



Universidade Federal de Sergipe  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia  
Núcleo de Engenharia Mecânica

**ESTUDO DE PARÂMETROS DE USINAGEM DO  
AÇO SAE 4140 NO TORNEAMENTO CNC**

MYSAEL SILVA SANTANA

Trabalho de Conclusão de Curso

São Cristóvão - SE  
Julho de 2011



Universidade Federal de Sergipe  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia  
Núcleo de Engenharia Mecânica

## **ESTUDO DE PARÂMETROS DE USINAGEM DO AÇO SAE 4140 NO TORNEAMENTO CNC**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica, entregue como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

**MYSAEL SILVA SANTANA**

São Cristóvão - SE  
Julho de 2011

# ESTUDO DE PARÂMETROS DE USINAGEM DO AÇO SAE 4140 NO TORNEAMENTO CNC

MYSAEL SILVA SANTANA

Esse documento foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo colegiado do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Sergipe.

---

Douglas Bressan Riffel, Dr.  
Coordenador do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:

Nota

---

André Luiz de Moraes Costa, Dr.  
Orientador

---

Dagoberto Albuquerque Neto, Eng.

---

Alessandra Gois Luciano de Avezedo, Msc.

Média Final...:

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me abençoado em todos os momentos, e ter me conduzido com sua graça e misericórdia.

Ao amigo e orientador Professor Dr. André Costa por todos os ensinamentos transmitidos, pela orientação e desenvolvimento deste trabalho.

A empresa Sigmarhoh do Brasil LTDA, nas pessoas de Sandro Tojal e Yhuri Tojal, pelo apoio e incentivo para realização desse trabalho nas dependências da empresa.

Aos vários colegas da Sigmarhoh que me auxiliaram na execução dos ensaios, em especial, Marcos Dyanno, me auxiliando nos procedimentos de ensaio.

Aos amigos da turma de Engenharia Mecânica (2007), pelos momentos vividos e compartilhados, durante a caminhada da graduação.

Aos professores do Núcleo de Engenharia Mecânica, pelos ensinamentos e apoio durante o curso.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para execução e finalização desse trabalho.

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus Senhor de todas as coisas, aos meus amados pais, Messias e Rosália, meus irmãos Mysia, Mycael e Alisson, e minha namorada Marcella.*

## RESUMO

A indústria metal mecânica exige cada vez mais o desenvolvimento dos processos de fabricação, principalmente a modernização das máquinas operatri- zes e a evolução constante das ferramentas de corte. A escolha correta das fer- ramentas de corte e dos parâmetros de usinagem não apenas se torna uma ques- tão de acompanhamento da tecnologia, mas uma necessidade, em razão do au- mento da demanda e da redução de custo do processo com garantia da qualidade dos produtos. O presente trabalho avalia a influência dos parâmetros de avanço e velocidade de corte no processo de torneamento do aço SAE 4140 utilizando flui- do solúvel, no desgaste de ferramentas de metal duro. Para obtenção dos resul- tados, tarugos de aço SAE 4140 foram torneadas em uma máquina CNC utilizan- do velocidades de corte de 100, 150 e 200 m/min, e avanços de 0,2, 0,25 e 0,3 mm/rev para cada velocidade. Para melhor avaliar o desgaste das ferramentas, a identificação dos desgastes foi realizada através da análise por microscopia ótica. Constatou-se que os tipos de avarias das ferramentas analisadas, fratura e las- camento da aresta de corte foram predominantes para parâmetros de usinagem superiores a 200 m/min e avanço de 0,3 mm/rev. Pode se constatar também o bom desempenho ao desgaste da pastilha revestida para o processo de tornea- mento. Na questão econômica observou-se uma redução do tempo e custo de produção com a utilização de um inserto revestido.

Palavras-chave: Torneamento, parâmetros de usinagem, ferramenta de corte, desgaste de ferramenta 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. The correct choice of cutting tool of the machining parameters and not only becomes a question of just monitoring technology, but a necessity, due to the increase of the demand and cost reduction process with quality assurance products. This study evaluates the influence of the parameters of cutting feed and speed the process of turning of steel SAE 4140 using soluble fluid, the wearing of carbide tools. To obtain the results, SAE 4140 steel bars were machined in CNC machine using cutting speeds of 100, 150 and 200 m / min, and advances of 0,2, 0,25 and 0,3 mm / rev for each speed. To further evaluate the wear of tools, the identification of wear analysis was performed by optical microscopy. It was found that the types of faults analyzed the tools, breaking and chipping of the cutting edge were predominant for machining parameters above 200 m / min and feed 0.3 mm / rev. One can also see the good performance and wear of the coated wafer to the process of turning. On economic issues there was a reduced time and cost of production with the use of a coated cutting tool.

Keywords: Turning, machining parameters, cutting tool, cutting tool wear.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Operação de torneamento .....	4
Figura 2 - Diferentes formas que os cavacos .....	9
Figura 3 - Materiais empregados para ferramentas de corte.....	9
Figura 4 - Ferramenta de aço rápido .....	10
Figura 5 - Ferramenta de corte de metal duro .....	10
Figura 6 - Fratura da aresta de corte.....	12
Figura 7 - Trinca térmica .....	13
Figura 8 - Lascamento da aresta de corte.....	14
Figura 9 - Deformação Plástica da aresta de corte .....	14
Figura 10 - Desgaste de cratera da aresta de corte .....	15
Figura 11 - Desgaste de flanco .....	16
Figura 12 - Desgaste em forma de entalhe .....	16
Figura 13 - Principais parâmetros utilizados para quantificar os desgastes .....	17
Figura 14 - Comportamento do desgaste de uma ferramenta .....	18
Figura 15 - Centro de Torneamento Galaxy30 – Romi.....	19
Figura 16 - Caixa com pastilhas usadas da marca Weller.....	20
Figura 17 - Tarugo cortado Aço SAE 4140.....	21
Figura 18 - Desbaste inicial .....	21
Figura 19 - Corpo de válvula peça pronta .....	21
Figura 20 - Identificação utilizada para o ensaio .....	22
Figura 21 - Estéreo microscópio da Quimis .....	24
Figura 22 - Diagrama de Pareto .....	25
Figura 23 - Análise microscópica da pastilha Weller .....	28
Figura 24 - Curva de desempenho da pastilha Weller .....	30
Figura 25 - Análise microscópica da pastilha Korloy .....	31
Figura 26 - Curva de desempenho da pastilha Korloy .....	33
Figura 27 - Análise microscópica da pastilha Walter .....	35
Figura 28 Análise microscópica da pastilha Walter (2). .....	36
Figura 29 - Curva de desempenho da pastilha Walter .....	38

Figura 30 - Vista lateral da pastilha Walter .....	39
Figura 31 - Comparativo de trabalho das pastilhas Weller, Korloy e Walter.....	40
Figura 32 - Cavaco com velocidade de corte ( $V_c$ ) de 100 m/min .....	41
Figura 33 - Cavaco com velocidade de corte ( $V_c$ ) de 150 m/min .....	42
Figura 34 - Cavaco com velocidade de corte ( $V_c$ ) de 200 m/min .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do aço SAE 4140 .....	3
Tabela 2 - Parâmetros indicados pelo fabricante .....	22
Tabela 3 - Grupos de parâmetros .....	23
Tabela 4 - Divisão dos parâmetros para o ensaio .....	23
Tabela 5 - Resultado dos testes da pastilha Weller .....	29
Tabela 5 - Parâmetros utilizados na pastilha Korloy .....	33
Tabela 7 - Parâmetros utilizados na pastilha Walter .....	37
Tabela 8 - Tempo de corte das pastilhas Weller, Korloy e Walter .....	45
Tabela 9- Custo de produção por peça .....	46
Tabela 10 - Análise de produção para um lote de 100 peças .....	46

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano do Ferro e do Aço)
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedade de Engenheiros Automotiva)
SME	Society of Manufacturing Engineers (Sociedade dos Engenheiros de Manufatura)
WSA	World Steel Association
IABr	Instituto Aço Brasil
AISI 4140	Classificação do aço. Segundo norma AISI
SAE 4140	Classificação do aço. Segundo norma SAE
$n$ [rpm]	Rotacão
$a_p$ [mm]	Profundidade de corte
$V_c$ [m/min]	Velocidade de corte
$f$ [mm/rev]	Avanço
$Rot_{m\acute{a}x}$	Rotação máxima
$T_c$ [min]	Tempo de corte
$l$ [mm]	Comprimento da peça [mm]
$d_f$ [mm]	Diâmetro final da peça
$d_o$ [mm]	Diâmetro inicial da peça
KT [mm]	Profundidade da cratera
VBB	Desgaste de flanco médio
VBB $_{m\acute{a}x}$	Desgaste de flanco máximo
VBN	Desgaste de entalhe
$R_e$	Raio da ferramenta

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Aço SAE 4140.....	3
2.2 Torneamento .....	4
2.3 Controle numérico e características das máquinas CNC .....	5
2.4 Parâmetros de usinabilidade.....	6
2.5 Formação do cavaco.....	8
2.6 Ferramentas de corte.....	9
2.7 Classificações das ferramentas de metal duro .....	11
2.8 Fluido de corte .....	11
2.9 Avarias e desgaste da ferramenta de corte .....	12
2.9.1 <i>Fratura da aresta de corte</i> .....	12
2.9.2 <i>Trincas</i> .....	13
2.9.3 <i>Lascamento</i> .....	14
2.9.4 <i>Deformação plástica da aresta de corte</i> .....	14
2.9.5 <i>Desgaste de cratera</i> .....	15
2.9.6 <i>Desgaste de flanco</i> .....	15
2.9.7 <i>Desgaste em forma de entalhe</i> .....	16
2.10 Vida ao desgaste da ferramenta .....	16
<b>3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>19</b>
3.1 Máquina-ferramenta.....	19
3.2 Análise da situação atual das condições de operação.....	20
3.3 Ensaio aplicado nas ferramentas .....	21
3.4 Análise de falhas.....	24
3.4.1 <i>Microscopia ótica</i> .....	24
3.4.2 <i>Estudo do cavaco</i> .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1 Vida das ferramentas na condição atual de operação.....	25
4.2 Estudo comparativo dos parâmetros de usinagem.....	26
4.2.1 <i>Inserto Weller</i> .....	26
4.2.2 <i>Inserto Korloy</i> .....	30
4.2.3 <i>Inserto Walter</i> .....	34

4.3 Comparativo da faixa de trabalho das pastilhas .....	39
4.4 Análise do cavaco .....	40
4.5 Considerações econômicas .....	43
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento e o avanço das sociedades têm estado intimamente ligados às habilidades dos seus membros em produzir e manipular materiais para satisfazer as suas necessidades (CALLISTER, 2002). Dentre todos os materiais disponíveis atualmente, o aço é o mais versátil e mais importante material para construção mecânica, porque apresenta uma interessante combinação de propriedades mecânicas que podem ser modificadas dentro de uma ampla faixa variando-se o tipo e a concentração dos elementos de liga e a microestrutura por meio de tratamentos térmicos (CHIAVERINI, 2005).

A usinagem é reconhecidamente um dos mais importantes processos de fabricação mecânica, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas em todo o mundo. Apesar dessa popularidade, trata-se de um processo bastante imprevisível e a definição paradoxal que se segue relata com exatidão toda sistemática que o envolve: processo complexo e simples ao mesmo tempo, no qual se produz peças removendo-se excesso de material na forma de cavacos (MACHADO, 2009). É um processo complexo devido às dificuldades em determinar as imprevisíveis condições ideais de corte. É simples porque, uma vez determinada essas condições ideais de corte, o cavaco se forma corretamente, dispensando qualquer tipo de intervenção do operador. As condições ideais de corte são as capazes de produzir peças dentro de especificações de forma, tamanho e acabamento ao menor custo e tempo possível.

O torneamento é uma operação de usinagem que permite trabalhar peças cilíndricas movidas por um movimento uniforme de rotação em torno de um eixo fixo. O torneamento, como todos os demais trabalhos executados com máquinas-ferramenta, acontece mediante a retirada progressiva do cavaco da peça a ser trabalhada. A determinação das condições ideais de torneamento para um determinado tipo de aço é fundamental para se obter uma fabricação de qualidade e economicamente viável (FERRARESI, 1986).

Atualmente os processos de usinagem de alta complexidade ou qualidade são realizados em máquinas automatizadas através do Comando Numérico Computadorizado (CNC). O CNC diminuiu ao mínimo a interferência do operador e

aumentou bastante a produtividade e a qualidade das peças. Entretanto, estas vantagens ficam comprometidas se os parâmetros de usinagem não são escolhidos corretamente, o que pode ocasionar desgaste excessivo ou mesmo quebra de ferramentas, superaquecimento, gasto elevado de energia, etc. Estes problemas podem levar a danos irrecuperáveis na superfície da peça, aumento do tempo morto de fabricação e conseqüente aumento de custos de produção.

