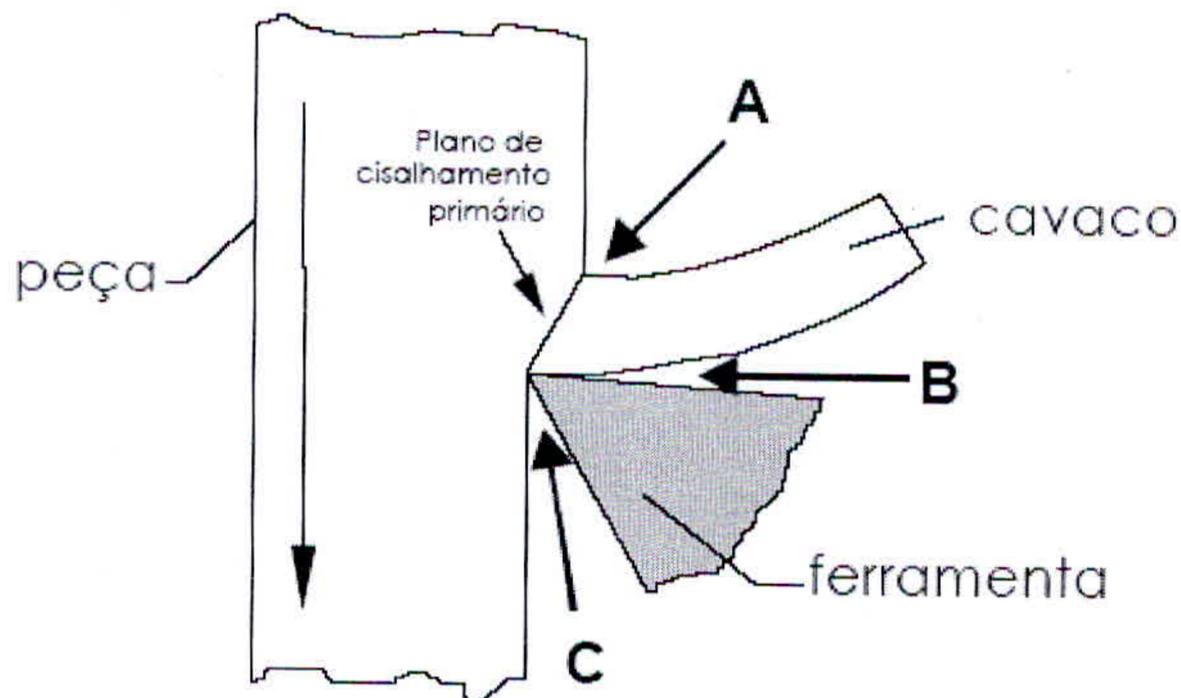
Fluido de corte é a escolha convencional pra tratar deste problema. Eles são introduzidos na zona de usinagem para melhorar as características tribológicas dos processos de usinagem e, também, dissipar o calor gerado. No entanto, a aplicação dos fluidos de corte convencionais produz alguns problemas tecno – ambientais tais como, poluição ambiental, problemas biológicos para os operadores, poluição das águas e acréscimo no custo de fabricação total. Todos esses fatores contribuem para a investigação da utilização dos fluidos biodegradáveis e usinagem livre de refrigeração.

## 2.6 Métodos de aplicação dos fluidos de corte

A principal finalidade de se usar o fluido do corte em processos é reduzir temperatura de corte na zona do corte, a fim de aumentar a vida da ferramenta. As vantagens desde uso, entretanto, tem 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 4 - Sentindo prático da aplicação do fluido de corte

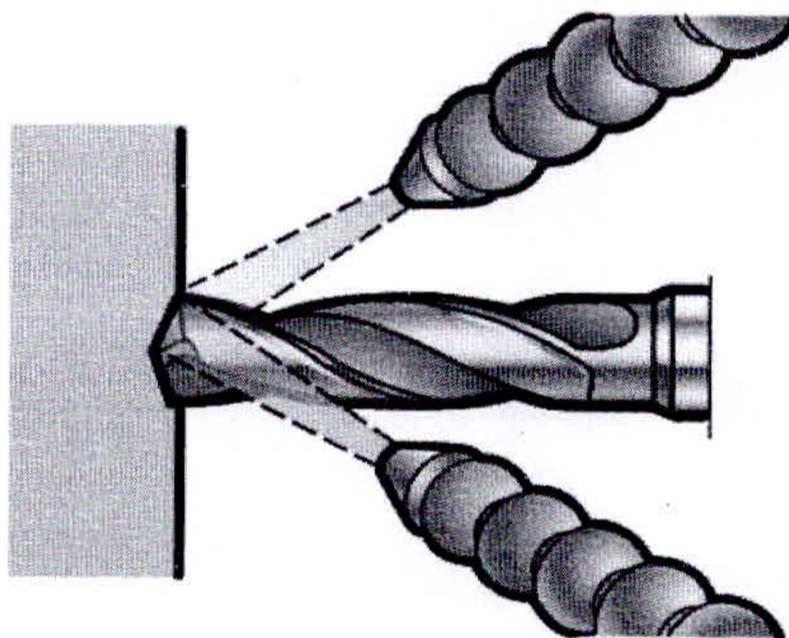


Fonte: (MACHADO, A.R. et. al., 1999)

O fluido de corte pode, também, ser aplicado sob diversas direções ou vazões, posicionando na interface cavaco-ferramenta ou na peça. São inúmeras as combinações possíveis para a sua aplicação, mais, atualmente, os métodos mais utilizados são o jorro do fluido a baixa pressão (figura 5), ou por meio de gravidade, sendo este sistema o mais usado devido a 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 a superfície fraturada do cavaco, sendo arrastado para fora da interface cavaco-ferramenta, dispensando dispositivos especiais (SANTOS, S.C. et. al. , 2003).

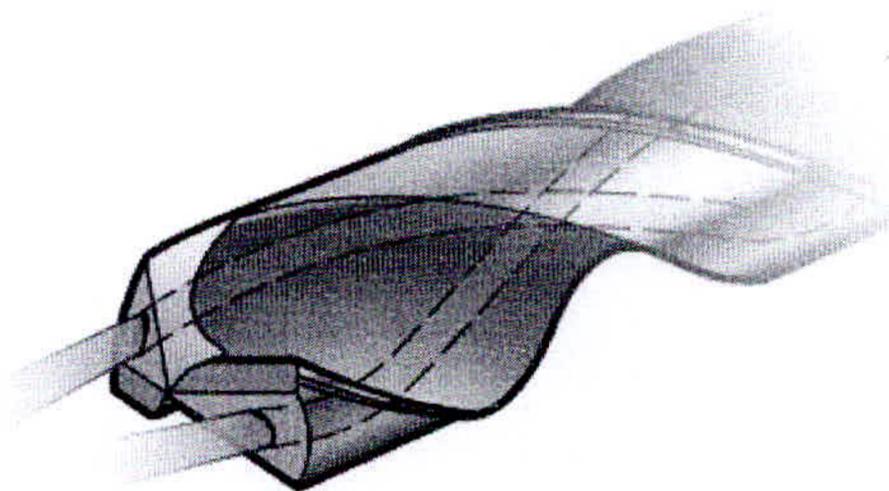
Figura 5 - Fluido sendo aplicado sobre fixoflex



Fonte: (SANDIK-COROMANT, 1999)

Como principal objetivo de incrementar na interface cavaco-ferramenta, foi desenvolvido um sistema em que o conjunto suporte e ferramenta de corte é vazado (figura 6), permitindo o fluido passar pelo seu interior, chegando até a superfície de saída da ferramenta (ISCAR, 2001).

Figura 6 - ferramenta de corte vazada



Fonte: (SANDIK-COROMANT, 1999)

## **2.7 Usinagem a seco**

A tendência para solucionar os problemas ambientais, de saúde e econômicos é a utilização da usinagem sem fluido de corte, conhecida como usinagem a seco, que está sendo cada vez mais viabilizada devido às constantes inovações tecnológicas. Contudo, a condição prévia que deve ser encontrada para ocorrer tal mudança é manter os tempos de corte, vidas das ferramentas e qualidade das peças usinadas no mesmo nível daquele que se têm quando se usina com fluidos de corte.

O tempo de vida da ferramenta e a qualidade superficial da peça pelo menos semelhantes a 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 a seco (associadas à usinagem de ferro fundido), maior sollicitação térmica da peça, provocando um efeito negativo na qualidade da peça e necessitando de ferramentas especiais (SALES, W.F. et. al., 2002).

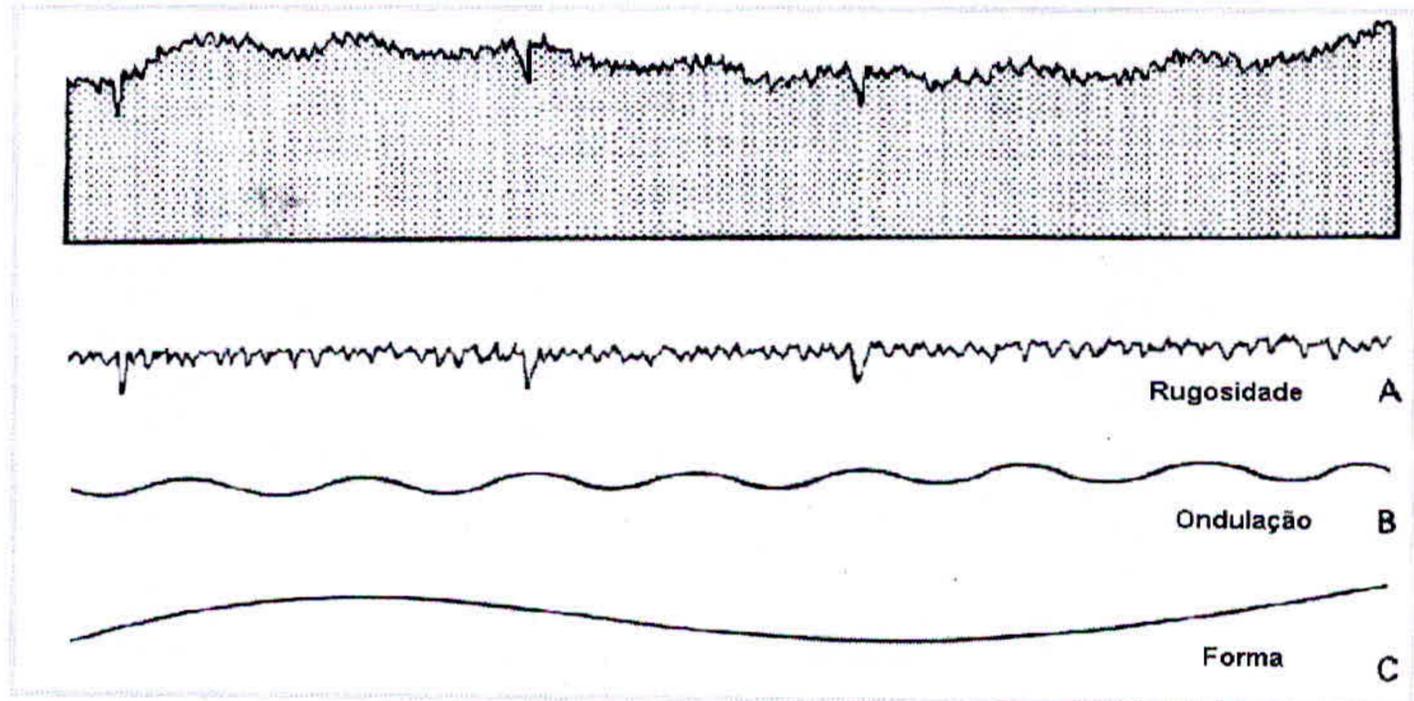
## **2.8 Integridade superficial**

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

Integridade superficial é uma medida da qualidade de uma superfície usinada e interpretada com elementos que descrevem a estrutura real da superfície e subsuperfície.

Nas superfícies existe irregularidades tais como alturas, espaçamentos e formas. Ao examinar uma superfície real, pode-se ver o padrão dos picos e vales que podem se irregulares ou repetitivos (figura 7).

Figura 7 - Textura de uma superfície mostrando efeitos de rugosidade (A), Ondulações (B), e erro de forma (C).