Neste contexto, este trabalho faz um estudo para verificar a influência dos parâmetros de usinagem na vida útil das ferramentas usadas no torneamento CNC do aço SAE 4140, que é um material comum de peças de máquinas e equipamentos mecânicos. O trabalho foi realizado na empresa Sigmarhoh do Brasil Ltda. em Aracaju, visando obter informações técnicas para otimização dos parâmetros de usinagem, resultando em um processo com menores falhas de ferramentas, dentro das faixas de produção especificadas.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Aço SAE 4140

Os aços de médio carbono possuem de 0,3% a 0,6% de carbono e são utilizados em eixo, engrenagens, bielas e muitos outros componentes mecânicos. Quando temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência (CHIAVERINI, 2005). Em termos de fabricação mecânica, a propriedade mecânica predominante é a dureza. Geralmente, valores altos para a dureza significam dificuldades de usinagem, como no caso de aços temperados. Por outro lado, valores médios e baixos de dureza associam-se com boas propriedades de usinabilidade. A rigor, entretanto, as medidas de dureza não servem de um modo absoluto como guia para determinação de verdadeira usinabilidade do material, devido ao fato de que, antes do cavaco ser retirado ou separado inteiramente da peça, ocorre certo encruamento do material sob a ação da ferramenta de corte. Além disso, uma dureza muito baixa também dificulta a usinagem porque esta consiste no arrancamento de partículas do metal e, se este for muito dúctil será também muito plástico, e o material tende a aderir, em vez de ser arrancado, à ferramenta de corte como é o caso dos aços ferríticos (CHIAVERINI, 2005).

O aço SAE 4140 é um aço médio-carbono baixa-liga contendo Cr e Mo, o que lhe confere uma boa resistência mecânica a um custo relativamente baixo. A composição química pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 6- Composição química do aço SAE 4140 (Favorit, 2006).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA							
C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
0,38/0,43	0,75/1,00	0,035	0,040	0,15/0,35	-	0,80/1,10	0,15/0,25

No torneamento de um aço SAE 4140, a máxima vida da ferramenta corresponde ao estado recozido ou normalizado desse aço (estrutura majoritariamente perlítica), sendo que o desgaste da ferramenta aumenta com o aumento da dureza, que pode ser obtida por têmpera (FAVORIT, 2006). Assim, se o serviço da peça exige elevada resistência mecânica, a têmpera normalmente é feita após a usinagem.

## 2.2. Torneamento

Segundo Ferraresi (1986), torneamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes (Figura 1).

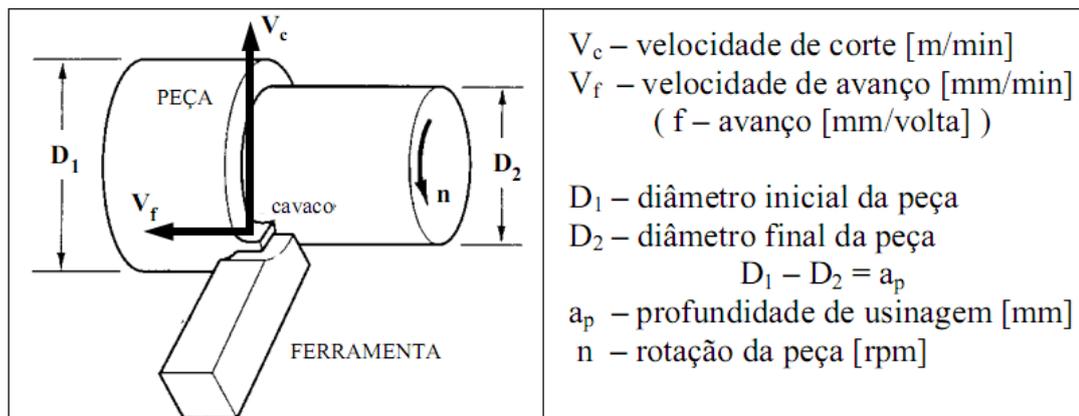


Figura 1 - Operação de torneamento. DINIZ et al (1999).

O processo de torneamento é executado com a combinação de dois movimentos: avanço da ferramenta e a rotação da peça. O avanço da ferramenta pode ser ao longo do eixo da peça, o que significa que seu comprimento será reduzido, ou no sentido do centro da peça, diminuindo seu diâmetro. Em alguns casos, o avanço da ferramenta pode ser a combinação dessas duas direções, resultando em superfícies cônicas (MEIRELES, 2000).

Segundo Ferraresi (1986), o torneamento pode ser classificado, quanto à finalidade, como:

- Torneamento de acabamento: operação de usinagem destinada a obter na peça as dimensões finais, ou um acabamento superficial especificado, ou ambos. As condições de acabamento são leves, com profundidades de usinagem bastante reduzidas e avanços tão pequenos quanto os necessários para a obtenção da especificação da peça-obra.
- Torneamento de desbaste: operação de usinagem anterior a de acabamento, visando obter na peça a forma e dimensões próximas das finais. A condição de desbaste deve ser tão severa quanto permitirem a espessura do cavaco, a vida da ferramenta, a potência do motor e a própria peça.

Para se obter faixas de tolerâncias dimensionais estreitas e bons acabamentos superficiais, é necessário realizar um ou mais passos na condição de desbaste, seguidos por um ou mais passos na condição de acabamento. Em alguns casos, uma ferramenta especial de acabamento é usada, mas geralmente a mesma ferramenta é usada para ambas as condições (MEIRELES, 2000).

### **2.3. Controle numérico e características das máquinas CNC**

O termo “comando numérico” (NC) corresponde a uma máquina que é controlada por números obtidos a partir da descrição da peça. Isto permite uma adaptação flexível a peças diferentes, particularmente na produção em pequenos e médios lotes. As instruções geométricas e tecnológicas para a manufatura de uma peça são codificados em termos de números e armazenados na memória do computador (TELLES, 1990).

A geração de dados para a usinagem automática de uma peça chama-se “programação NC”. A programação produz uma série de registros NC para uma peça. Cada registro contém dados dimensionais para gerar uma peça e informações para a operação da máquina. As informações de manufatura são alimentadas ao sistema NC. Elas dividem-se em dados geométricos para a ferramenta ou peça (G, X, Y, ...) e dados tecnológicos para o controle da máquina (F, S, T, M).

O nível de processamento NC foi implementado originalmente num circuito com cablagem fixa e relês. Depois, componentes aritméticos sob a forma de algoritmos de processamento foram introduzidos no comando numérico. Este tipo de implementação chama-se “comando numérico computadorizado” (CNC).

O controle CNC influencia vários parâmetros tecnológicos tais como o acionamento da árvore, execução dos avanços, atuação dos equipamentos de mudança de ferramenta, suprimento de fluido de corte, etc. Além do ajuste automático dos valores geométricos e tecnológicos, as máquinas CNC podem conter outras funções automáticas tais como o manuseio e armazenamento de ferramentas e peças, uso de múltiplas ferramentas, medição na máquina, etc. Máquinas individuais também podem ser interligadas. Quando tais funções são levadas em consideração, é possível distinguir entre princípios diferentes de manufatura tais como centros de usinagem, células de usinagem, FMS e linhas de produção (TELLES, 1990).

No estado de Sergipe, o controle CNC foi implementado por volta dos anos 2000, principalmente em máquinas de torneamento CNC voltadas para manutenção de peças das indústrias de petróleo e mineração. Atualmente no mercado sergipano, centros de usinagem, centros de torneamento e tornos CNC são encontrados em várias empresas de manutenção, retíficas e de fabricação de peças. As empresas sergipanas encontram dificuldades em investir na tecnologia CNC, devido a falta de mão de obra qualificada, peças de reposição para as máquinas-ferramentas, distribuidores de ferramentas e profissionais com a visão de melhor aproveitamento das máquinas CNC.

#### **2.4. Parâmetros de usinabilidade**

Segundo Tedesco (2007), os parâmetros velocidade de corte ( $V_c$ ), avanço ( $f$ ) e profundidade de corte ( $a_p$ ) afetam a taxa de material removido e a vida da ferramenta no torneamento. Qualquer aumento nesses parâmetros aumenta a taxa de remoção de material, mas diminui a vida da ferramenta. Uma mudança em quaisquer desses parâmetros tem um efeito igual na taxa de remoção, mas um

efeito diferente sobre a vida da ferramenta. Para processos com movimento de rotação, a velocidade corte é calculada pela equação 1.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1)$$

Tem se que:

D = Diâmetro inicial da peça [mm]

n = Número de rotações por minuto [rpm]

A velocidade de corte usada no torneamento tem um efeito sobre a vida da ferramenta maior do que o avanço e a profundidade de corte, e por isso sua seleção é mais crítica (TEDESCO, 2007). Altas velocidades também podem criar problemas relacionados à vibração, vida dos componentes da máquina, assim como a produção e segurança. Devem sempre ser feitas considerações criteriosas a respeito de aumentos na produção e custos por peça usinada (FERRARESI, 1986). Materiais de corte como metais-duros revestidos, cerâmicas, diamante policristalino e nitreto cúbico de boro (CBN), podem gerar benefícios devido às suas propriedades a altas velocidades de corte (STEMMER, 2006).

A vida da ferramenta é menos afetada por variações de profundidade de corte do que por qualquer um dos outros parâmetros. A profundidade de corte ( $a_p$ ) é limitada pela quantidade de material a ser removida, potência disponível na máquina, rigidez do sistema, capacidade da ferramenta, qualidade superficial e precisão requerida. Por outro lado, variações no avanço ( $f$ ) têm efeito sobre a vida da ferramenta. Além disso, uma redução no avanço melhora a qualidade da superfície (TEDESCO, 2007). A velocidade avanço é calculada através da equação 2.

$$V_f = f \times n \text{ [mm/min]} \quad (2)$$

Tem se que:

$f$  = É o percurso de avanço de cada volta (mm/rev).

Cada operação de usinagem possui uma combinação ótima de velocidade de corte ( $V_c$ ) e avanço ( $f$ ) que fornece a maior produtividade para a qualidade requerida. Basicamente, quanto maiores forem  $V_c$  e  $f$ , menor será o tempo efetivo de corte, mas maior será o desgaste das ferramentas (aumentando o tempo gasto com troca de ferramentas e ajustes). Assim, a determinação correta das ferramentas e dos parâmetros de usinagem é fundamental para a viabilidade econômica do processo. Apesar das muitas informações disponíveis pelos fabricantes de ferramentas, o mapeamento experimental é mais indicado para a determinação dos parâmetros ótimos de usinagem nas condições de operação da fábrica.

## 2.5. Formação do cavaco

Dentre os parâmetros de usinagem que influenciam no processo de formação dos cavacos, são destaque o avanço da ferramenta ( $f$ ), a profundidade de usinagem ( $a_p$ ) e a velocidade de corte ( $V_c$ ). As variáveis mais determinantes no desempenho da ferramenta de corte, no tipo e forma do cavaco é o ângulo de saída e o emprego de quebra-cavaco. Este último tem sido fortemente utilizado, uma vez que as melhorias nas ferramentas de corte e nas máquinas-ferramentas têm favorecido a formação de cavaco helicoidal ou em fita, principalmente pelo aumento da velocidade de corte. Daí, a alternativa é recorrer à quebra mecânica do cavaco por flexão (FERRARESI, 1986).

Para operações de usinagem, os cavacos da classe (a) e (b) (Figura 2) são considerados indesejáveis, pois eles possuem baixa densidade efetiva, ocupam muito espaço e causam problemas econômicos no manuseio, descarte e reaproveitamento. Além disso, podem enrolar-se em torno da peça, da ferramenta ou de componentes da máquina. Com temperaturas elevadas e arestas afiadas, representam um grande risco para o operador do equipamento. Ao se enrolarem na peça, causam danos na superfície usinada e impedem o acesso adequado do fluido de corte na interface cavaco-ferramenta.



Figura 2 - Diferentes formas que os cavacos assumem quando são gerados durante operações de torneamento. (a) fita, (b) helicoidal, (c) espiral e (d) em lascas (Tungaloy, 2008).

## 2.6. Ferramentas de corte

Considera-se uma série de fatores na seleção do material da ferramenta de corte a ser utilizado, dentre eles a microestrutura do material a ser usinado, dureza e tipo de cavaco, processo de usinagem, condições da máquina operatriz, forma e dimensões da própria ferramenta, custo do material da ferramenta, condições de usinagem e características do material da ferramenta (alta dureza a quente, resistência ao desgaste, tenacidade, estabilidade química). (DINIZ, A.E. et. al, 2007).

As ferramentas mais utilizadas atualmente são feitas de aço-liga conhecidos como aços-rápidos (*high speed steel* – HSS) ou de compostos de matriz metálica e carbonetos, conhecidas como metal duro (ver figura 3).

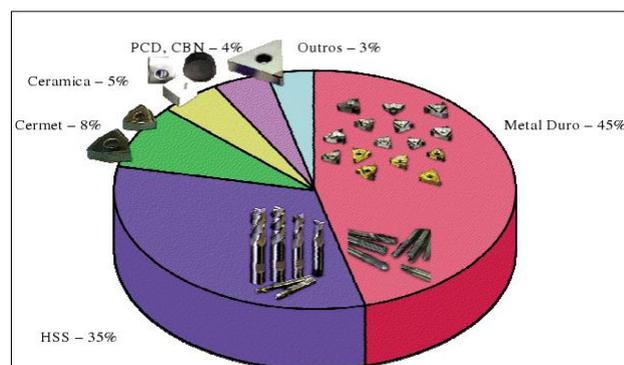


Figura 3 – Materiais empregados para ferramentas de corte (Iscar, 2001).

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 restrita devido a sua forma e dimensão. Assim, tem-se algumas ferramentas de aço rápido (Figura 4) 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 (DINIZ, A.E. et. al, 2007).



**Figura 4 – Ferramenta de aço rápido.**

A ferramenta de metal duro é um produto da metalurgia do pó feito de partículas duras finamente dispersas de carbonetos de metais refratários (WC, TiC, TaC e NbC) sinterizados com cobalto e/ou níquel. Este material combina dureza a alta temperatura com tenacidade, devido a sua variação de composição (DINIZ, A.E. et. al, 2007). A Figura 5 mostra um comparativo de dimensões da ferramenta de metal duro com uma moeda.



**Figura 5 – Ferramenta de corte de metal duro.**

## 2.7. Classificação das ferramentas de metal duro

Os metais duros, com ou sem revestimento, são fabricados em várias classes, que foram desenvolvidas para cobrir a ampla faixa de necessidade operacional existente. A norma ISO 513/2004 classifica os metais duros em 6 grupos, designados pelas letras P, M, K, N, S e H, também designado por um código de cores (azul, amarelo, vermelho, verde, laranja e cinza, respectivamente). A classificação dentro de um grupo ou outro é feita de acordo com a aplicação do metal duro, uma vez que a variedade de composições químicas e processos de fabricação tornam difícil a padronização baseada em outras características. (ISO 153/1975.)

Dentro de cada grupo, ainda há uma classificação usando números. A exigência de usinagem para qualquer uma das classes inicia-se no grupo 1 que para torneamento representa acabamento com alta velocidade de corte, baixo avanço e pequena profundidade de corte. À medida que cresce, chegando até os valores de 40 ou 50, representa o grupo de desbaste, sem acabamento, com baixas velocidades de corte, grandes profundidades de corte e altas cargas de cavacos. As exigências para resistência ao desgaste e a tenacidade variam de acordo com o tipo de operação e são grandezas inversas, ou seja, crescem e decrescem, respectivamente, à medida que se muda de grupo.

A classe P (azul) compreende as ferramentas para usinagem de aços e ferros-fundidos. Em geral é a base de Co e possui ampla combinação de carbonetos.

## 2.8. 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 tem sido aplicado como uma alternativa possível ao uso do fluido de corte (FERRARESI, 1986).

Atualmente, tem sido utilizado fluido de corte a alta pressão. De acordo com DINIZ (2007), vários pesquisadores observaram um aumento significativo na vida da ferramenta, porque melhora a refrigeração no ponto de contato ferramenta-peça.

## 2.9. Avarias e desgaste da ferramenta de corte

Durante o processo de usinagem dos metais ocorrem esforços mecânicos (forças de corte), vibrações do sistema e atrito dinâmico entre peça/ ferramenta e cavaco/ferramenta, os quais levam a ferramenta de corte ao fim de sua vida, que pode ocorrer subitamente através de quebra ou lascamento da aresta de corte, ou continuamente ao longo do tempo através de um desgaste progressivo.

Os fenômenos de danificação da ferramenta de corte, exigindo sua substituição, podem ocorrer de varias maneiras, as quais são discutidas em seguida.

### 2.9.1. Fratura da aresta de corte

A ruptura da ponta ou da aresta cortante da ferramenta (Figura 6) pode acontecer inesperadamente devido alguns fatores, como: ferramenta muito dura, que proporciona alta fragilidade aos choques mecânicos; carga excessiva sobre a ferramenta; geometria da ferramenta inadequada; corte interrompido; parada instantânea do movimento de corte sem prévia retirada da ferramenta; velocidade de corte inadequada, etc. ( FERRARESI,1986).

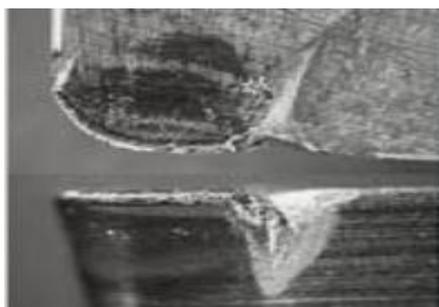


Figura 6 – Fratura da aresta de corte (Tungaloy, 2008).

A quebra da ferramenta é um acontecimento muito danoso, pois normalmente causa a perda da peça usinada, que pode ser de custo elevado e às vezes danifica até o porta-ferramenta, podendo ainda causar problemas à máquina ferramenta. Ainda, algumas vezes a quebra faz com que o porta-ferramenta saia da sua posição original, ocasionando tempos passivos de reposicionamento e zeramento da ferramenta (DINIZ, A.E. et. al, 2007).

### 2.9.2. Trincas

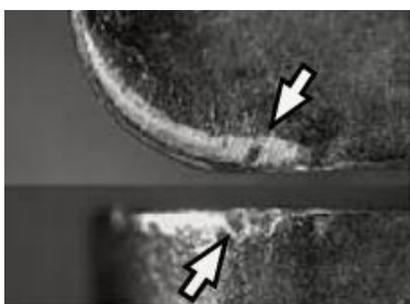
As trincas são causadas por variações bruscas de temperatura e/ou pela variação dos esforços mecânicos (Figura 7). O calor gerado no processo de corte é em parte dissipado pela ferramenta. A região da ferramenta, na qual a temperatura é mais alta é a que está em contato com o cavaco. Nas zonas mais distantes desta, a temperatura é bastante inferior (FERRARESI, 1986). Em consequência disto a ferramenta se dilata e se deforma desigualmente. Isto se agrava ainda mais nas ferramentas de metal duro, pois o coeficiente de dilatação térmica é aproximadamente a metade do coeficiente de dilatação térmica do aço (material que é construído o porta-ferramenta). As pastilhas soldadas, deformando-se diferentemente dos suportes, estarão sujeitas as tensões na superfície de contato ferramenta/suporte, que poderão conduzir a formação de trincas, as quais em geral se localizam no meio da pastilha e se desenvolvem perpendicularmente à aresta cortante. (FERRARESI, 1986). De acordo com Diniz (2007), fatores como corte interrompido, variação na espessura de corte, são causadores de trincas por esforços mecânicos, as quais se desenvolvem paralelamente à aresta de corte.



**Figura 7- Trinca térmica (Tungaloy, 2008).**

### 2.9.3. Lascamento

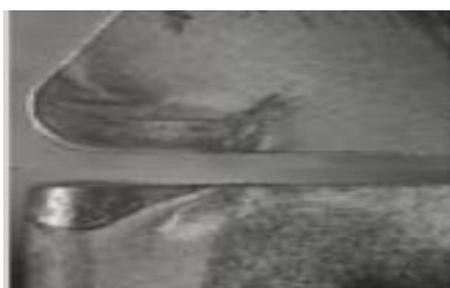
No lascamento, partículas relativamente grandes são retiradas de uma só vez da ferramenta (Figura 8). Acontece principalmente em ferramentas com material frágil ou quando a aresta de corte é pouco reforçada. Provoca a deterioração do acabamento superficial da peça e pode levar a quebra da ferramenta. O lascamento e também as trincas são mais comuns no corte interrompido. (FERRARESI, 1986).



**Figura 8- Lascamento da aresta de corte (Tungaloy, 2008).**

### 2.9.4. Deformação plástica da aresta de corte

A pressão aplicada à ponta da ferramenta somada à alta temperatura pode gerar uma deformação plástica na aresta de corte (Figura 9). Tal deformação provoca deficiência do controle de cavacos e deterioração do acabamento superficial da peça. Se for permitido o crescimento desta deformação até valores altos, gera a quebra da aresta de corte. Isto pode ser evitado pelo emprego de uma ferramenta com maior dureza a quente e maior resistência a deformação plástica (DINIZ, A.E. et. al., 2007).



**Figura 9 – Deformação Plástica da aresta de corte (Tungaloy, 2008).**

### 2.9.5. Desgaste de cratera

O desgaste de cratera ocorre na superfície de saída da ferramenta, causado pelo atrito entre cavaco e ferramenta (Figura 10). A craterização excessiva provoca enfraquecimento da aresta de corte, que pode romper-se, ocasionando o fim de vida da ferramenta (DINIZ, A.E. et. al., 2007).



**Figura 10 – Desgaste de cratera da aresta de corte (Tungaloy, 2008).**

A medição de profundidade da cratera é feita geralmente por perfilômetros registradores especiais, enquanto que, a medição da largura da cratera pode ser feita com uma lupa graduada, ou por maior precisão, pode se utilizar um microscópio de oficina. (DINIZ, A.E. et. al, 2007).

### 2.9.6. Desgaste de flanco

Desgaste de flanco ou frontal acontece na superfície de folga da ferramenta, causado pelo atrito entre ferramentas e peça. É o desgaste mais comum e ocorre sob todas as condições de corte (DINIZ, A.E. et. al, 2007). A Figura 11 mostra o desgaste de flanco, a medição do desgaste de flanco pode ser feita por uma lupa graduada em décimos de milímetros ou um microscópio de oficina.

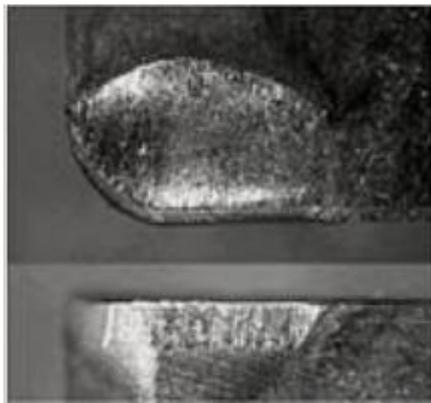


Figura 11 – Desgaste de flanco (Tungaloy, 2008).

### 2.9.7 Desgaste em forma de entalhe

Um entalhe pode ocorrer na extremidade da superfície principal de incidência ou vários entalhes podem ser formados na superfície secundária de incidência, como mostrado na Figura 12. Este último é altamente prejudicial ao acabamento superficial da peça.

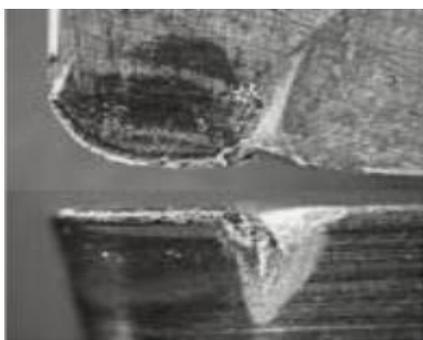


Figura 12 – Desgaste em forma de entalhe (Tungaloy, 2008).

### **2.10. Vida ao desgaste da ferramenta**

STEMMER (2006) cita que a vida ao desgaste da ferramenta depende fundamentalmente da velocidade de corte. Como já comentado, aumentada a velocidade de corte, diminui-se o tempo de corte. Por outro lado, diminui-se a vida da ferramenta, exigindo a retirada mais freqüente da mesma, com conseqüente aumento no tempo total de fabricação.

Quando se avalia a vida de uma ferramenta, é necessário quantificar o nível de desgaste. Quando isto é possível devem-se seguir os parâmetros mostrados na Figura 13 que são os principais utilizados para quantificar o desgaste de uma ferramenta de usinagem (STEMMER, 2006).

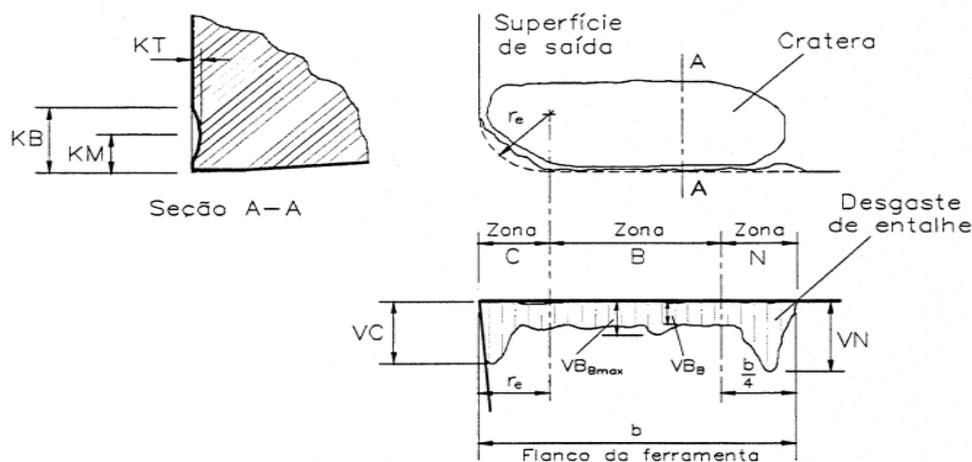


Figura 13 – Principais parâmetros utilizados para quantificar os desgastes (STEMMER, 2006).

Onde:

KT = Profundidade da cratera;

VBB = Desgaste de flanco médio;

VBBmáx = Desgaste de flanco máximo;

VBN = Desgaste de entalhe;

$R_e$  = Raio da ferramenta.