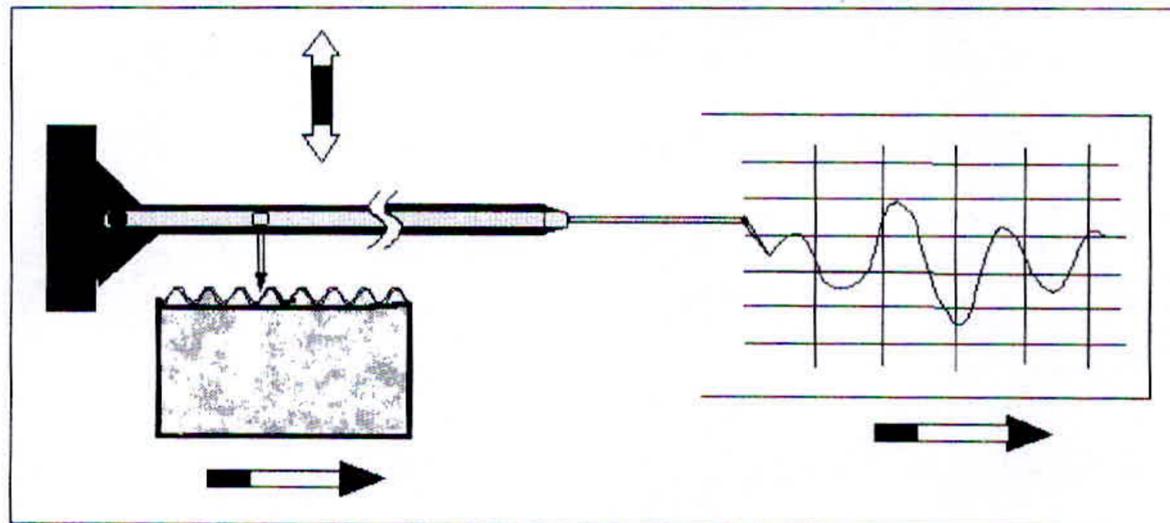
Fonte: (OLIVEIRA, C.J., 2004)

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

- a) Rugosidade superficial é finas irregularidades resultantes de ação inerentes do processo de corte, ou seja, marcas de avanço. A altura ou profundidade media 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, causando por deflexões e vibrações da ferramenta ou 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 uma apalpador, que percorre todas as irregularidades da superfície e envia uma sinal para um transdutor que transforma o sinal mecânico em eletrônico (figura 8).

Figura 8 - Esquema de um instrumento de controle de superfície



Fonte: (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 contatos superficiais (SEDLACEK, M. Et. al., 2008).

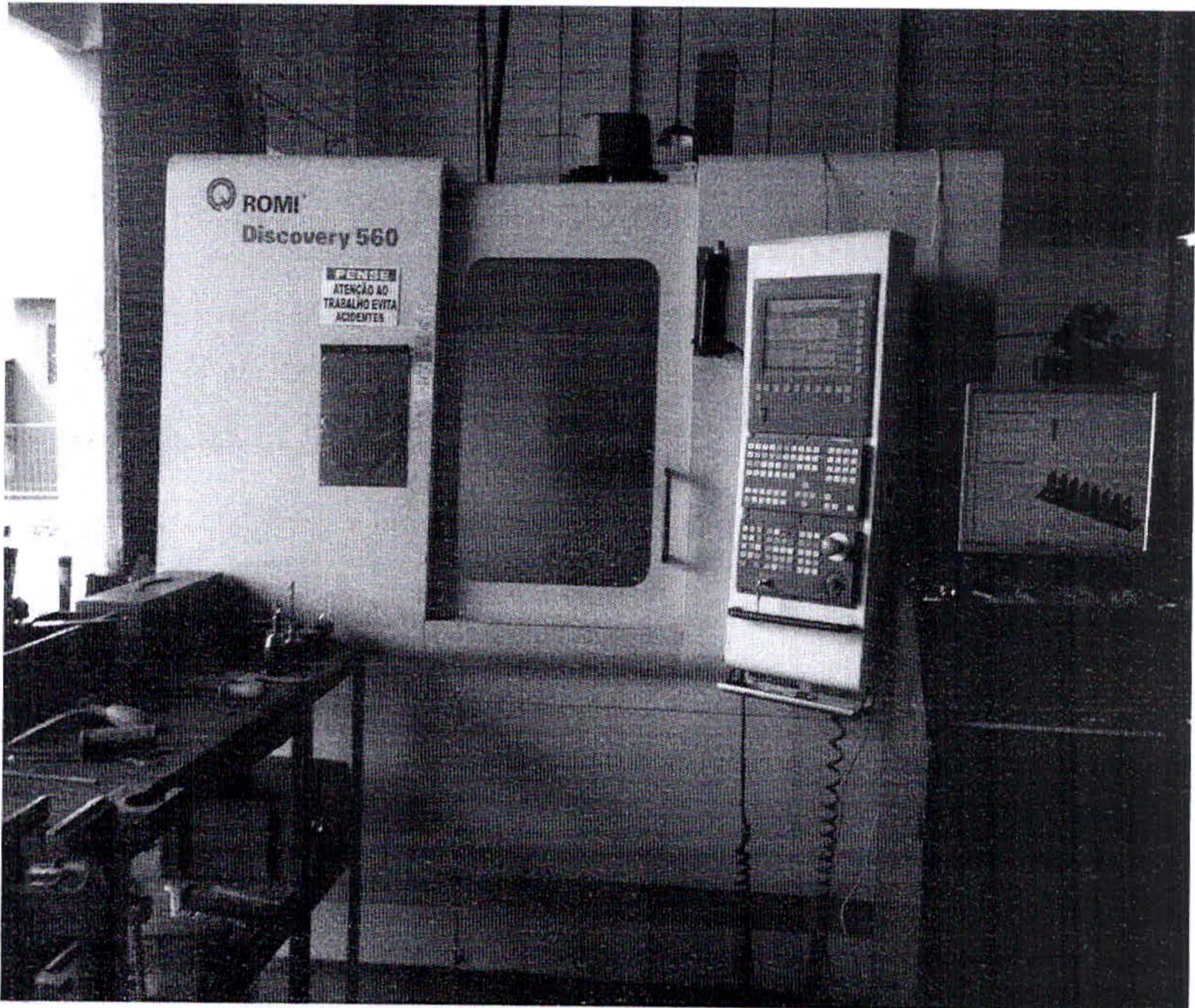
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais e Métodos Experimentais

O material utilizado para realização deste teste foi o aço SAE 1020, na forma cubo retangular 82x62x62mm.

Tanto as operações de fresamento quanto a programação do fresamento foram realizadas na empresa WB Ferramentaria na cidade de Varginha, em um centro de usinagem de fabricação da ROMI, modelo Discovery 560 (figura 9).

Figura 9 – Centro de usinagem ROMI



Fonte: o autor

Na realização dos ensaio, foi utilizado velocidade de corte de 200m/min, e avanço de corte de 0,12mm/rev por pastilha, com profundidade de corte constante de 1mm. (Tabela 1).

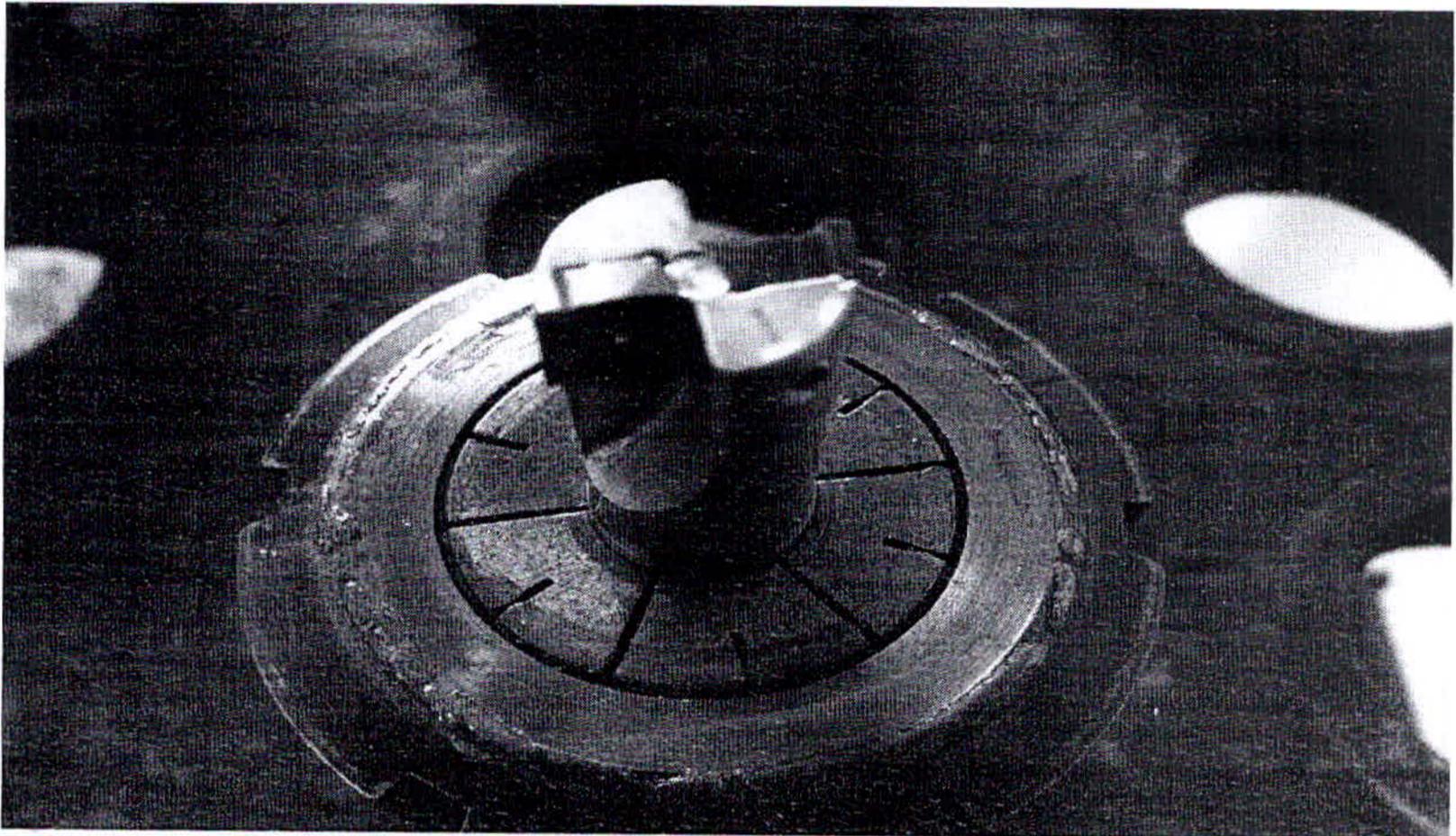
Tabela 1 – Parâmetro de corte utilizado no fresamento

<b>Parâmetros de corte</b>	
Velocidade de corte	200 m/min
Profund. de corte	1 mm
Avanço por pastilha	0,12 mm/ver

Fonte: o autor

O conjunto ferramenta-porta-ferramenta (figura 10), tem fixação mecânica por interferência. O diâmetro da fresa utilizada foi de 16 mm de diâmetro, sem um canal interno para aplicação do fluido de corte. Na fresa foram montadas as duas (2) pastilhas de corte fixadas por parafuso, com o auxílio de uma chave fornecida juntamente com o porta-ferramenta.

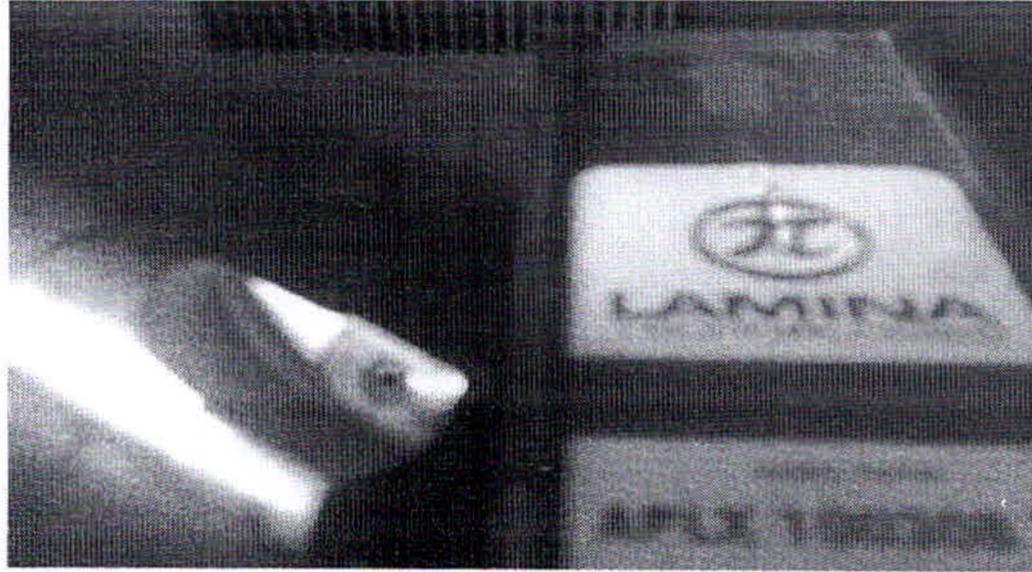
Figura 10 – Suporte de diâmetro de 16 mm montado na cone



Fonte: o autor

As pastilhas utilizadas no fresamento, foram de metal duro, sem revestimento, fabricadas peça LAMINA, modelo APLX 100308 PDT.