A evolução do desgaste da ferramenta até atingir o final de vida segue, na maioria das vezes, um padrão de comportamento como o mostrado na Figura 14. A figura apresenta três estágios claros no desenvolvimento do desgaste na ferramenta. Segundo Machado e Silva (2009), no primeiro trecho (estágio I), a ferramenta apresenta um rápido crescimento do desgaste, que é o resultado de uma acomodação tribológica do sistema. No final deste estágio há uma inflexão da curva que mostra uma diminuição da taxa de desgaste. Esta inflexão que ocorre no

primeiro estágio irá se refletir no segundo trecho (estágio II), em que há uma acomodação da evolução do desgaste, que cresce muito lentamente e a uma taxa praticamente constante. O último trecho (estágio III) começará quando no estágio anterior houver uma nova inflexão na curva, indicando que a taxa de desgaste está aumentando. Neste estágio, a ferramenta atinge rapidamente o seu final de vida. Se neste estágio a ferramenta não for reafiada ou substituída, poderá rapidamente falhar, pois sua geometria de corte está comprometida devido ao desgaste, o que acarreta grandes níveis de atrito, geração de calor e elevadas tensões.

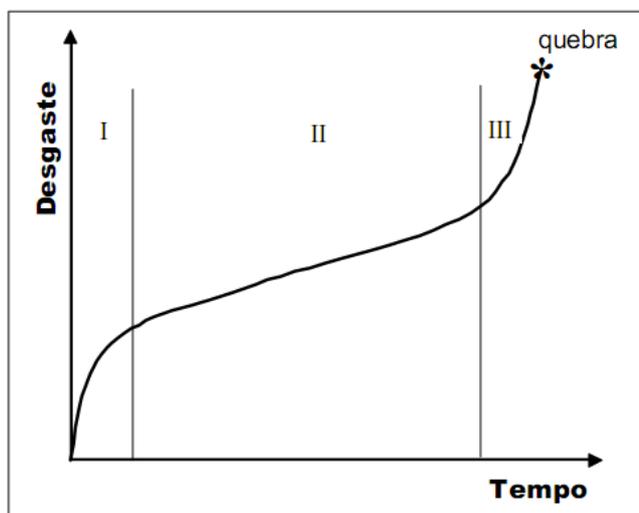


Figura14 – Comportamento do desgaste de uma ferramenta ao longo de sua vida (MACHADO, 2009).

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental desenvolvido nesta pesquisa foi dividido em três etapas: (a) quantificação de falhas apresentadas nas pastilhas freqüentemente utilizadas na empresa SIGMARHOR DO BRASIL LTDA. no processo de torneamento para desbaste de peças de aço, (b) testes aplicados a três marcas de ferramentas de corte submetidas ao mesmo grupo de parâmetros de usinagem, (c) estudo do cavaco da ferramenta que apresentou o melhor resultado.

#### 3.1. Máquina-ferramenta

Os ensaios de torneamento foram realizados na empresa Sigmarhoh do Brasil LTDA em Aracaju, usando um Centro de Torneamento Galaxy 30, da marca Romi, dotado de um comando numérico GE Fanuc 21-T (Figura 15). A máquina tem potência de 22 kW e rotação máxima de 3000 rpm na placa, com precisão de posicionamento no eixo X de 0,004mm e precisão de posicionamento no eixo Z de 0,008mm, com sistema de refrigeração de corte com motobomba de 10 l/min, a pressão de 2 bar, e Torre Romi servoacionada de 12 posições com travamento hidráulico; onde o pré-set (zeramento da ferramenta) é feito manualmente pelo operador.



Figura 15 – Centro de Torneamento Galaxy30 - Romi

### 3.2. Análise da situação atual das condições de operação na empresa

Para um entendimento geral da origem das falhas ocorridas nas operações de torneamento foram selecionadas 20 pastilhas da marca Weller modelo WNMG 080408 EM- TM WM 1100 que eram utilizadas no processo de desbaste para fabricação de peças torneadas do material aço SAE 4140 (Figura 16).

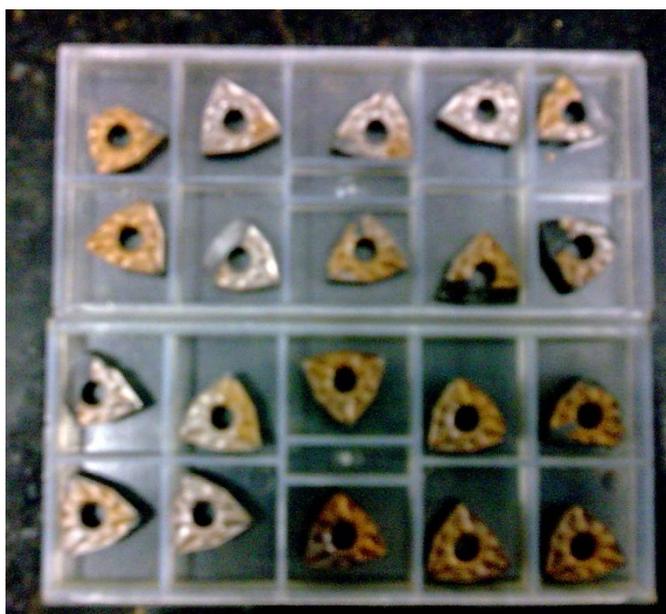


Figura 16 – Caixa com pastilhas usadas da marca Weller.

Cada pastilha WNMG 080408 da Weller apresenta 6 arestas de corte, totalizando 120 arestas. Foram observados os tipos de desgaste presentes nessas arestas de corte. Através de inspeção visual e com um auxílio de um microscópio monocular de oficina, os tipos de desgastes foram passados para uma tabela para quantificação das falhas apresentadas. As pastilhas foram usinadas com os parâmetros recomendados pelo fabricante com faixa de velocidade de corte ( $V_c$ ) de 100 à 200 m/min e avanço ( $f$ ) de 0,15 à 0,3 mm/rev. Descritos no verso da caixa e assim utilizado pelo operador da máquina.

### 3.3. Ensaio aplicado nas ferramentas

Posteriormente, foi realizado um teste comparativo em relação ao desempenho de vida ao desgaste das pastilhas de 3 marcas diferentes, submetidas a parâmetros de usinagem controlados.

As ferramentas foram utilizadas para o processo de desbaste de um tarugo de aço SAE 4140 (Figura 17). Após serem cortadas nas dimensões do projeto em uma serra, as peças foram fixadas nas castanhas do torno CNC. Após a fixação as peças sofreram dois estágios de desbaste, o desbaste inicial (mais crítico para a ferramenta) de remoção da superfície (Figura 18) e depois o desbaste para redução do diâmetro solicitado Figura (19).



**Figura – 17 Tarugo cortado de Aço SAE 4140**



**Figura 18 – Desbaste inicial**



**Figura 19 - Corpo de válvula peça pronta**

Para cada peça fabricada submetida aos dois processos de desbaste, foi utilizada uma aresta nova de corte da mesma ferramenta. Para controle das arestas utilizadas, foi seguida uma identificação como mostrada na figura 20.

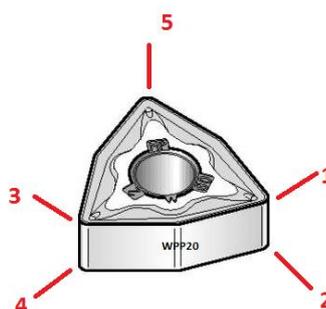


Figura 20 – Identificação utilizada para o ensaio.

Foram selecionadas três marcas de ferramentas:

- A pastilha da marca austríaca Weller, modelo WNMG 080408 - TM WM 1100
- A pastilha da marca sul-coreana Korloy, modelo WNMG 080408 NN 3030
- A pastilha da marca americana Walter, modelo WNMG 080408 NM4 – WPP20

As pastilhas Weller e Korloy foram selecionadas devido à disponibilidade no estoque da empresa, ambas usadas para usinagem de aços em geral. A pastilha Walter foi selecionada através do catálogo da marca, do qual sua classe e revestimento foram indicados para a usinagem de materiais de baixa usinabilidade. Os parâmetros indicados pelo fabricante são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 8- Parâmetros indicados pelo fabricante

Parâmetros indicados pelo fabricante		
Weller	Korloy	Walter
f= (0.1-0.35) mm/rev Vc=(100-200) m/min	f= (0.1-0.5) mm/rev Vc=(100-200) m/min	f= (0.1-0.5) mm/rev Vc=(100-300) m/min
*Preço = 15,90	*Preço = R\$ 19,90	*Preço = R\$ 29,90

\* Preço para compra unitária e aquisição na cidade de Aracaju-SE

Os parâmetros foram divididos em grupos, variando alguns parâmetros como velocidade de corte ( $V_c$ ) e avanço ( $f$ ) e mantendo as condições constantes de

profundidade de corte ( $a_p$ ) e rotação máxima, conforme a Tabela 3. Foram utilizadas duas ferramentas para cada marca utilizada, totalizando seis ferramentas para análise. As nove condições de trabalho foram divididas para cada pastilha como mostrado na Tabela 3.

Foi utilizado o lubri-refrigerante em emulsão solúvel em água, Sidersol 501, com concentração de entre 5% a 10%(pH9,00).

Tabela 9 – Grupos de parâmetros.

<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
$f = 0.2\text{mm/min}$	$f = 0.25\text{mm/min}$	$f = 0.3\text{mm/min}$
$V_c = 100\text{ m/min}$	$V_c = 100\text{ m/min}$	$V_c = 100\text{ m/min}$
$V_c = 150\text{ m/min}$	$V_c = 150\text{ m/min}$	$V_c = 150\text{ m/min}$
$V_c = 200\text{ m/min}$	$V_c = 200\text{ m/min}$	$V_c = 200\text{ m/min}$
$a_p = 0.6\text{ mm}$		
$\text{Rot}_{\text{máx}} = 700\text{ rpm}$		

Tabela 10 – Divisão dos parâmetros para o ensaio.

<b>Pastilha 1</b>		<b>Pastilha 2</b>
<b>Grupo1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
$V_c = 100\text{ m/min} - \text{Aresta 1}$	$V_c = 100\text{ m/min} - \text{Aresta 4}$	$V_c = 100\text{ m/min} - \text{Aresta 1}$
$V_c = 150\text{ m/min} - \text{Aresta 2}$	$V_c = 150\text{ m/min} - \text{Aresta 5}$	$V_c = 150\text{ m/min} - \text{Aresta 2}$
$V_c = 200\text{ m/min} - \text{Aresta 3}$	$V_c = 200\text{ m/min} - \text{Aresta 6}$	$V_c = 200\text{ m/min} - \text{Aresta 3}$

### 3.4. Análise de falhas

#### 3.4.1. Microscopia ótica

As análises microscópicas das falhas nos insertos submetidos ao processo de desbaste foram realizadas no laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais (DEM) na Universidade Federal de Sergipe (UFS). Foi utilizado um estéreo microscópio da Quimis modelo Q745, com a aproximação de 2X, com uma câmera digital de 3 megapixels modelo DCM310, conforme a Figura 21.



**Figura 21 – Estéreo microscópio da Quimis.**

#### 3.4.2. Estudo do cavaco

Após a análise do desempenho da vida ao desgaste das pastilhas testadas, foi realizada uma análise do cavaco da ferramenta que apresentou o melhor desempenho.

A análise do cavaco pode apresentar muitas características inerentes à usinagem. A análise visual do perfil do cavaco e da cor do cavaco é um indicativo do fim de vida da ferramenta e da qualidade da usinagem.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Vida das ferramentas na condição atual de operação

Após observação ao microscópio, foi realizada uma análise quantitativa das falhas presentes nas arestas de corte dos insertos estudados. A partir do estudo de 120 arestas de corte em 20 pastilhas WNMG 080408 EM - TM WM 1100 foi elaborado um diagrama de Pareto das falhas como mostrado na Figura 22.

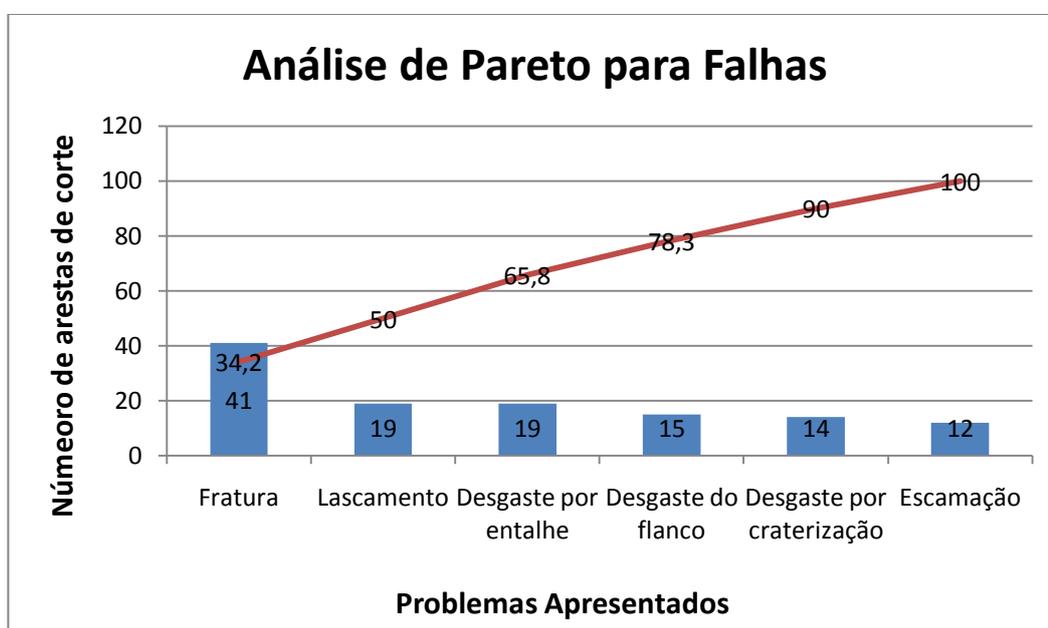


Figura 22 – Diagrama de Pareto das falhas verificadas nas pastilhas usadas na condição atual de operação da fábrica. A linha vermelha representa a porcentagem acumulada.