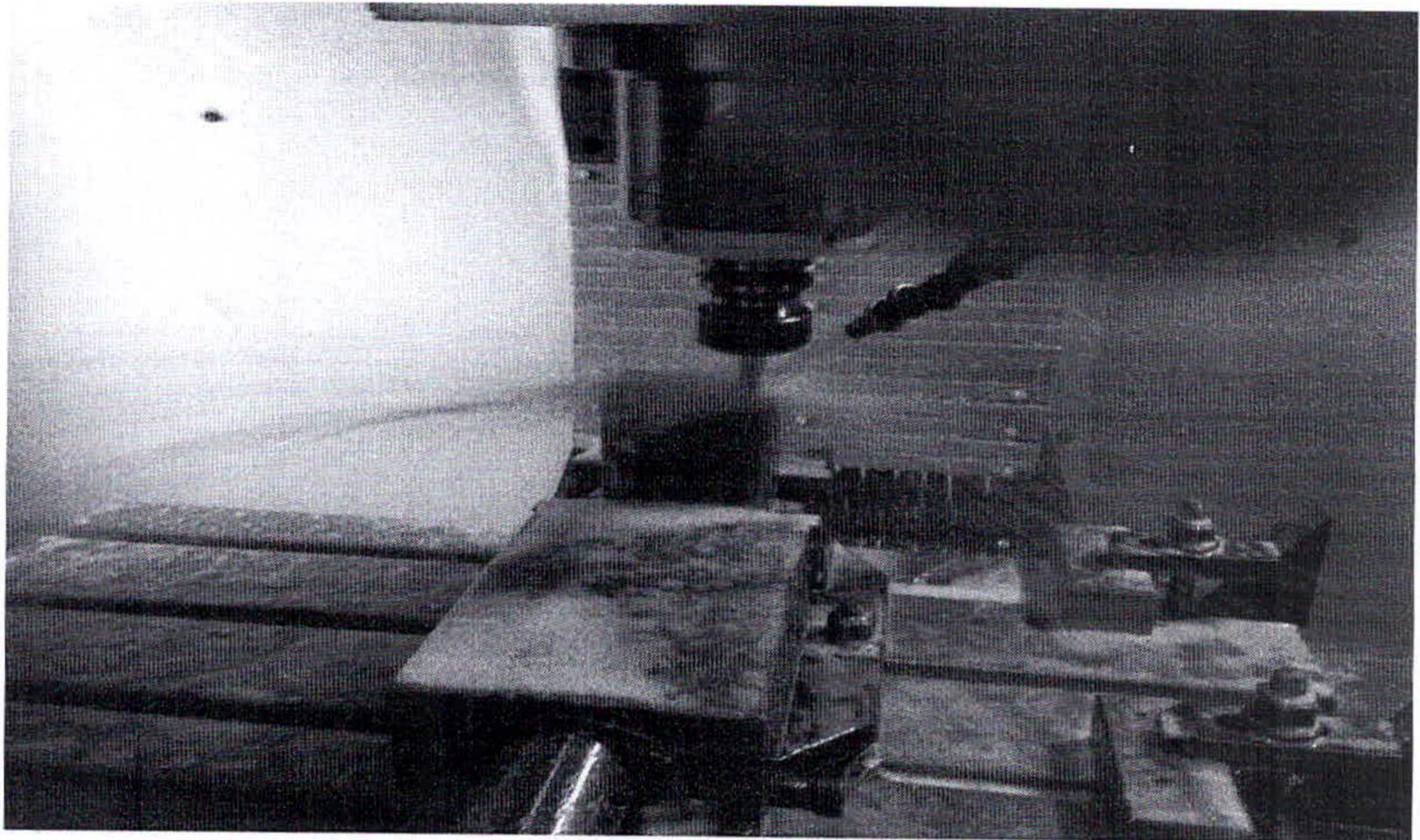
Figura 11 – Caixa da pastilha e suporte utilizado



Fonte: o autor

Os ensaios foram realizados a seco (sem fluido de corte), e com fluido de corte aplicado por fixoflex (figura 11). O fluido de corte é o Castrol Honilo® 980 S emulsionável na água, fabricado pela Castrol, na concentração de 1 litro de óleo para 30 litros de água. Para o sistema de aplicação do fluido, a vazão foi constante de 15 l/min, circulando no sistema com uso de uma bomba de alta potência com pressão de 10 bar. O desgaste da pastilha e o acabamento superficial foram avaliados visualmente a cada 5 minutos de fresamento.

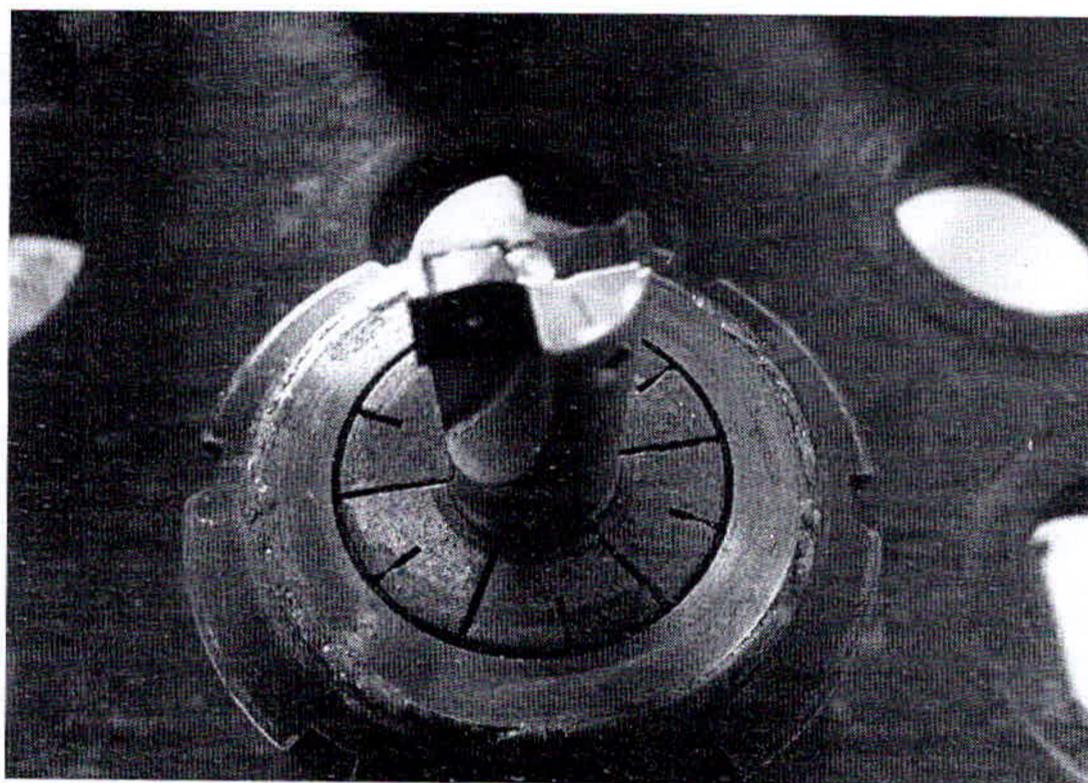
Figura 12 – Usinagem utilizando óleo solúvel



Fonte: o autor

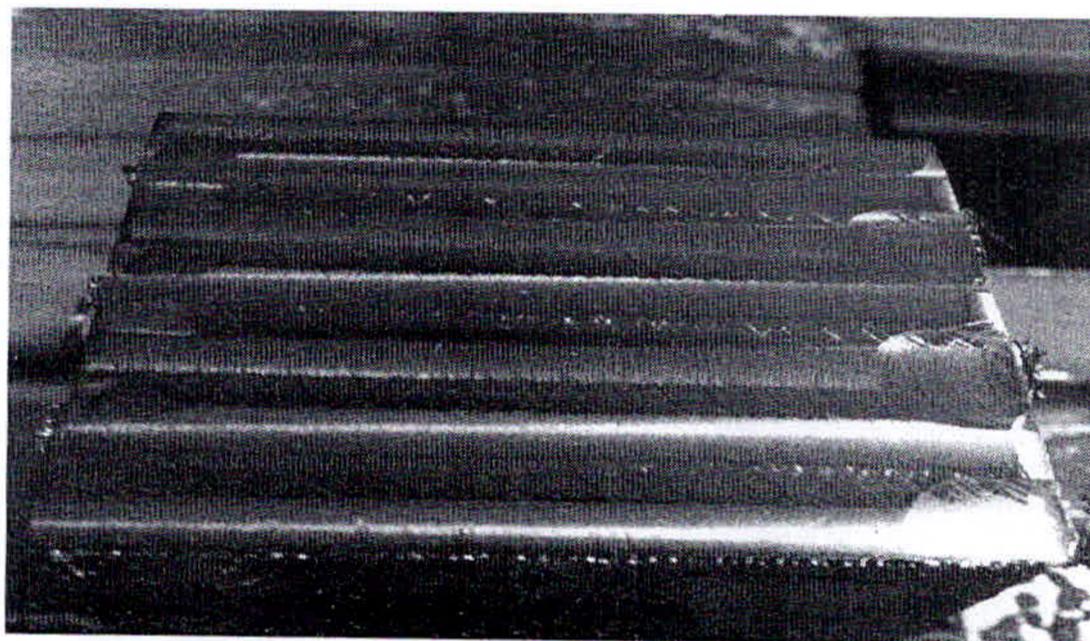
O ensaio foi avaliado a cada período de 5 minutos, sendo avaliado o desgaste da ferramenta, o acabamento superficial da peça e potência necessária que o centro de usinagem ROMI utilizava para o fresamento, a ferramenta de corte foi retirada da máquina e fotografada para a avaliação do desgaste. O tempo total de fresamento foi de 25 minutos tanto para a usinagem com óleo solúvel e usinagem a seco. Segundo a literatura, para velocidade de corte superior a 120 mm/min, esse tempo de 50 minutos ocasiona fratura da ferramenta (PANJAN,J et. al., 2003).