Observa-se que aproximadamente 34,2% das arestas de corte dos insertos estavam sofrendo falhas por fratura e 15,8% com lascamento da aresta de corte. Totalizando que 50% das falhas foram por avarias não desejadas, e que somente 40% das arestas de corte estavam sofrendo o desgaste natural da ferramenta, esperado para o processo de desbaste.

As avarias apresentadas são o processo de destruição da ferramenta de corte que ocorre de maneira repentina e inesperada, causado pela quebra, lasca ou trinca da ferramenta de corte. A quebra e a lasca levam à perda de uma quantidade

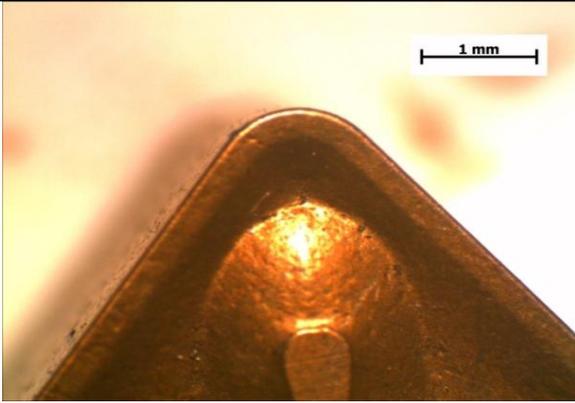
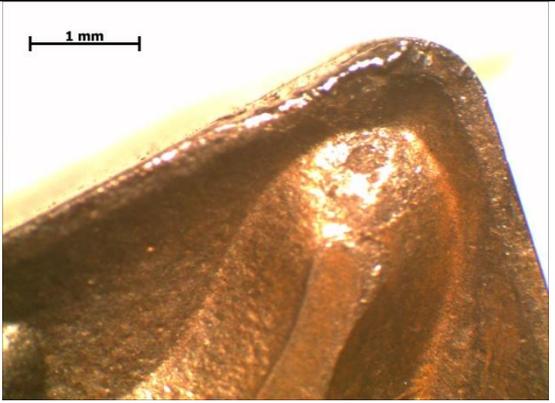
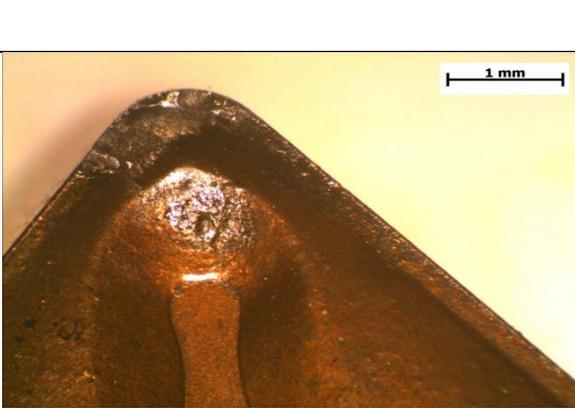
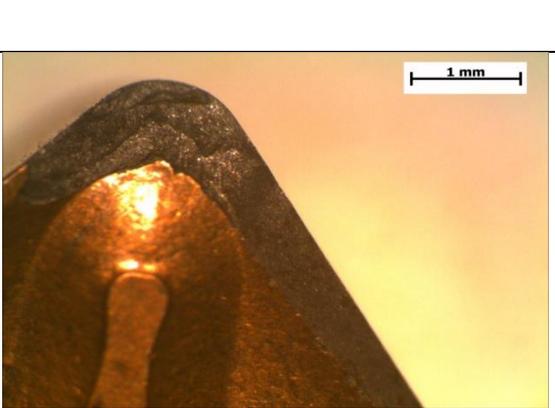
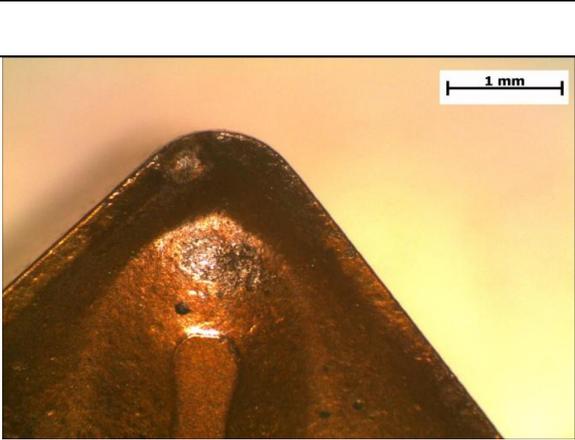
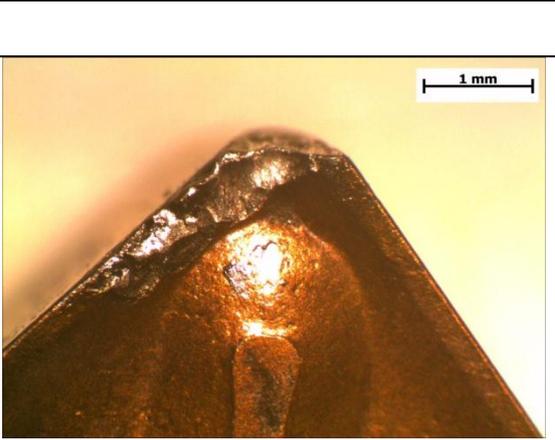
considerável de material da ferramenta de corte instantaneamente, enquanto a trinca promove a abertura de uma fenda no corpo da ferramenta de corte (MACHADO et al, 2009). Essas avarias devem ser evitadas, devido à inutilização parcial ou total das demais arestas de corte pastilha, gerando custos excessivos para processo e demandando mais tempo para a produção do lote das peças.

A fratura da ferramenta ocorre mais freqüentemente no início do corte interrompido ou devido à velocidade de corte ( $V_c$ ) da usinagem inadequada. A fratura pode ser iniciada, também, pela deformação da ferramenta, seguida pela formação de trinca e, finalmente, a fratura mecânica surge no estágio final da falha da ferramenta (MACHADO et al., 2009). Observa-se que a utilização da velocidade de corte de 200 m/min não demonstrou bons resultados em relação à vida ao desgaste da ferramenta e resultou em excessivas fraturas e avarias indesejáveis da aresta de corte das ferramentas.

## **4.2. Estudo comparativo dos parâmetros de usinagem**

### **4.2.1. Inseto Weller**

Nesta pastilha foram observados vários tipos de falhas, desde desgaste até a quebra total, como mostrado na Figura 23. A tabela 5 apresenta os resultados dos testes. Como esperado, o parâmetro mais crítico foi a velocidade de corte, enquanto o avanço foi um parâmetro secundário. Para baixas velocidades de corte ( $V_c$ ) de (100 e 150 m/min) ocorreu normalmente desgaste, para velocidade de corte ( $V_c$ ) de 200 mm/min ocorreu lascamento ou fratura. A transição de lascamento para fratura ocorreu para avanço ( $f$ ) igual a 0,25 mm/rev.

	
Aresta nova da pastilha Weller	(Vc) 100 m/min e avanço (f) 0,2 mm/rev. Desgaste de flanco
	
(Vc) 150 m/min e avanço (f) 0,2 mm/rev. Desgaste por craterização.	(Vc) de 200 m/min e com avanço (f) 0,2 mm/rev. Lascamento
	
(Vc) 100 m/min e avanço (f) 0,25 mm/rev. Desgaste de flanco	(Vc) 150 m/min e avanço (f) 0,25 mm/rev. Desgaste por craterização

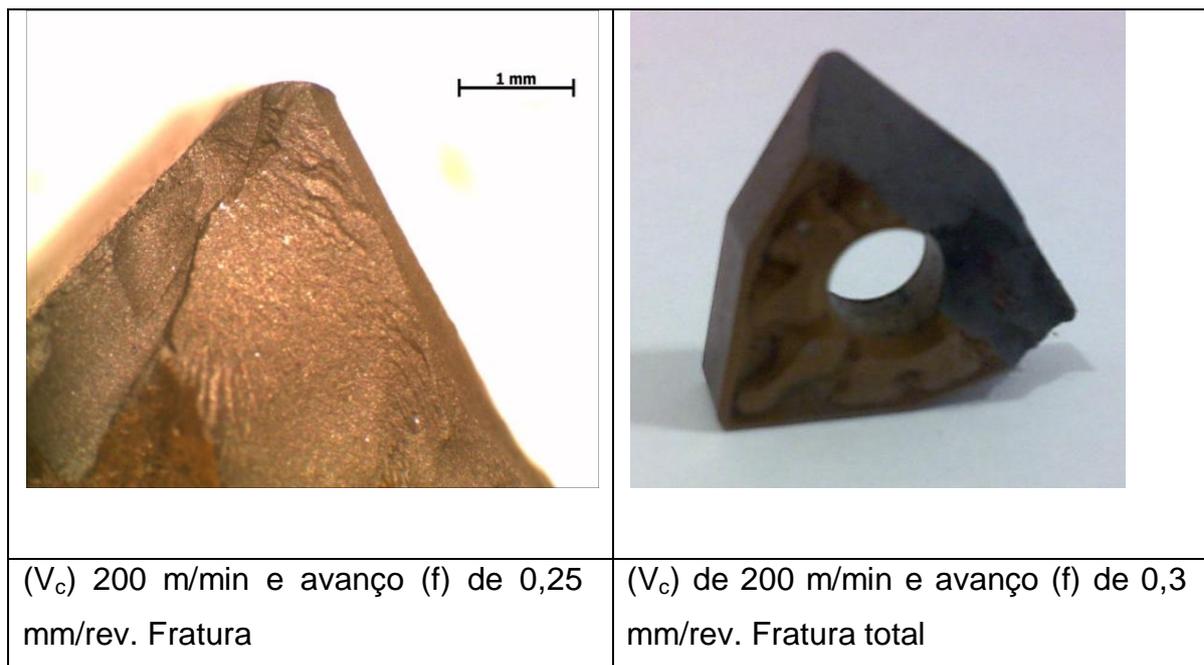


Figura 23– Análise microscópica da pastilha Weller.

Observa-se na Figura 23 ( $V_c$ ) de 200m/min e avanço (f) de 0,25 mm/rev, que a quebra da aresta levou à perda da geometria da ponta o que certamente danificaria o perfil da peça, podendo causar um canal na superfície usinada, ou criando riscos na superfície interferindo diretamente na rugosidade da peça.

Nas condições máximas testadas houve a quebra total da aresta da ferramenta de corte, esse tipo de fratura deve ser o mais evitado possível, pois os riscos inerentes a esse tipo de falha pode gerar danos irreparáveis na peça e na máquina-ferramenta. A fratura total de uma pastilha acarreta no maior gasto de fabricação, uma vez que uma pastilha sofrendo fratura total compromete as demais arestas novas de corte. Além disso, devido ao movimento de avanço do suporte da ferramenta, que entraria em contato com a peça, esse contato poderia danificar o braço do suporte da ferramenta, necessitando de um troca imediata do suporte, gerando custos adicionais para o processo, e o desalinhamento da árvore do porta-ferramentas, o que necessitaria de um alto tempo de manutenção para o alinhamento de alta precisão.

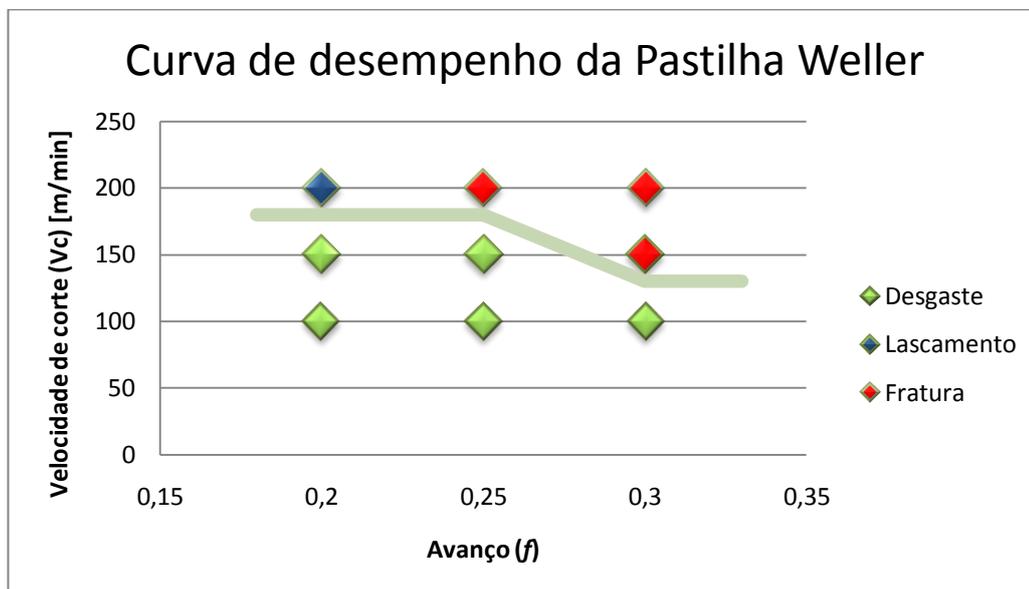
Se for utilizado um parâmetro combinado  $P = V_c \times f$  nas unidades usuais nós observamos que para  $P < 40$  temos desgaste, enquanto para  $P > 45$  temos fratura.

Tabela 11 – Resultado dos testes da pastilha Weller

Parâmetros Utilizados na Weller			
Vc	f	P	Falha apresentada
100	0.2	20	Desgaste
150	0.2	30	Desgaste
200	0.2	40	Lascamento
Vc	f	P	Falha apresentada
100	0.25	25	Desgaste
150	0.25	37,5	Desgaste
200	0.25	50	Fratura
Vc	f	P	Falha apresentada
100	0.3	30	Desgaste
150	0.3	45	Fratura
200	0.3	60	Fratura

Através dos tipos de falhas e os parâmetros apresentados na Tabela 5 do presente estudo, podemos elaborar uma curva de desempenho da pastilha Weller, com intuito de nos mostrar a melhor faixa de desempenho de trabalho para pastilha.

Observa-se através da Figura 24, que a curva de desempenho da pastilha Weller, oscilou abaixo da velocidade de corte ( $V_c$ ) de 200 m/min e atingiu um estado mais crítico com avanço ( $f$ ) de 0,3 mm/rev. Podemos analisar que o fator determinante para ocorrência das falhas foi a utilização de parâmetros elevados de velocidade de corte na faixa de 150 a 200 mm/ min combinado com o parâmetro de avanço acima de 0,25 mm/ rev.



**Figura 24 – Curva de desempenho da pastilha Weller**

#### 4.2.2. Inseto Korloy

A Figura 25 mostra imagens da análise microscópica das pastilhas Korloy estudadas. Observa-se que o desgaste da aresta de corte é mais concentrado em pequenos pontos, mostrando um desempenho melhor em relação aos mesmos parâmetros testados na pastilha Weller. Stemmer, (2006) cita que esses pequenos desgastes concentrados são atribuídos a baixa velocidade de remoção do material da peça.

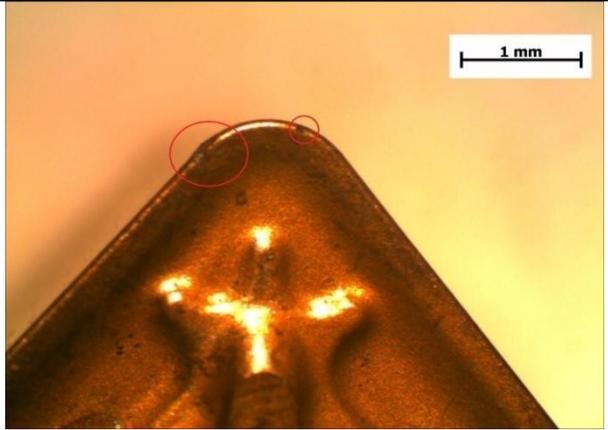
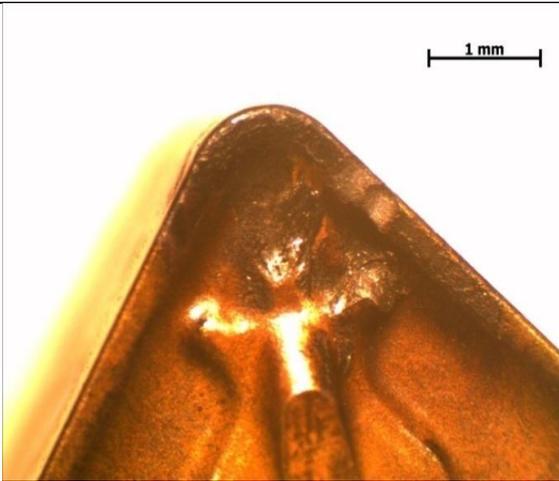
	
<p>Aresta nova da pastilha Korloy.</p>	<p>(<math>V_c</math>) 100 m/min, e avanço (<math>f</math>) 0,2 mm/min. Desgaste</p>
	
<p>(<math>V_c</math>) 200 m/min e avanço (<math>f</math>) de 0,2 mm/rev. Desgaste</p>	<p>(<math>V_c</math>) 200 m/min avanço (<math>f</math>) de 0,25 mm/rev. Desgaste</p>
 <p>(<math>V_c</math>) 200 m/min e avanço (<math>f</math>) 0,3 mm/rev. Fratura</p>	

Figura 25 - Análise microscópica da pastilha Korloy.

Observa-se que com aumento da velocidade de corte ( $V_c$ ) para 200 m/min mantendo o avanço ( $f$ ) de 0,2 mm/rev, há ocorrência do desgaste do flanco da aresta de corte; é mostrado também que na superfície da pastilha próxima a aresta de corte há presença de regiões mais escuras ocasionadas pelo aumento da temperatura entre a ferramenta e a peça.

Pode-se avaliar também o aumento da zona afetada termicamente com o aumento da velocidade de avanço ( $f$ ) para 0,25 mm/min; neste caso os esforços sofridos pela ferramenta foram maiores, ocasionando o lascamento do gume da aresta de corte. Percebeu-se que nas áreas mais próximas da aresta de corte, houve uma adesão de partículas do cavaco com a ferramenta, situação que deve ser evitada para que temperaturas elevadas não fragilizem a peça por fadiga térmica (FERRARESI, 1986). Para os parâmetros máximos estabelecidos pela metodologia do trabalho houve a fratura da aresta de corte mostrada na Figura 25.

De maneira geral, o inserto Korloy demonstrou um desempenho melhor em relação ao inserto Weller, apresentando fratura da aresta apenas na condição mais extrema de usinagem (tabela 6). Se considerarmos nosso fator  $P$ , o valor crítico passou para 50, um aumento de 25% na faixa de trabalho.

Tabela 12 - Parâmetros utilizados na pastilha Korloy.

Parâmetros utilizados na pastilha Korloy			
Vc	f	P	Falha apresentada
100	0.2	20	Desgaste
150	0.2	30	Desgaste
200	0.2	40	Desgaste
Parâmetros utilizados na pastilha Korloy			
Vc	f	P	Falha apresentada
100	0.25	25	Desgaste
150	0.25	37,5	Desgaste
200	0.25	50	Lascamento
Parâmetros utilizados na pastilha Korloy			
Vc	f	P	Falha apresentada
100	0.3	30	Desgaste
150	0.3	45	Desgaste
200	0.3	60	Fratura

A partir dos dados apresentados na Tabela 6, foi desenvolvida a curva de desempenho da pastilha Korloy.

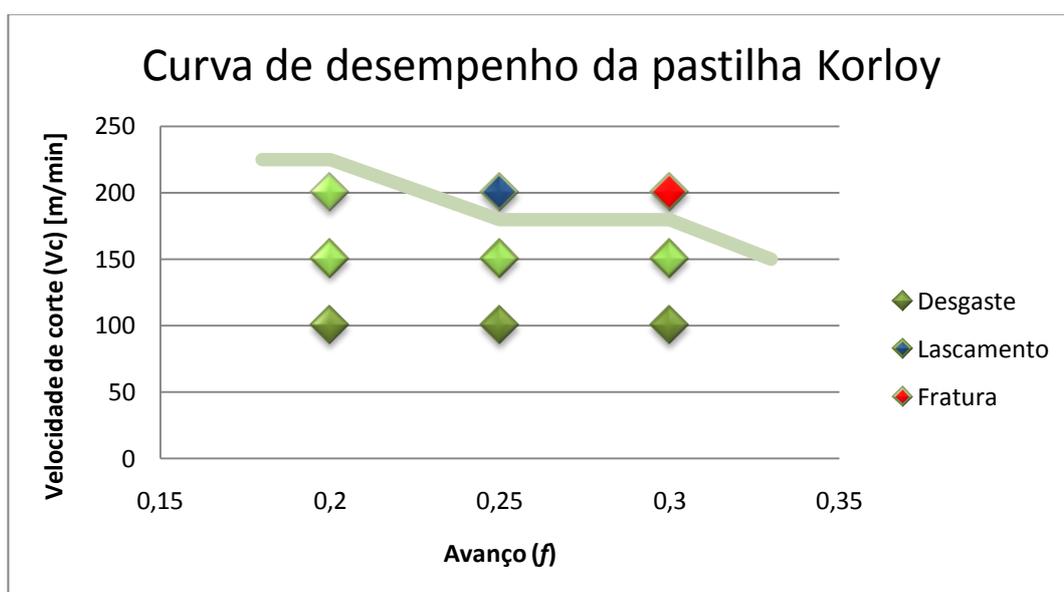


Figura 26 – Curva de desempenho da pastilha Korloy.

Analisa-se através da Figura 26, que a curva de desempenho da pastilha Korloy, mostrou um desempenho melhor em relação à curva de desempenho da pastilha Weller. Percebe-se que a curva se movimentou acima da faixa de trabalho de velocidade de corte ( $V_c$ ) de 200 m/min e avanço ( $f$ ) 0.2 mm/rev, e com o acréscimo do avanço mantendo a velocidade de corte constante, começou a apresentar avarias. Demonstrando o mau desempenho em faixas de operações do nosso fator combinado  $P > 50$ .

#### 4.2.3. Inseto Walter

O inserto Walter (com revestimento de TIC,  $Al_2SO_3$ ) demonstrou resultados mais satisfatórios em relação aos outros insertos analisados. Os desgastes analisados em comparação a outras pastilhas relatam o bom desempenho dessa classe para a usinagem do aço SAE 4140. O inserto possui revestimento de TIC,  $Al_2SO_3$  que garante bom desempenho em altas temperaturas e alta dureza (Teles 2007). Constatou-se que a presença do revestimento próximo à aresta de corte é capaz de ajudar a prolongar a vida da ferramenta.

Observa-se na Figura 27 que na primeira aresta, submetida a parâmetros de usinagem de velocidade de corte de 100 m/min com avanço de 0.2, o desgaste apresentado na ferramenta é quase imperceptível, através da análise de MO. Analisou-se que com a velocidade de corte ( $V_c$ ) 100 m/min e com avanço ( $f$ ) 0,2 à 0,3 mm/min houve um desgaste do flanco da aresta de corte. Ferraresi (1986), fala que o desgaste do flanco, é um dos desgastes mais desejáveis para uma ferramenta de corte submetida ao processo de usinagem.

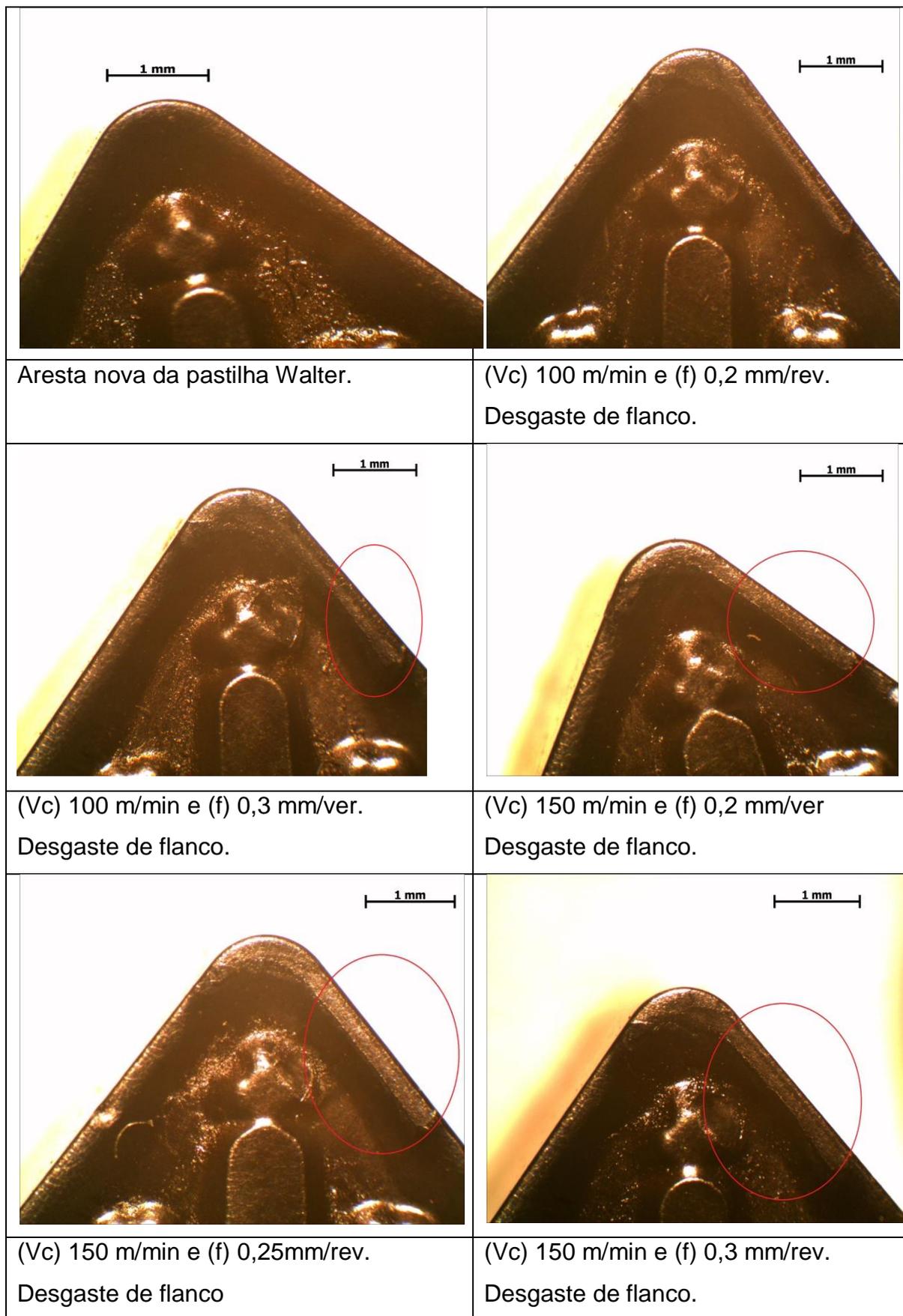


Figura 27 – Análise microscópica da pastilha Walter.