Figura 13 –Resultado do primeiros 5 minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 14 –Resultado do primeiros 5 minutos de teste



Fonte: o autor

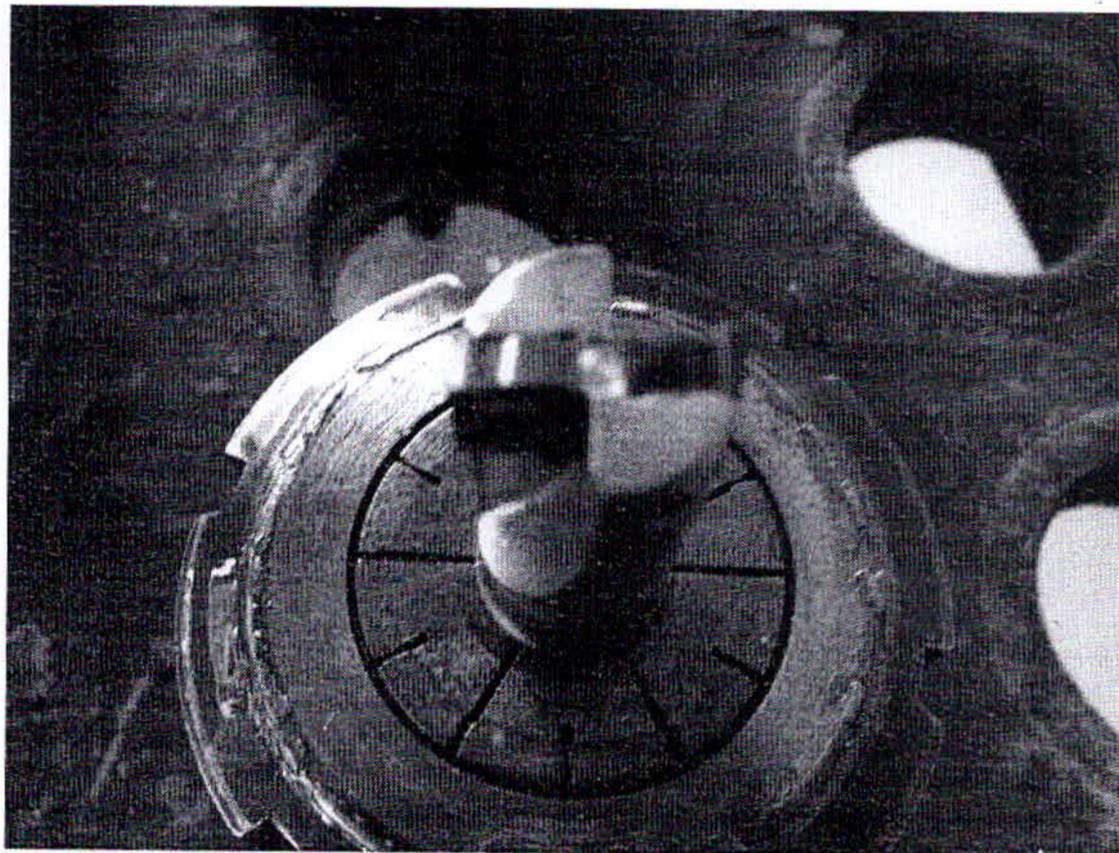
Figura 15 –Resultado do primeiros 5 minutos de teste

Auto		M01 DIR 1.000	
R007			
mm	23.826	Fuso principal	S1
mm	0.000	Atua +	3993.210 rpm
mm	0.000	Teór	3979.000 rpm
gr	0.000	Pos	0.000 gr
			100.000 %
		Potência [%]	2
Avanço		mm/min	
Atua	955.000	100.0 %	
Teór	955.000		
Ferramenta			
		D1	

Fonte: o autor

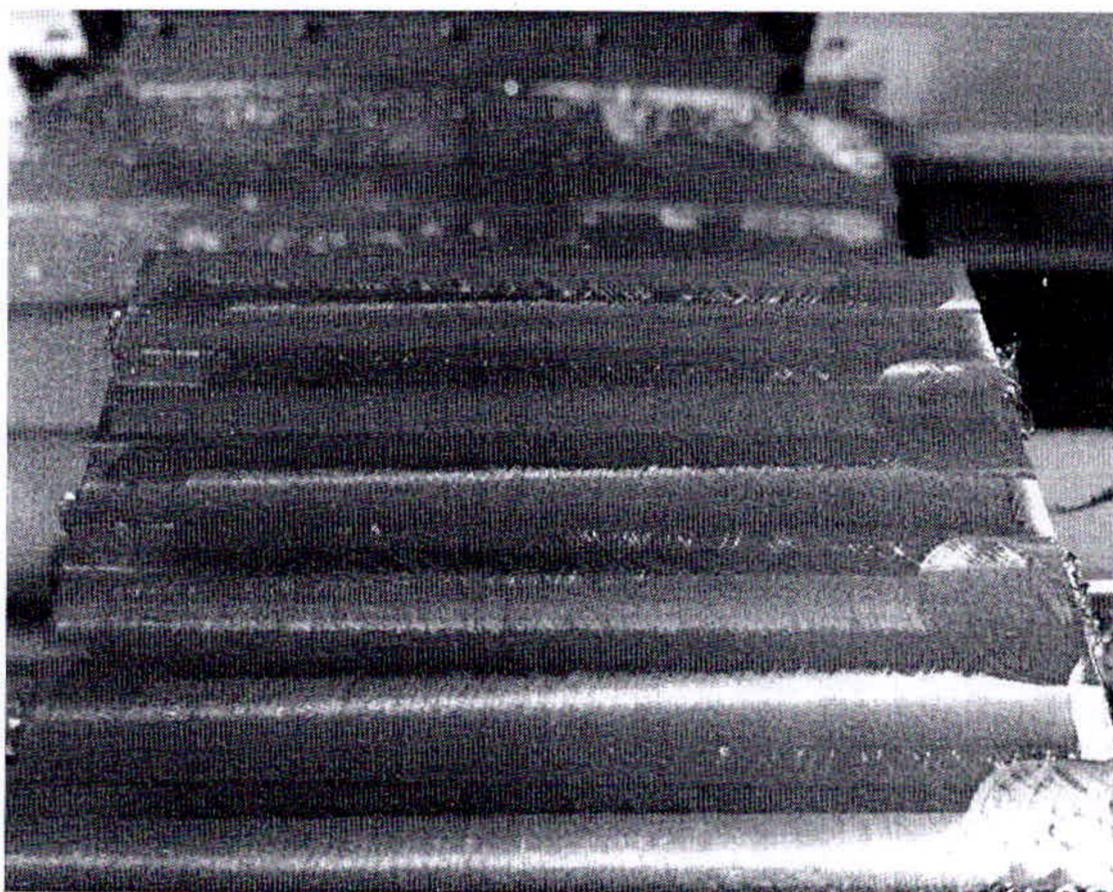
Como pode ser observado, não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina utilizou apenas 2% de sua potencia.

Figura 16 –Resultado do 10º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 17 –Resultado do 10º minutos de teste



Fonte: o autor

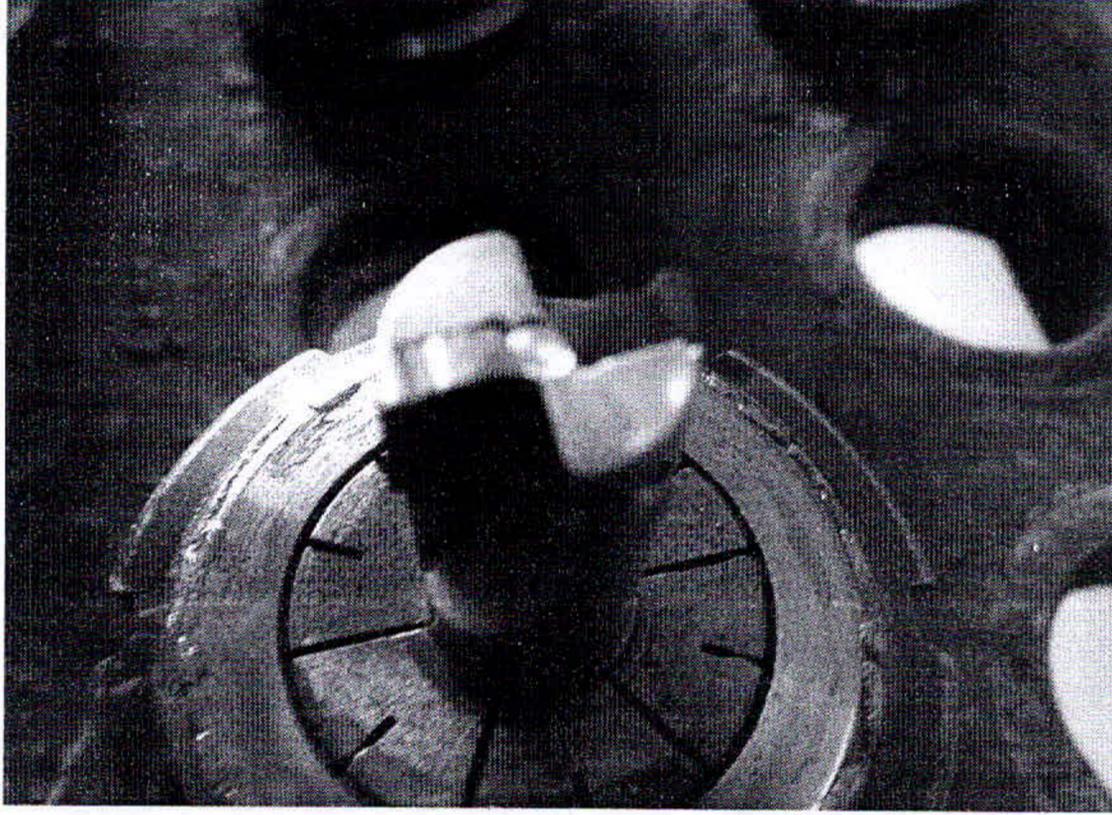
Figura 18 –Resultado do 10º minutos de teste

Atua *	4000.000 rpm
Teór	3979.000 rpm
Pos	0.000 sr
	100.000 %
Potência [%]	4
Avanço	mm/min
Atua	955.000 100.0 %
Teór	955.000
Ferramenta	
3	D1
ferramenta pré-seleção:	

Fonte: o autor

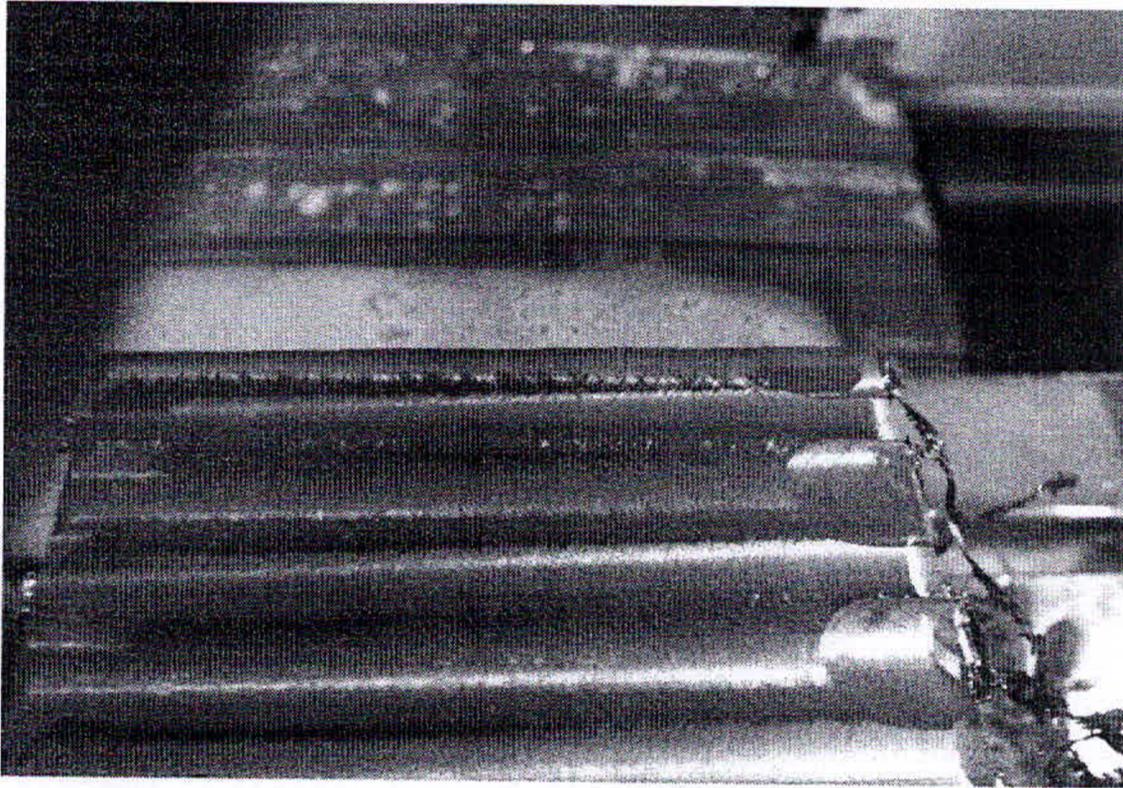
Observando, não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina utilizou apenas 4% de sua potencia.

Figura 19 –Resultado do 15º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 20 –Resultado do 15º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 21 –Resultado do 15º minutos de teste

Parâmetros		SI
Atua	+	4000.043 mm
Teór		3979.000 rpm
Pos		0.000 gr
		100.000 X
Potência [%]		4
Avanço mm/min		
Atua		955.000 100.0 %
Teór		955.000
Ferramenta		
3		D1
ferramenta pré-seleção:		

Fonte: o autor

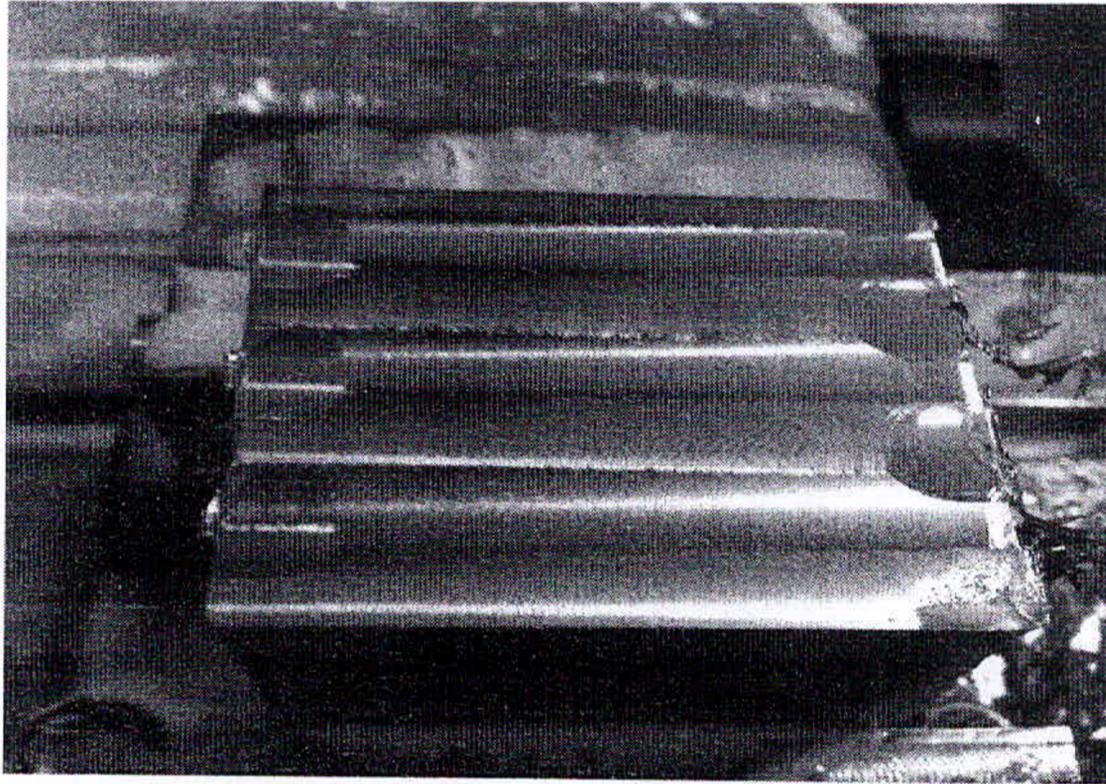
Observando, mais uma vez não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina continuou utilizando apenas 4% de sua potência.

Figura 22 –Resultado do 20º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 23 –Resultado do 20º minutos de teste



Fonte: o autor

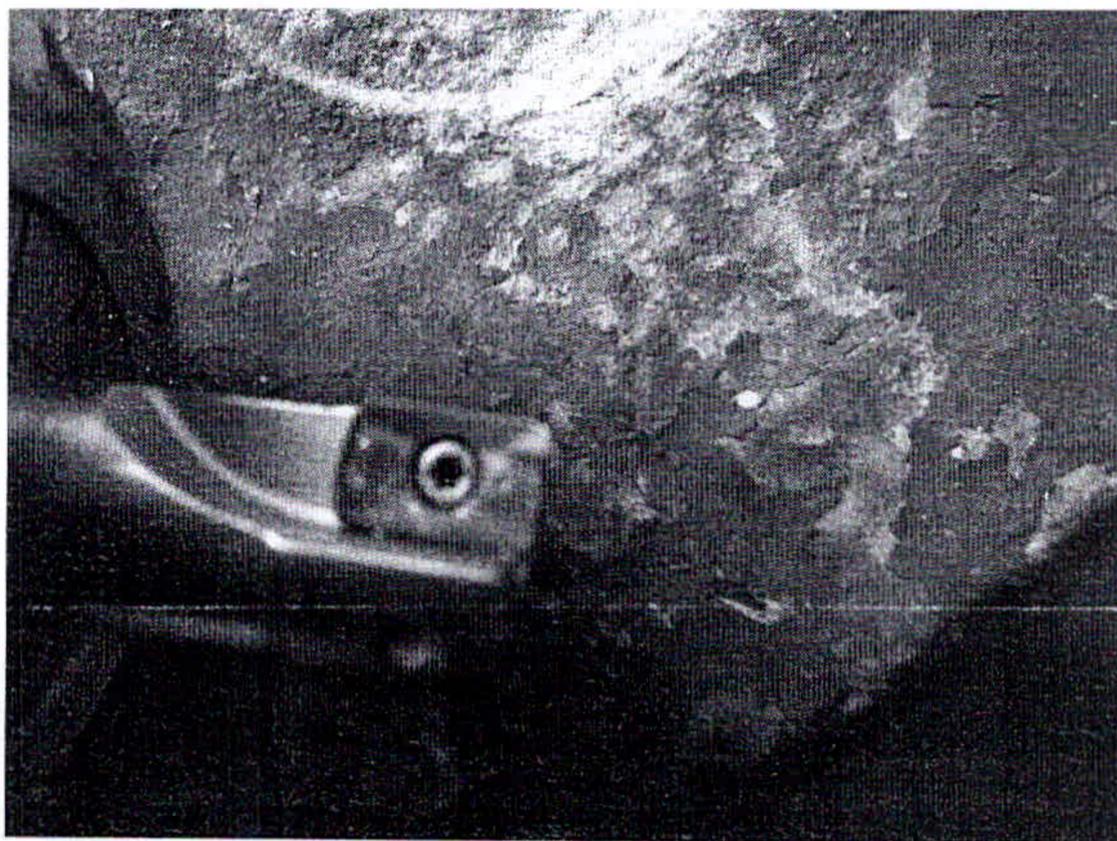
Figura 24 –Resultado do 20º minutos de teste

Fuso principal		S1
41.855	Atua +	4001.953 rpm
0.000	Teór	3979.000 rpm
0.000	Pos	0.000 gr
0.000		100.000 %
Potência [%]		6
Avanço		mm/min
	Atua	955.000 100.0 %
	Teór	955.000
Ferramenta		
13		D1
ferramenta pré-seleção:		
13		

Fonte: o autor

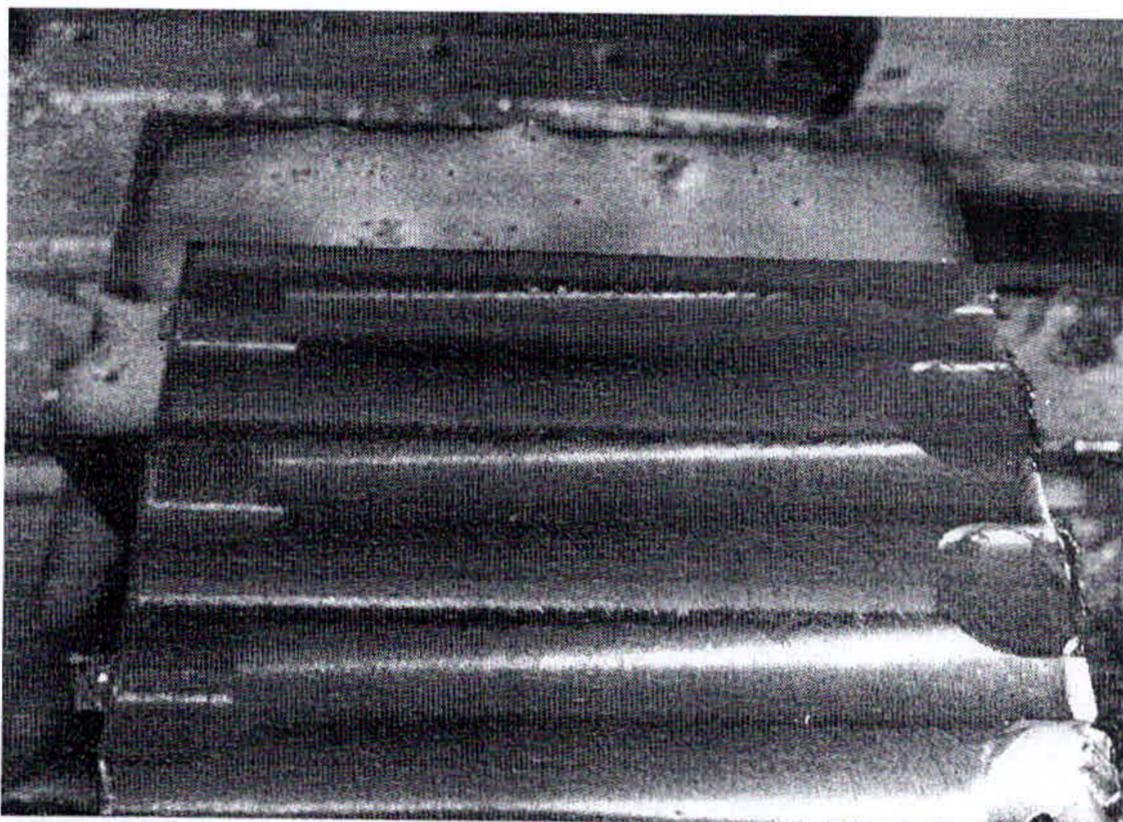
Observando, nessa avaliação ocorreu uma pequena fratura na ferramenta, mesmo assim o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina aumentou de 4% de sua potencia para 6%.

Figura 25- Resultado do 25º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 26- Resultado do 25º minutos de teste



Fonte: o autor

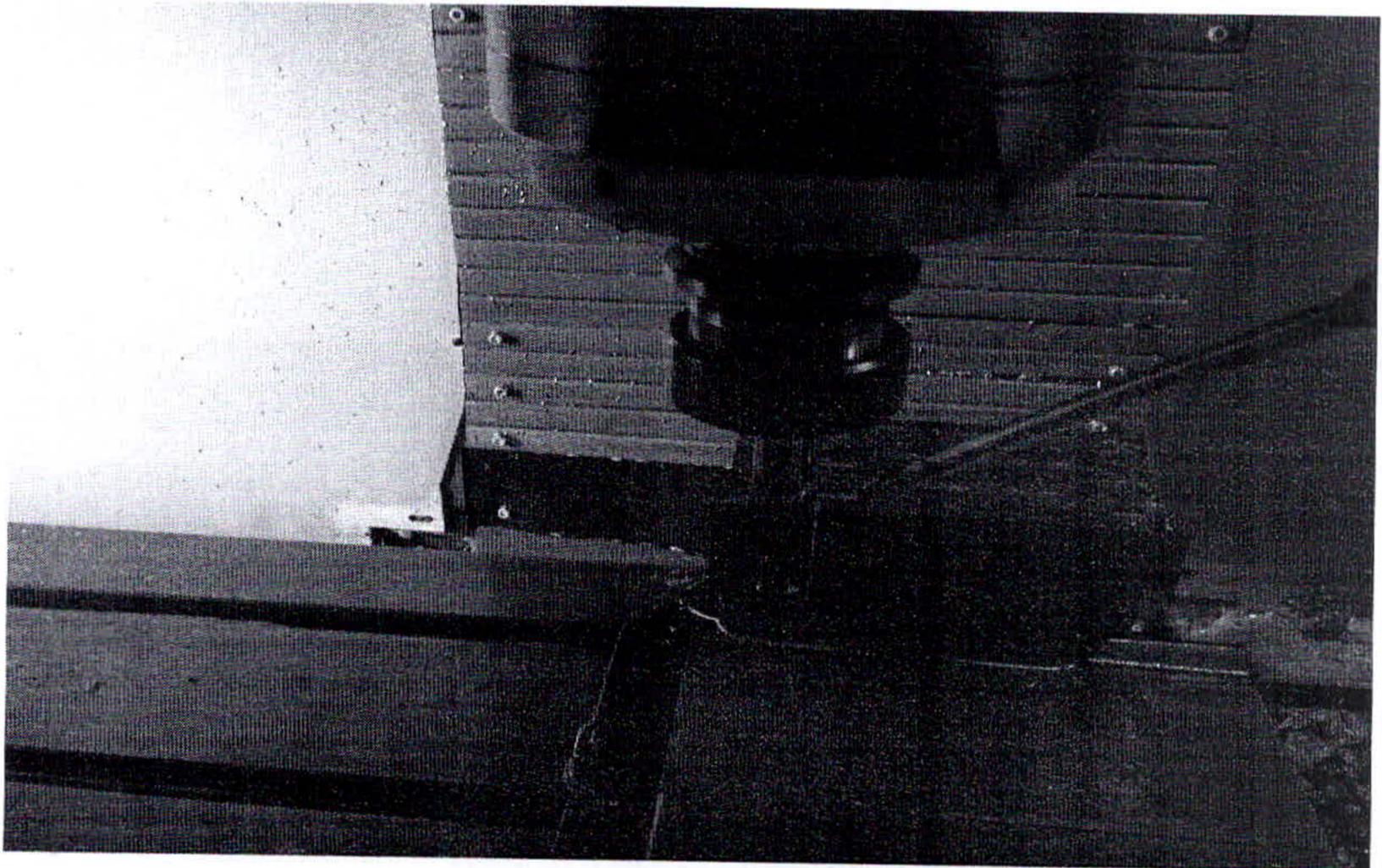
Figura 27- Resultado do 25º minutos de teste

est.	Função principal	Sr	Função auxiliar
.941	Atua +	3996.597 rpm	
.000	Teór	3979.000 rpm	Fusos
.000	Pos	0.000 gr	
.000		100.000 %	Avanço de eixo
	Potência [%]	8	
	Avanço	mm/min	Blocos de programa
	Atua	955.000 100.0 %	
	Teór	955.000	Zoom val. real
	Ferramenta		
	3	D1	Valor

Fonte: o autor

Ao final do teste, nessa avaliação ocorreu um aumento da fratura na ferramenta, mesmo assim o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina aumentou de 6% de sua potencia para 8%.