Com a análise do desgaste da ferramenta, submetida aos parâmetros de velocidade de corte ( $V_c$ ) 150 m/min e avanço ( $f$ ) variando de 0,2 à 0,3 mm/rev, observa-se que o tipo desgaste apresentado continuou sendo o desgaste de flanco. Esse desempenho demonstrou bons resultados em relação ao tipo de desgaste apresentado com os mesmos parâmetros, em comparativo com as outras pastilhas. Observa-se que a variação do avanço não demonstrou grandes diferenças perceptíveis ao microscópio, o desgaste da ferramenta foi mínimo em comparação com as velocidades de avanço testadas. A velocidade de avanço não é o fator crucial que interfere na vida ao desgaste da ferramenta, mas compromete a qualidade da usinagem. Machado et. al. (2009), cita que o estudo do cavaco, é um fator importante para estudo da qualidade da usinagem. Esse fator será demonstrado no próximo tópico com a análise do cavaco.

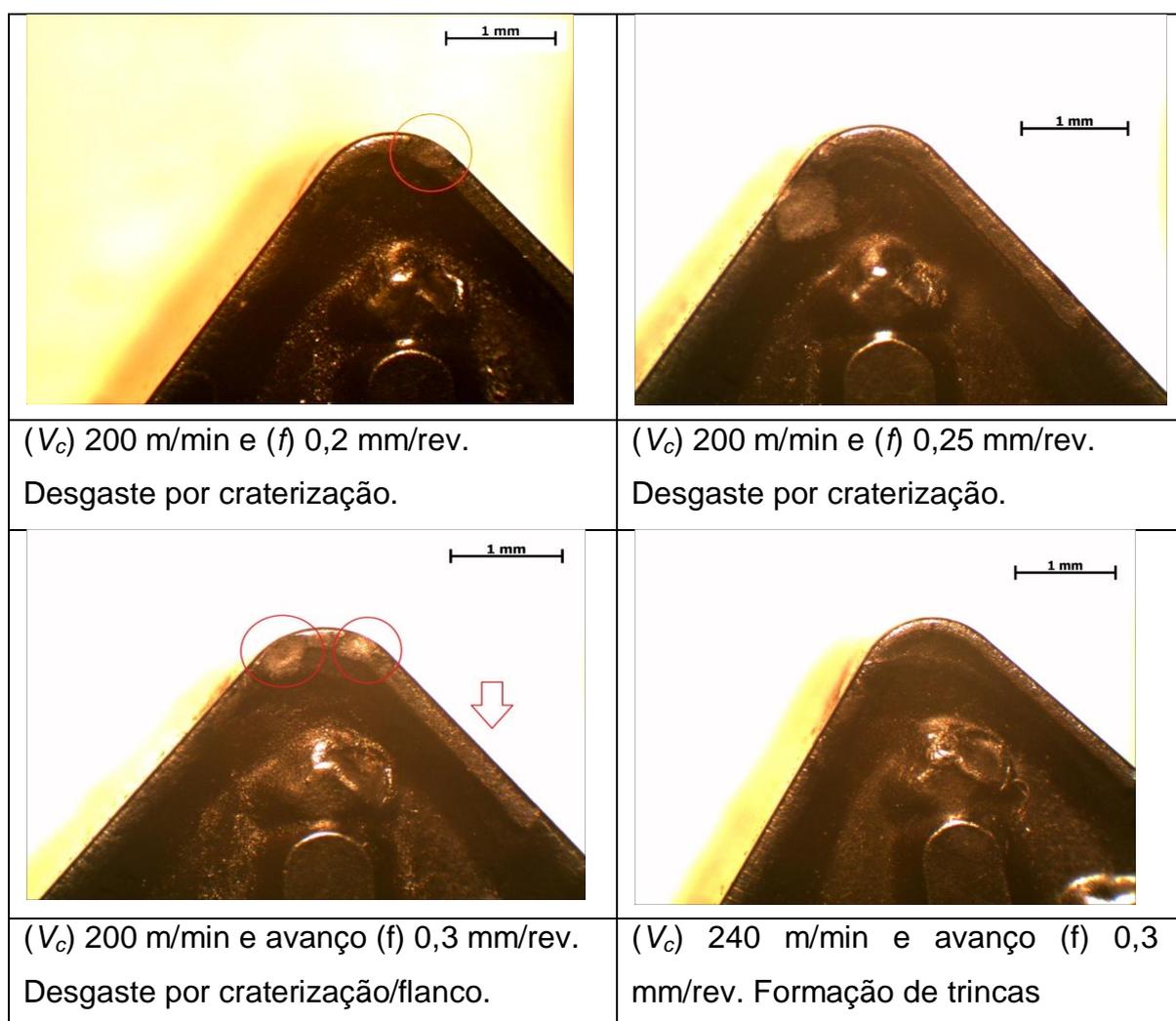


Figura 28 - Análise microscópica da pastilha Walter (2).

Com a máxima velocidade de corte ( $V_c$ ) 200 m/min e avanço ( $f$ ) de 0,2, 0,25 e 0,3 m/min (Figura 28), foi percebido dois tipos de desgaste na ferramenta de corte, o desgaste por craterização e o desgaste do flanco. O desgaste de flanco e as craterizações se desenvolvem durante a vida de trabalho de todas as ferramentas e afetam as suas respectivas performances de acabamento de diferentes maneiras. O desgaste de flanco, por exemplo, pode impactar nas tolerâncias dimensionais em um número de peças acabadas e que a craterização excessiva provoca enfraquecimento da aresta de corte, que pode romper-se, ocasionando o fim de vida da ferramenta. (STEMMER, 2006).

O desempenho da pastilha Walter em relação as outras pastilhas foi muito satisfatório, uma vez que, o fator combinado  $P < 60$  não apresentou avarias como fraturas e lascamentos. Considerando nosso fator  $P$ , o valor crítico passou para 60, um aumento de 50% na faixa de trabalho em relação a pastilha Weller.

Tabela 13 –Parâmetros utilizados na pastilha Walter

Parâmetros Utilizados na Walter			
Vc.	f	P	Falha a
100	0.2	20	Desgaste
150	0.2	30	Desgaste
200	0.2	40	Desgaste
Vc	f.	Falha apresentada	
100	0.25	25	Desgaste
150	0.25	37,5	Desgaste
200	0.25	50	Desgaste
Vc.	f.	Falha apresentada	
100	0.3	30	Desgaste
150	0.3	45	Desgaste
200	0.3	60	Desgaste

A partir dos dados da Tabela 7 foi levantada a curva de desempenho da pastilha Walter (figura 29).

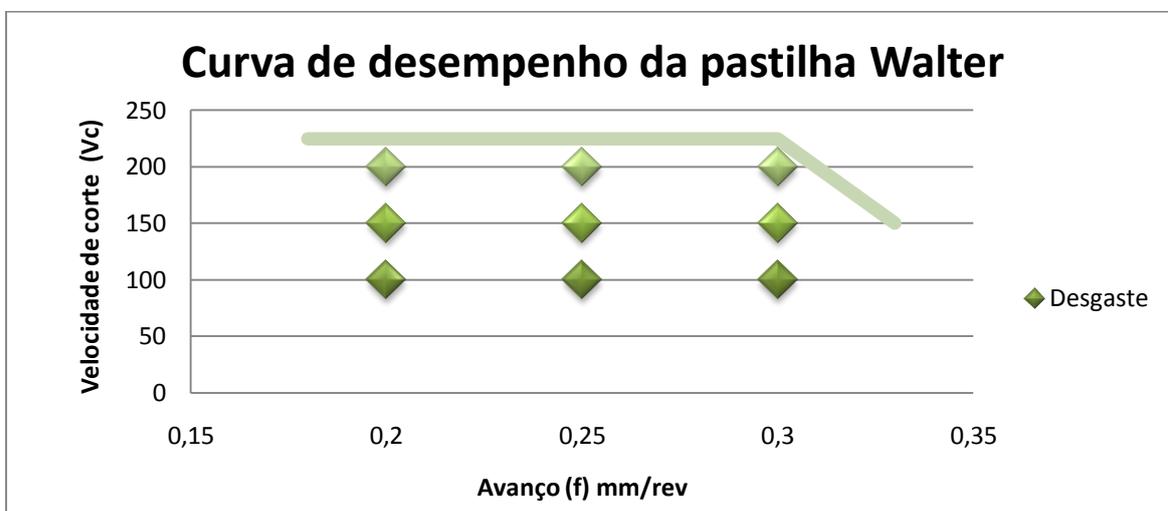


Figura 29 – Curva de desempenho da pastilha Walter.

Analisa-se que a curva de desempenho da pastilha Walter demonstrou um ótimo desempenho para o processo de usinagem do aço SAE 4140 em relação as outras pastilhas analisadas. Essa curva oscila próxima a velocidade de corte ( $V_c$ ) de 200 m/min e apresenta um desempenho satisfatório para o processo.

Após ser percebido que a pastilha WNMG 080408 da marca Walter atingiu resultados convincentes em relação às outras pastilhas analisadas, outra pastilha da Walter foi submetida a testes para análise do desgaste, submetida a parâmetros maiores. Ferraresi, (1986) diz que se aumentarmos a velocidade de corte em torno de 20%, a vida ao desgaste da ferramenta cai para metade.

A pastilha foi submetida aos mesmos parâmetros das outras pastilhas testadas, limite de rotação de 700 rpm, profundidade de corte de 0,6mm, avanço de 0,3mm/min e velocidade de corte de 240 m/min (Figura 30).

Posteriormente ao procedimento de desbaste, verificou-se que a aresta de corte da ferramenta, próximo ao gume, atingiu uma temperatura maior, esse aumento de temperatura pode causar expansão periódica e contração das ferramentas ocasionando formação de trincas. 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 100m/min,

essas trincas não se formam, mas adesão e lascamento ocorrem devido ao carregamento mecânico e a natureza instável da aresta postiça.

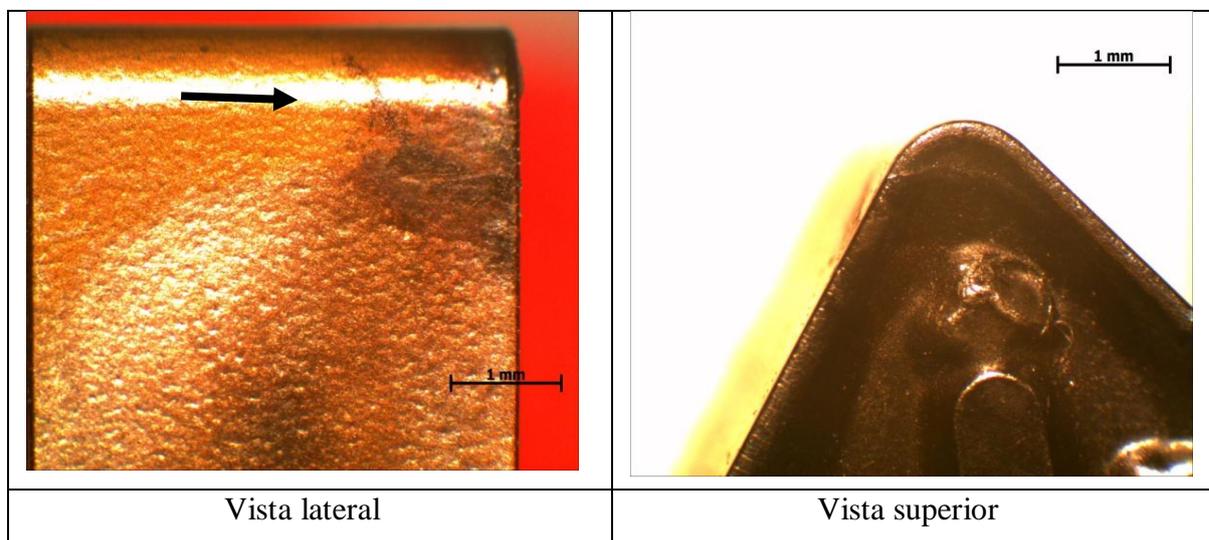


Figura 30 – Vistas da pastilha Walter.

#### 4.3 Comparativo da faixa de trabalho das pastilhas

Através dos dados obtidos foi possível a elaboração de gráficos da faixa de trabalho para pastilha, esses gráficos mostram em que zona a pastilha pode operar sem sofrer avarias indesejáveis com fraturas e lascamentos.