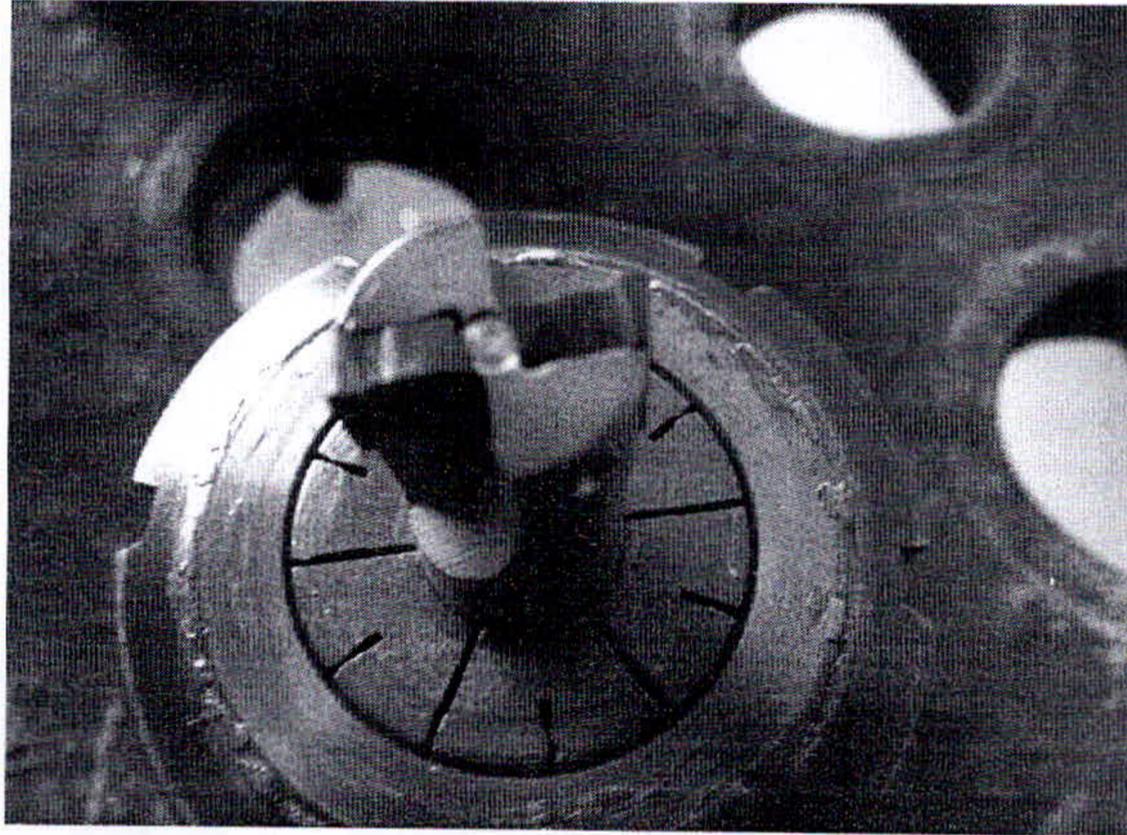
Figura 28 – Usinagem utilizando ar comprimido



Fonte: o autor

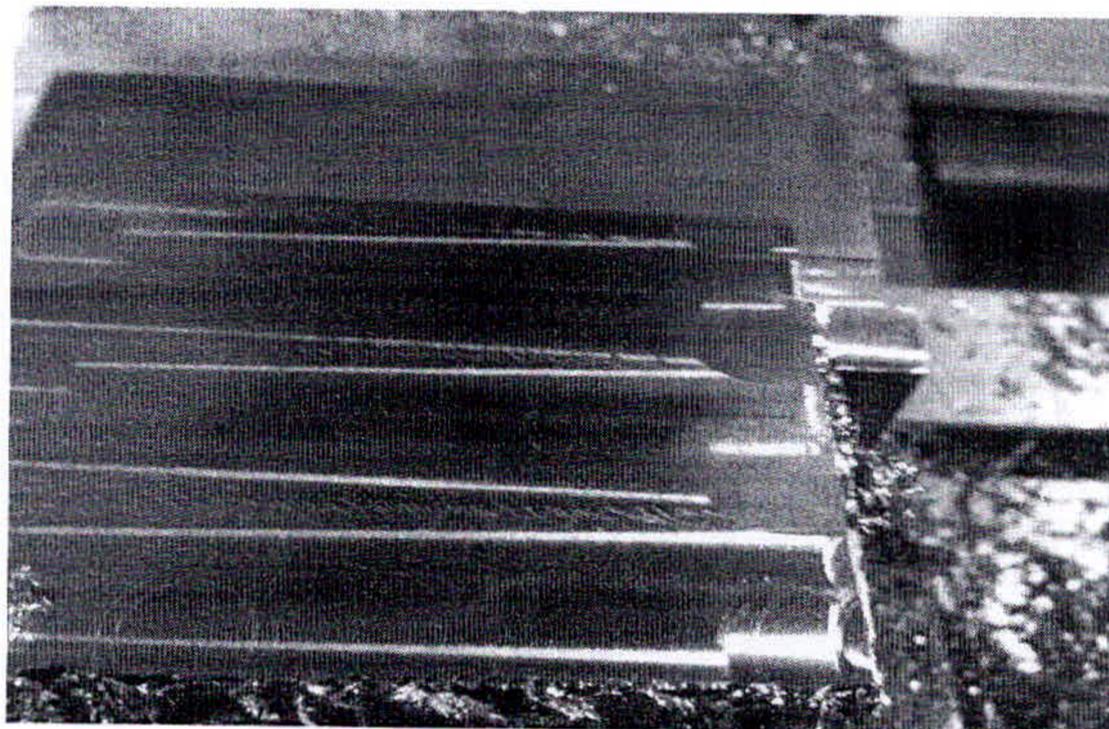
O ensaio foi avaliado conforme foi o ensaio com óleo solúvel, a cada período de 5 minutos, sendo avaliado o desgaste da ferramenta, o acabamento superficial da peça e potencia necessária que o centro de usinagem ROMI utilizava para o fresamento, a ferramenta de corte foi retirada da maquina e fotografada para a avaliação do desgaste. O tempo total de fresamento foi de 25 minutos.

Figura 29 – Resultado do 5º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 30 – Resultado do 5º minutos de teste



Fonte: o autor

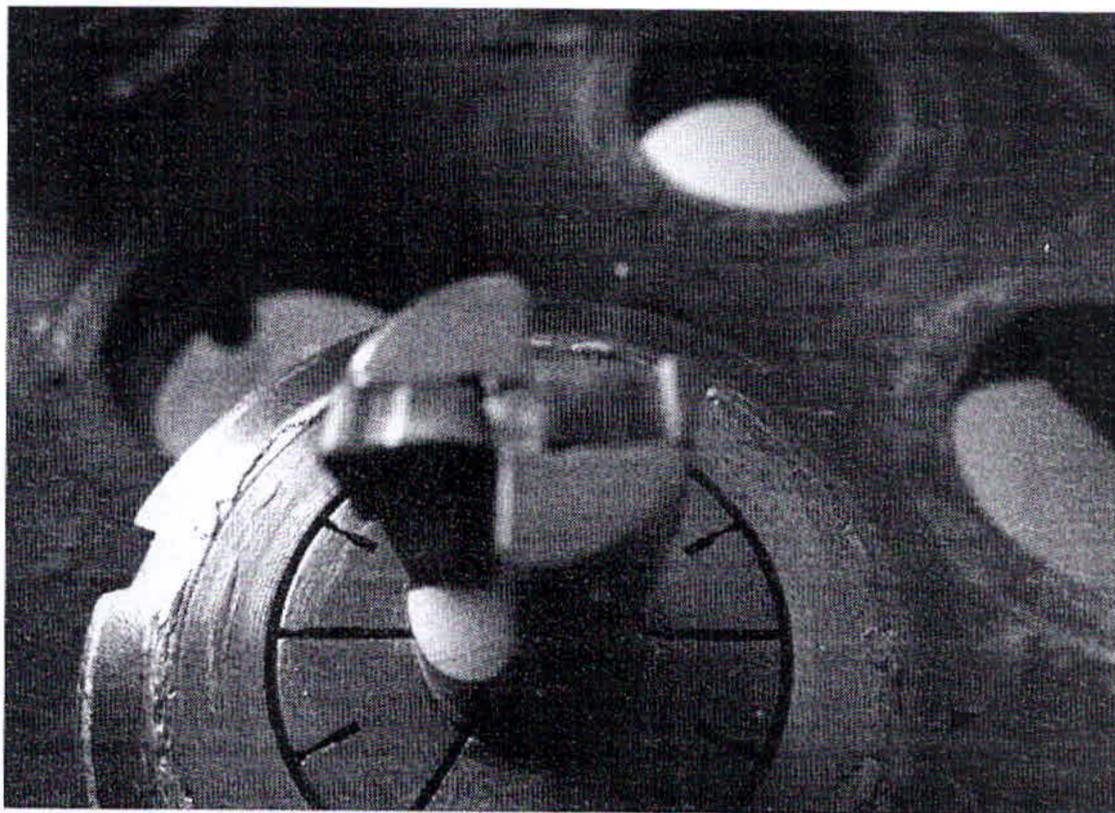
Figura 31 – Resultado do 5º minutos de teste

Auto		Módulo D10 L. MPF		RPM		Fusos	
Rev. rest		Fuso principal	SI	Fusos		Fusos	
mm	23.828	Atua +	3993.210 rpm	Fusos		Fusos	
mm	0.000	Teór	3979.000 rpm	Fusos		Fusos	
mm	0.000	Pos	0.000 gr	Fusos		Fusos	
gr	0.000		100.000 %	Fusos		Fusos	
		Potência [%]	2	Fusos		Fusos	
		Avanço	mm/min	Fusos		Fusos	
		Atua	955.000 100.0 %	Fusos		Fusos	
		Teór	955.000	Fusos		Fusos	
		Ferramenta		Fusos		Fusos	
		#3	01	Fusos		Fusos	

Fonte: o autor

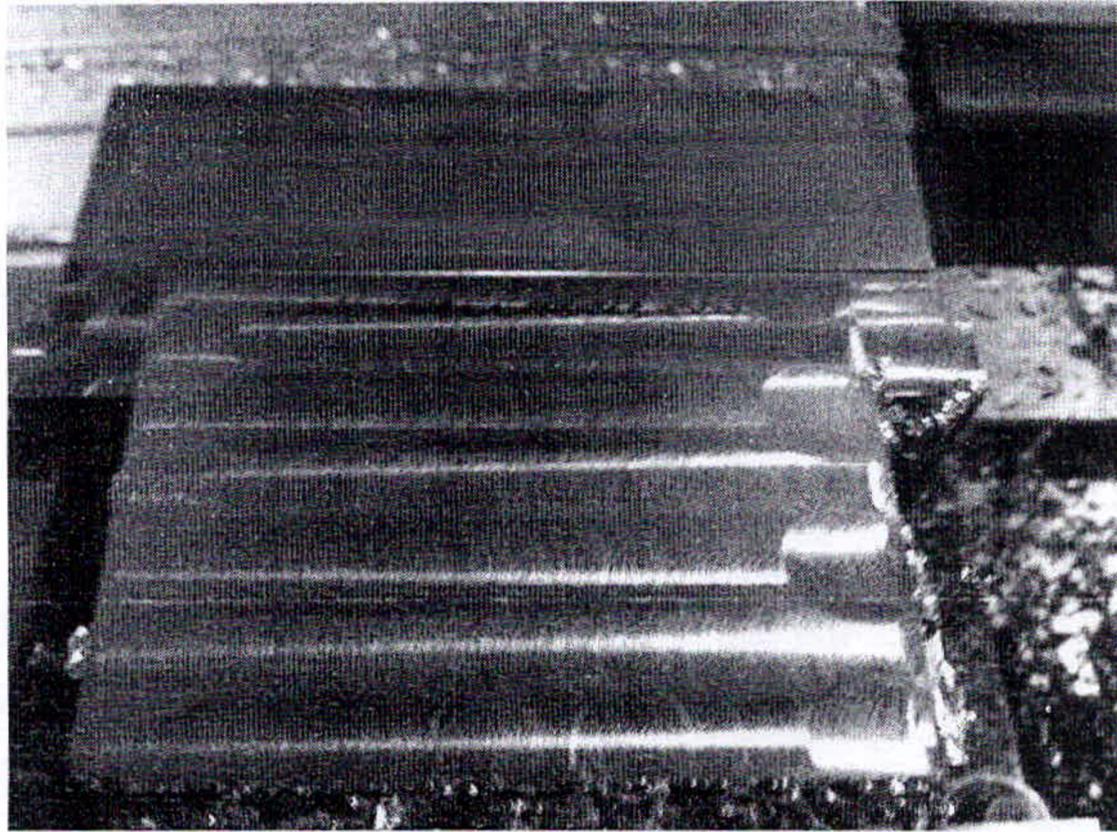
Como pode ser observado, não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina utilizou apenas 2% de sua potencia.

Figura 32 – Resultado do 10º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 33 –Resultado do 10º minutos de teste



Fonte: o autor

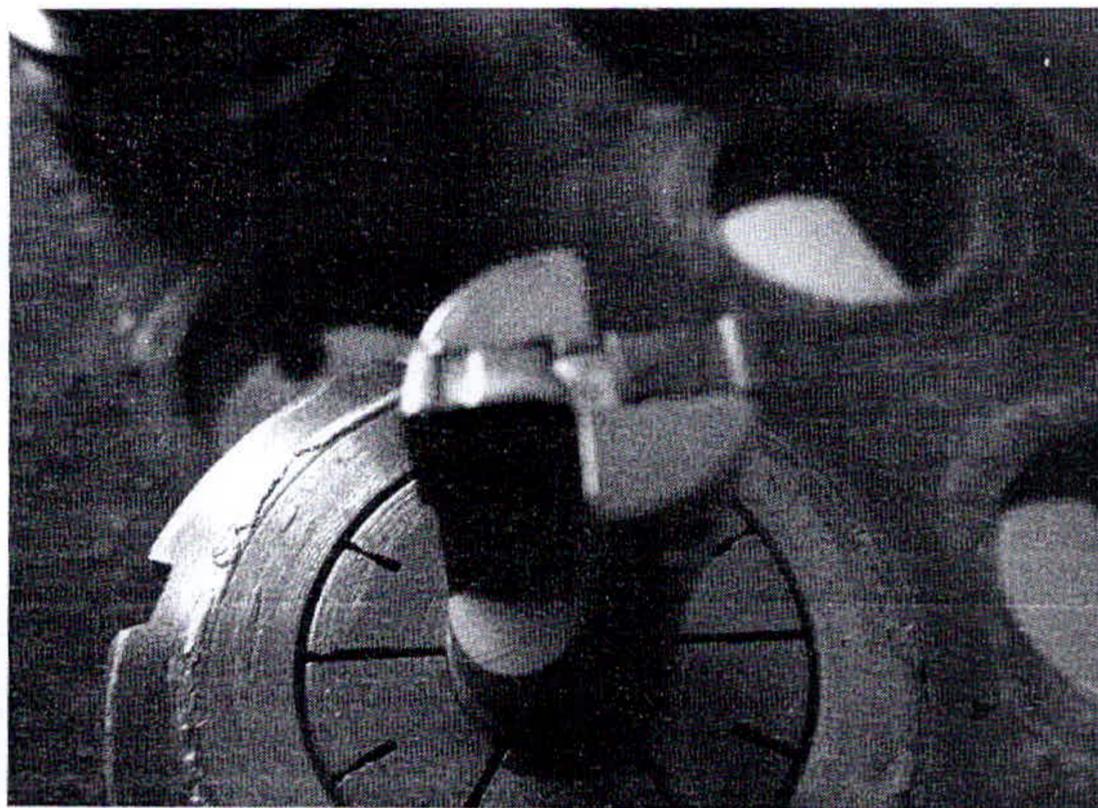
Figura 34 –Resultado do 10º minutos de teste

4.036	Atua *	4004.642 rpm	Ferramenta auxiliar
0.000	Teór	3979.000 rpm	Fusos
0.000	Pos	0.000 gr	Avanço de eixo
0.000		100.000 %	Blocos de programa
	Potência [%]	3	Zoom val. real
	Avanço	mm/min	Valor
	Atua	955.000 100.0 %	
	Teór	955.000	
	Ferramenta		
	D3	D1	

Fonte: o autor

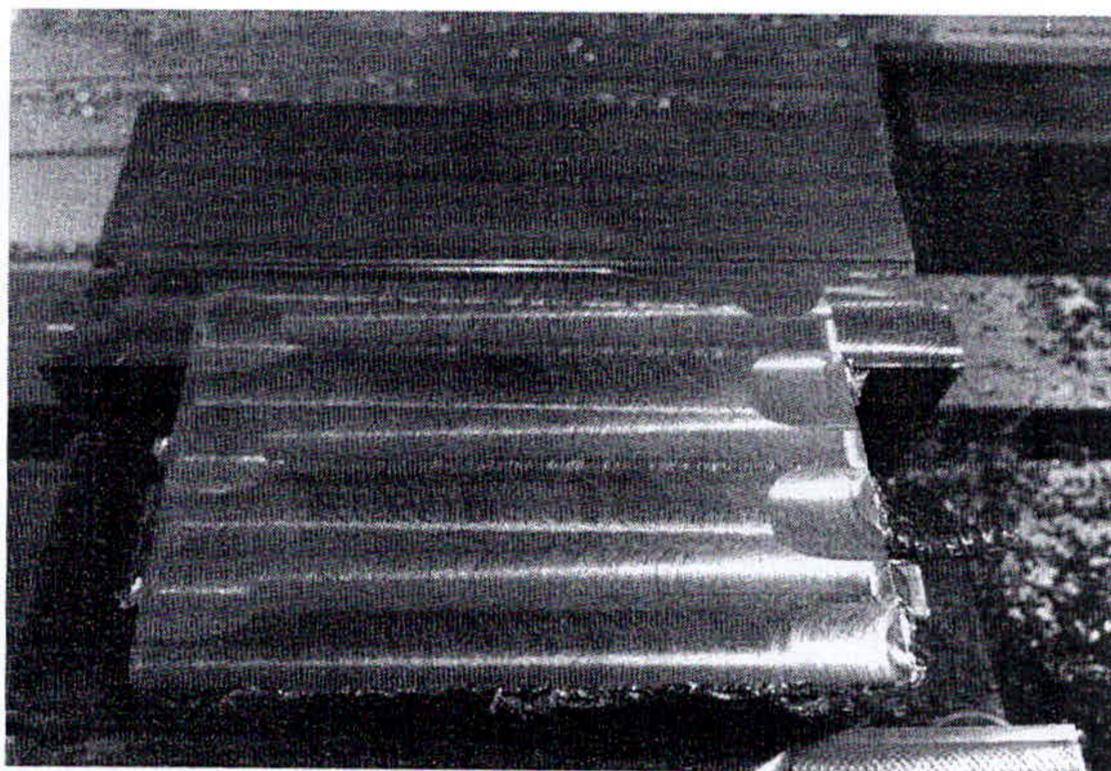
Observando, não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina utilizou apenas 3% de sua potencia.

Figura 35 –Resultado do 15º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 36 –Resultado do 15º minutos de teste



Fonte: o autor

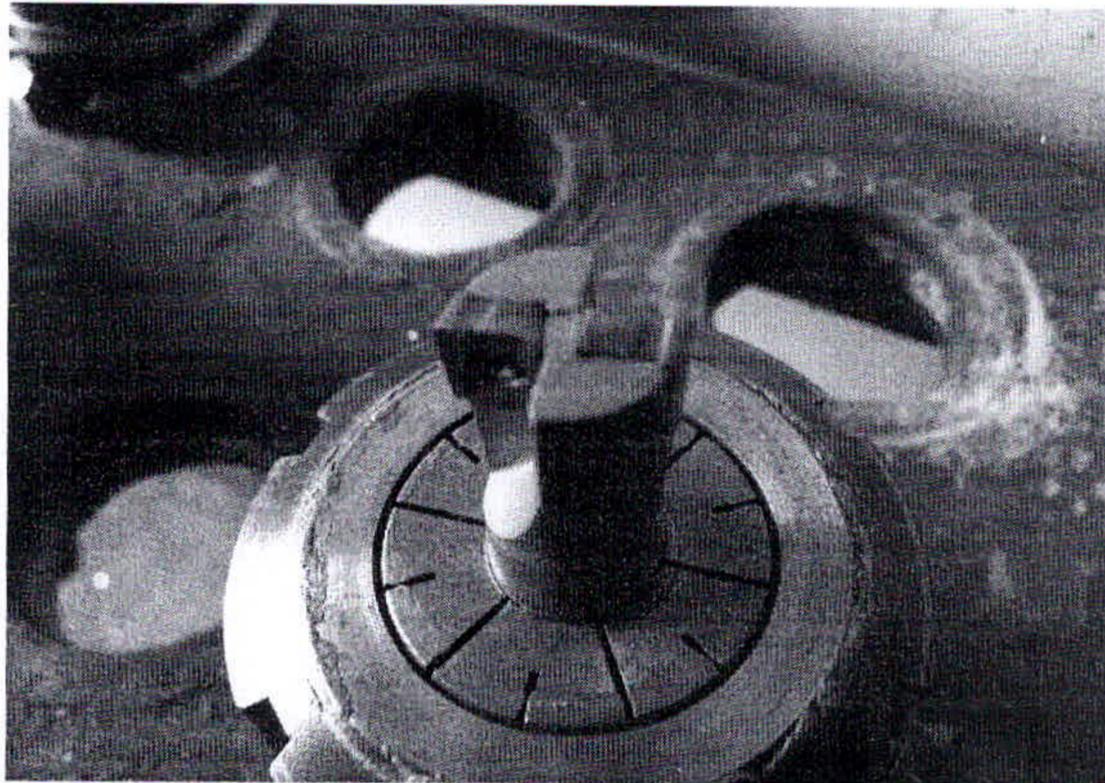
Figura 37 –Resultado do 15º minutos de teste

0.000	0.000	0.000	0.000	Bruta	4000.043 rpm	
				Teór	3979.000 rpm	
				Pos	0.000 gr	
					100.000 %	
				Potência (%)	4	
				Avanço	mm/min	
				Atua	955.000	100.0 %
				Teór	955.000	
				Ferramenta		
				D1		
				ferramenta pré-seleção:		

Fonte: o autor

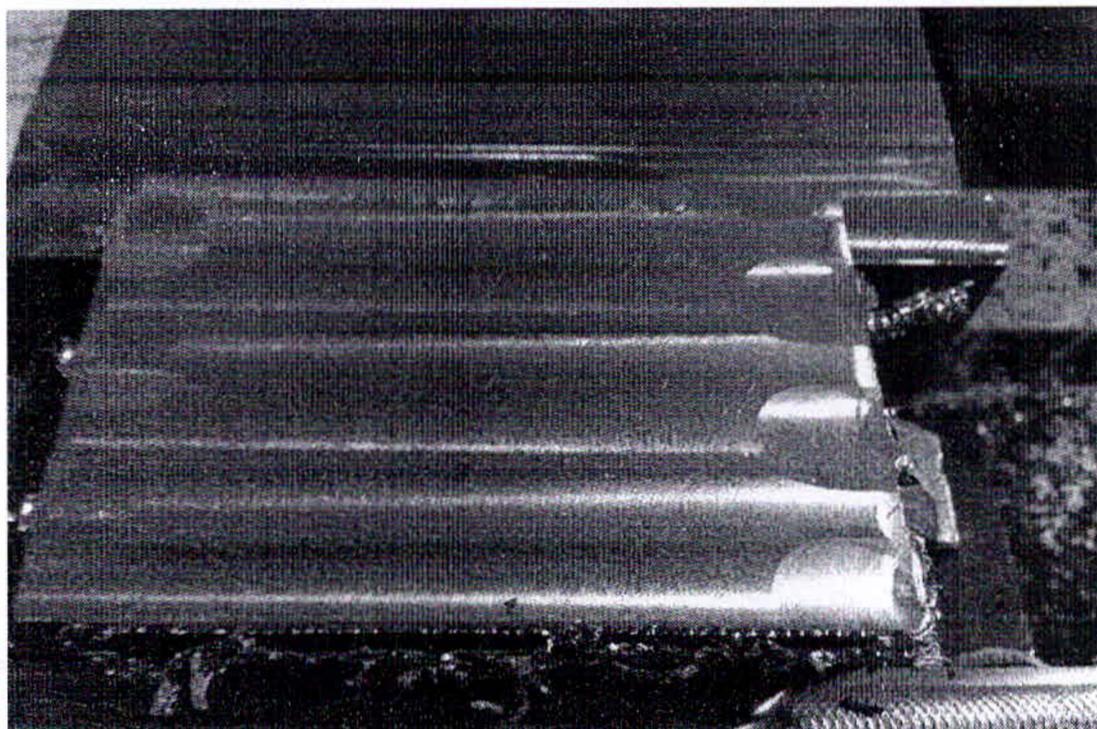
Observando, mais uma vez não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina passou a utilizar 4% de sua potencia.

Figura 38 –Resultado do 20º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 39 –Resultado do 20º minutos de teste



Fonte: o autor

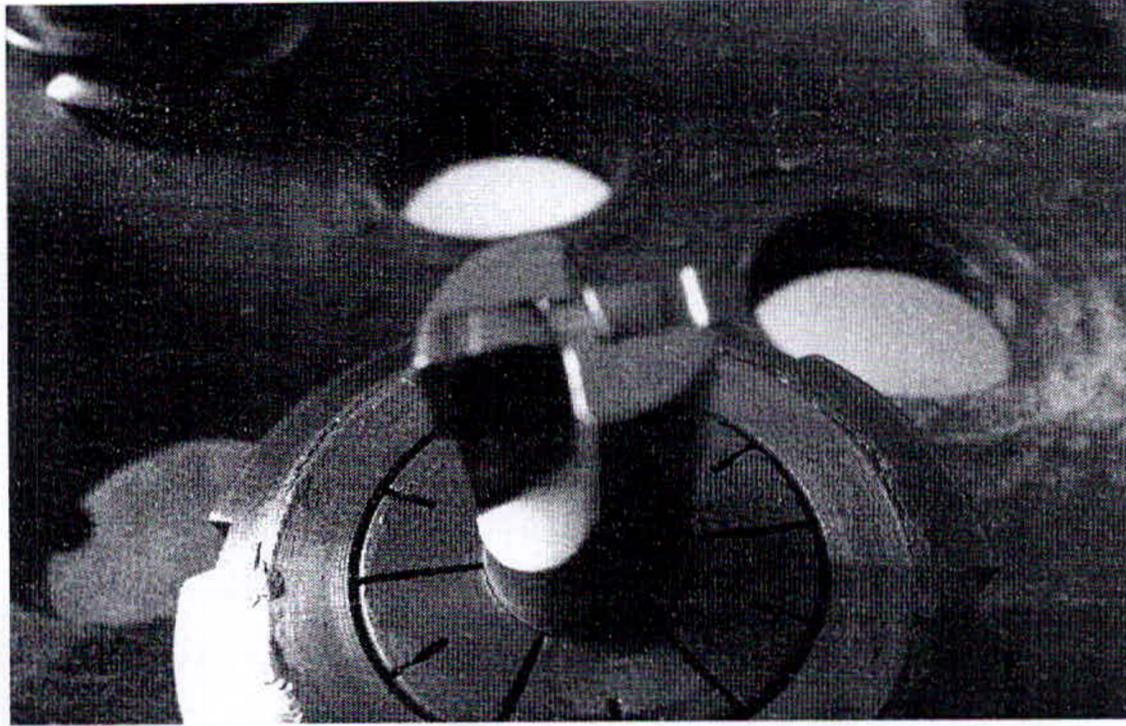
Figura 40 –Resultado do 20º minutos de teste

Tela principal		SI
-68.878	Atua +	3778.892 rpm
3.000	Teór	3779.000 rpm
3.000	Pos	0.000 gr
0.000		100.000 %
	Potência [%]	5
Avanço		mm/min
	Atua	955.000 100.0 %
	Teór	955.000
Ferramenta		
3		D1
ferramenta pré-seleção:		

Fonte: o autor

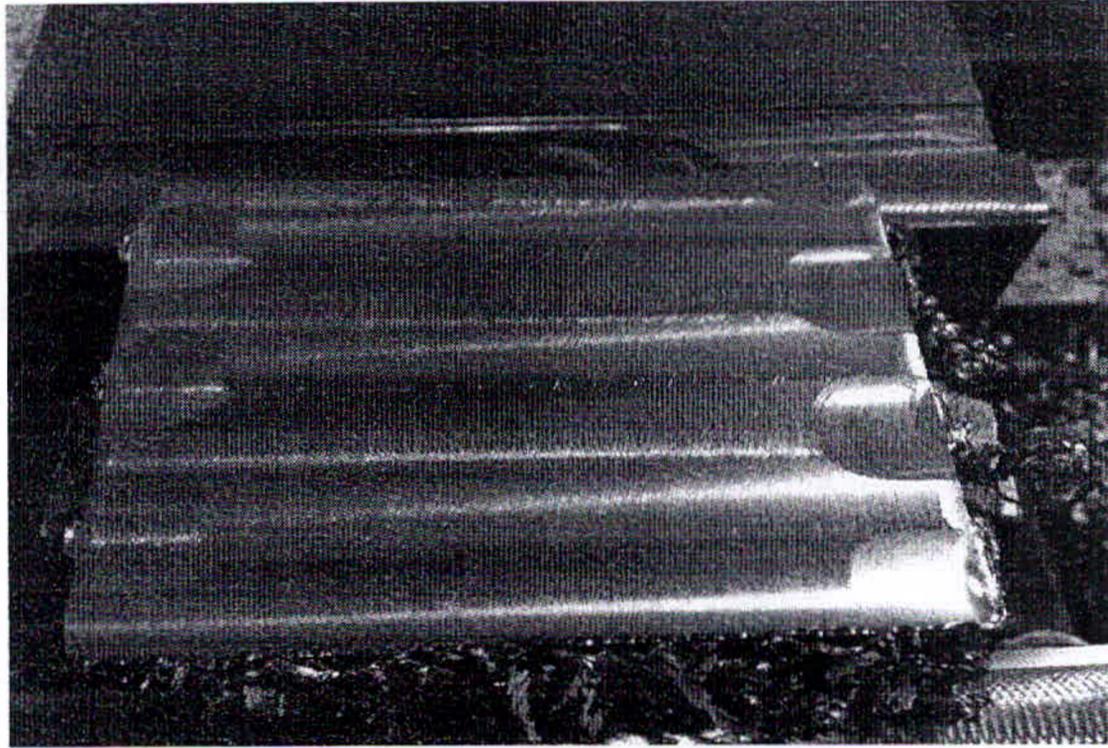
Observando, mais uma vez não ocorreu nenhuma fratura na ferramenta, o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina aumentou apenas 1% de sua potência, passando de 4% para 5%.

Figura 41 –Resultado do 25º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 42 –Resultado do 25º minutos de teste



Fonte: o autor

Figura 43 –Resultado do 25º minutos de teste

RPM		S1	
41.855	Atua +	4001.953 rpm	
0.000	Teór	3979.000 rpm	
0.000	Pos	0.000 gr	
0.000		100.000 %	
	Potência [%]	6	
	Avanço mm/min		
	Atua	955.000	100.0 %
	Teór	955.000	
	Ferramenta		
	3	01	
	ferramenta pré-seleção :		
	3		

Fonte: o autor

Ao final do teste, nessa avaliação não ocorreu em nenhum momento o desgaste da ferramenta, assim o acabamento superficial da peça ficou espelhado e a máquina aumentou de 5% de sua potencia para 6%.

### 3 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 ferramentas de corte precisam ser adequados para acompanharem a demanda de serviço e peças que precisam produzir.

Para satisfazer as necessidades dos consumidores que vem, nos últimos tempos, dando preferência a produtos produzidos com sustentabilidade, elas buscam 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 do óleo solúvel.

Concluo que após 25 minutos de trabalho, os dois processos de usinagem, tanto com óleo solúvel quanto na usinagem a seco, o acabamento superficial da peça usinada ficou espelhado, onde espelhado seria um acabamento abaixo do retificado. O desgaste envolvendo as pastilhas de corte foi mais visível na usinagem com óleo solúvel, onde aconteceu uma fratura de lascamento, já no processo a seco, não houve nenhum tipo de fratura na pastilha, portanto, com velocidade de corte de 200 m/min, é eficaz utilizar o método a seco.

## REFERÊNCIAS

- BOUZAKIS, K.D.; VIDAKIS, N., MICHAELIDIS, N., LEYEDECKER, T., ERKENS, G., FUSS, G. Quantification of properties modification and cutting performance of (TiN)N coating at elevated temperatures. **Surface & coating technology**, v. 120-12, p.34-43, 1999.
- DINIZ, A.E., MARCONDES, F.C., COPPINI, N.L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2000
- FERRARESI, D., **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- ISCAR. **Conceitos básicos de usinagem**, 2001.
- LIEW, W. Y. H.; DING, X. **Wear progression of carbide tool in low-speed end milling of stainless steel** *Wear*, vol 265, p. 155-166, 2008
- MACHADO, A. R.; DINIZ, A. E. Vantagens e desvantagens do uso (ou não ) de fluidos de corte. **Maquinas e Metais**, 134-151, dezembro, 2000
- OLIVEIRA, C. J.; **Avaliação da influencia de sistemas de filtragem aplicados a topografia de superfície em Usinagem**. Belo Horizonte, MG: PUC Minas, 2003. (Apostila).
- ORNELAS SANTOS, J.A.B. **Estudo da aplicação de revestimentos superficiais em fresas caracóis**. (Dissertação de Mestrado) Curso de Engenharia Mecânica na Pontifícia Universidade Católica, 2004.
- PANJAN, J.; NAVINSEK, B.; CEKADA, M. A new experimental method for studying the cracking behavior of PVD multilayer coating. **surface and coating Technology**, n. 174-175, p. 55-62, 2003.
- PRENGEL, H.G.; PFOUTS, W.R; SANTHANAM, A.T. State of the art on hard coatings for carbide cutting tools. **Surface & coating technology**, n.102, p. 183-190, 1998.
- SANDVIK COROMANT. Disponível em:  
<<https://www.sandvikcoromant.com.br/usinagem>>. Acesso em: 22 set. 2013.
- SALES, W.F., GUIMARÃES G., A.R. MACHADO, EZGWU E.O. Cooling ability of cutting fluids and measurement of the chip-tool interface temperatures. **Industrial Lubrication and Tribology**. v. 54, n.2, p. 57-68, 2002.
- SANTNER, E., KLAFFKE, D., MEIER ZU KICKER, G. Comprehensive tribological characterization of thin TiN-based coating. **Wear**, v. 190, p. 204-211, 1995.
- SANTOS, S.C., SALES, W.F. **Fundamentos da usinagem dos materiais**. Belo Horizonte, MG: PUC Minas, 2003. (Apostila).
- SEDLACEK, M., DEWES, B.; VIZINTIN, D.K. **Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear**, article in press, 2008.

SILVA, M.B., WALLBANK J. Lubrication and application method in machining. **Industrial Lubrication and Tribology**, v. 50, n. 4, jul./aug., p. 149-152, 1998

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

VIEIRA, J. M.; MACHADO , A. R.; EZUGWA, E. O. Performance of cutting fluids during face milling of steels **Journal of Materials Processing Technology**, N 248, 244-251, 2001.