Podemos observar que para os três gráficos elaborados, a faixa de trabalho da pastilha Weller apresentou a menor zona, demonstrando que para o processo de desbaste do aço SAE 4140, a pastilha não poder ser selecionada para usinagem com parâmetros de velocidade de corte acima de 150 m/min, a fim de evitar avarias indesejáveis na ferramenta e que para a seleção da velocidade de 150 m/min, a mesma não pode ultrapassar avanços de 0,25 mm/rev, limitando-a a trabalhar na zona indicada.

Percebe-se através da figura 31, que a pastilha korloy, apresentou uma zona de trabalho operacional com a velocidade de corte de 200 m/min permanecendo o avanço de 0,2 mm/rev. Analisa-se também que com aumento da velocidade de

avanço, se faz necessário a redução da velocidade de corte com o objetivo de prevenir contra falhas inesperadas.

A pastilha da Walter apresentou as melhores condições de trabalho para a usinagem do aço SAE 4140, evidencia-se através da figura 31 que a faixa de trabalho da pastilha Walter é superior as demais pastilhas, e que a mesma pode operar com a velocidade de corte de 200 m/min e com qualquer variação e avanço, permitindo várias combinações de parâmetros.

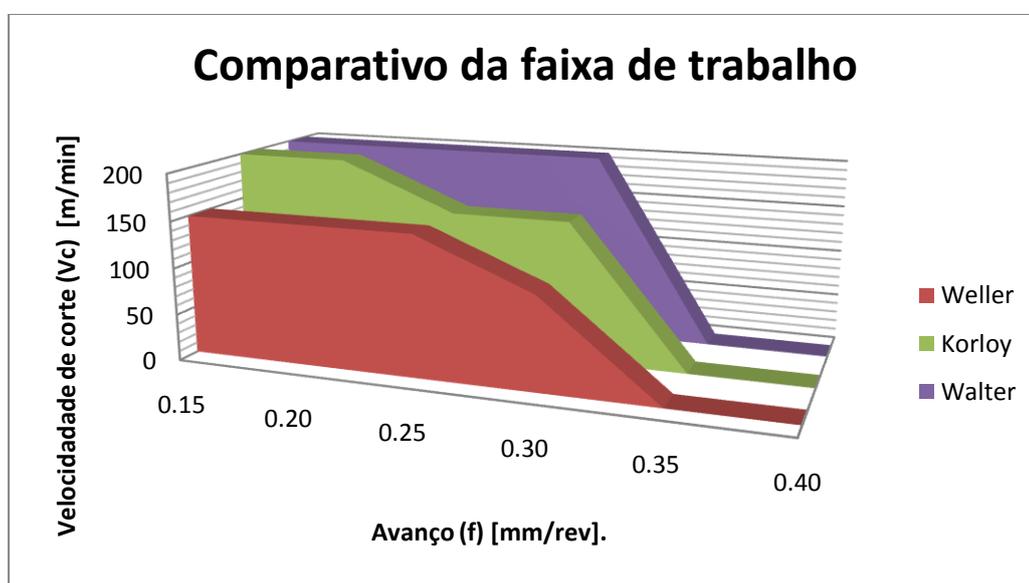


Figura 31– Comparativo de trabalho das pastilhas Weller, Korloy e Walter.

Evidencia - se através da sobreposição dos gráficos das faixas de trabalho das pastilhas, o bom desempenho da pastilha Walter em relação as das demais pastilhas analisadas.

#### 4.4 Análise do cavaco.

O material da peça é o principal fator que vai influenciar na classificação quanto à forma dos cavacos. Quanto às condições de corte: maior  $V_c$  (velocidade

de corte),  $f$  (avanço) e  $\gamma$  (ângulo de saída) tende a produzir cavacos em fitas (ou contínuos, quanto ao tipo). O “ $f$ ” é o parâmetro mais influente é a profundidade de corte ( $a_p$ ) é o que menos influencia na forma de cavacos. (FERRARESI,1986).

As pastilhas utilizadas para todas as análises do cavaco foi WNMG 080408 da Walter, com o mesmo ângulo de saída e com o mesmo quebra-cavaco, submetidas à profundidade de corte constante, logo os únicos parâmetros que causaram interferência no formato do cavaco foi o avanço ( $f$ ) e velocidade de corte ( $V_c$ ).

A Figura 32 mostra o cavaco utilizado no ensaio da pastilha Walter com os parâmetros de velocidade de corte ( $V_c$ ) em 100 m/min e o avanço ( $f$ ) de (0,2, 0,25 e 0,3) mm/rev.



Figura 32 - Velocidade de corte ( $V_c$ ) de 100 m/min e avanço ( $f$ ) de (0,2, 0,25 e 0,3) mm/rev.

Observa-se que com avanço ( $f$ ) de 0,2 mm/rev, o cavaco apresenta formato espiral e com comprimento inferior a 15 mm e com uma cor mais clara (cinza) considerada um bom cavaco para um processo e usinagem. Com o aumento do avanço para 0,25 mm/rev, o cavaco continuou no formato de espiral, mas com um comprimento superior a 15 mm, considerado inadequado. Já com o avanço de 0,3 mm/rev, o cavaco apresentou formato em lascas, considerado o ideal, mas com uma cor escura, mostrando que este processo atingiu altas temperaturas entre a área de corte entre a ferramenta e a peça. Ferraresi, (1986) comenta que a cor do cavaco, é causada pelas altas taxas de temperatura entre a ferramenta de corte e

remoção do material da peça, e que essa temperatura ocasionada pelo atrito pode interferir na vida ao desgaste da ferramenta.

Evidencia que com a velocidade de corte de 150 m/min, o cavaco atingiu perfis melhores, uma vez que não foi mais constatado cavacos em espirais acima de 15 mm. Mostrando que a velocidade de corte de 150 m/min apresenta uma qualidade de usinagem melhor em comparação com a velocidade de corte ( $V_c$ ) 100 m/min. Com avanço ( $f$ ) de 0,2 mm/rev, o formato do cavaco foi em espiral cônico inferior a 15 mm, considerado aceitável. Aumentado o avanço ( $f$ ) para 0,25 mm/rev, percebe-se que o perfil do cavaco mesclou entre espiral cônico e lascas com uma cor mais escura em relação ao mesmo avanço com velocidade de corte ( $V_c$ ) de 100 m/min anteriormente testada (Figura 33).



Figura 33 – Velocidade de corte ( $V_c$ ) de 150 m/min e avanço ( $f$ ) de (0,2, 0,25 e 0,3) mm/rev.

Observa-se que o avanço ( $f$ ) de 0,2 mm/rev e com velocidade de corte ( $V_c$ ) 200 m/min, que o cavaco não atingiu um formato ideal, podemos perceber a presença de cavacos em forma de filete, espiral contínuo e espiral cônica. O perfil de lascas, considerado ideal, foi obtido com os parâmetros de avanço ( $f$ ) de 0,25 e 0,3 mm/rev, o cavaco apresentado foi o perfil de lascas com o formato mais quebradiço e com uma cor mais escura, resultado da alta temperatura no processo de remoção do material (Figura 34).



Figura 34 – Velocidade de corte ( $V_c$ ) de 200 m/min e avanço ( $f$ ) de (0,2, 0,25 e 0,3) mm/rev.

Observou-se que a melhor velocidade de avanço para se obter a melhor qualidade da usinagem, nas velocidades de corte testadas, foi de 0,3 mm/rev. O perfil do cavaco em forma de lascas é o mais desejado, e esse perfil deve ser buscado no resultado da seleção de parâmetros de qualquer processo de torneamento.

#### 4.5 – Considerações econômicas

Para determinação dos custos da produção relacionada ao custo das ferramentas, faz-se necessário a determinação do tempo de corte para cada pastilha. Para obtenção do tempo de corte é preciso o cálculo da rotação para cada velocidade de corte selecionada da ferramenta (equação 3).

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \quad (3)$$

$n$  = rotação [rpm]

$V_c$  = Velocidade de corte [m/min]

$d$  = Diâmetro da peça [mm]

A partir da determinação da rotação, podemos calcular o tempo e de corte para cada ferramenta utilizada, como podemos ver na equação 4.

$$t_c = \frac{l}{f \times n} \times \frac{(d_f - d_o)}{2 \times a_p} \quad (4)$$

Tem se que:

$t_c$  = Tempo de corte [min];

$l$  = Comprimento da peça [mm];

$f$  = Avanço [mm/rev];

$d_f$  = Diâmetro final da peça [mm];

$d_o$  = Diâmetro inicial da peça [mm];

$a_p$  = Profundidade de corte [mm].

O custo de um processo de usinagem ( $K_p$ ) é aquele incorrido diretamente no processo e, de acordo com Diniz (2000), é obtido através da soma dos custos das constantes. Onde  $C_1$  é uma constante independente da velocidade de corte em R\$/peça,  $C_2$  é a soma das despesas com mão-de-obra e com máquina em R\$/hora e  $C_3$  é a constante de custo relativo à ferramenta (equação 5).

$$Kp = C_1 + \frac{t_c}{60} \times C_2 + \frac{t_c}{T} \times C_3 \quad (5)$$

Partindo de uma premissa de um pedido de um lote de 100 peças, para fabricação de um corpo de válvula com diâmetro final ( $d_f$ ) de 140 mm e comprimento ( $l$ ) de 95 mm, de um tarugo aço SAE 4140 de diâmetro 155 mm com custo de matéria prima por peça ( $C_1$ ) de R\$ 60,00 e com custo de mão de obra-máquina de R\$ 30,00 por hora.

A partir dos parâmetros, de melhor desempenho já analisados, foi escolhido os melhores parâmetros das pastilhas para estimativa do tempo de corte através da equação 4.2. A partir dos resultados obtidos foi elaborada a Tabela 8 para melhor comparativo dos resultados dos tempos de corte.

**Tabela 8 – Tempo de corte das pastilhas Weller, Korloy e Walter.**

<b>Tempo de corte</b>		
<b>Weller</b>	<b>Korloy</b>	<b>Walter</b>
(V <sub>c</sub> ) 150 m/min (f) 0,25 mm/rev.	(V <sub>c</sub> ) 200 m/min (f) 0,2 mm/rev.	(V <sub>c</sub> ) 200 m/min (f) 0,3 mm/rev.
T <sub>c</sub> = 17.4 min	T <sub>c</sub> = 13.05 min	T <sub>c</sub> = 8.7 min

Para o fator de desgaste T, foi utilizado o fator combinado P para uma correlação da estimativa do desempenho ao desgaste. Uma vez que, o fator combinado P da pastilha Walter apresentou um desempenho de 50% acima da pastilha da Weller, e a pastilha da Korloy apresentou um desempenho melhor de 25%.

$$K_{Weller} = 60 + \frac{17.4}{60} \times 30 + \frac{17.4}{1} \times 15.90 \quad (6)$$

$$K_{Korloy} = 60 + \frac{13.05}{60} \times 30 + \frac{13.05}{1.25} \times 19.90 \quad (7)$$

$$K_{Walter} = 60 + \frac{8.7}{60} \times 30 + \frac{8.7}{1.5} \times 29.90 \quad (8)$$

Os resultados dos custos de produção para cada ferramenta foi demonstrado na Tabela 9. A pastilha da Walter apresentou o melhor custo de produção, devido a

pastilha operar em maiores condições de corte e avanço e demonstrar melhor desempenho ao desgaste da ferramenta.

**Tabela 9 – Custo de produção por peça**

<b>Custo de produção (R\$/peça)</b>		
Weller	Korloy	Walter
345.36	274.5	237,77

Observa-se através da tabela 10, que para um lote maior de peças (100), o custo de fabricação utilizando a pastilha Walter alcançou um resultado de 31.73% de economia, e uma redução de 50% no tempo de fabricação do lote.

**Tabela 10 – Análise de produção para um lote de 100 peças.**

<b>Análise de produção para um lote de 100 peças</b>		
	Custo de produção	Tempo de fabricação
<b>Pastilha Weller</b>	R\$ 34.536,00	1740 min = 29 horas
<b>Pastilha Walter</b>	R\$ 23.777,00	870 min = 14,5 horas
<b>Economia</b>	R\$ 10.766,00	14,5 horas

## CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas, concluí-se que:

- O parâmetro determinante analisado para a vida ao desgaste da ferramenta foi a velocidade de corte.
- As pastilhas da Weller sofrem avarias indesejáveis por excessiva velocidade de corte.
- Pastilhas de classe 10 (Weller e Korloy) não apresentam tenacidade e boa resistência para o processo de torneamento do aço SAE 4140.
- Uma pastilha de metal duro revestida com TIC,  $Al_2SO_3$ , classe 20 (Walter) apresentou os melhores resultados em relação à vida ao desgaste da ferramenta para torneamento do aço SAE 4140.
- Para o processo de desbaste do aço SAE 4140, utilizando a pastilha WNMG 080408 da Walter, observou-se que a melhor velocidade de avanço para se obter a melhor qualidade da usinagem, nas velocidades de corte testadas, foi de 0.3 mm/rev.
- A análise econômica mostrou que o uso da pastilha classe 20 resulta em melhores tempos de produção e economia em torno de 30% em relação ao custo atual de produção.

## REFERÊNCIAS

ABM. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Portal para projetos colaborativos. Disponível em [www.abmbrasil.com.br](http://www.abmbrasil.com.br). Acesso em maio/2011.

CALLISTER, W.D. *Ciência e Engenharia de materiais – Uma introdução*. 5ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CHIAVERINI, Vicente. *Aços e ferros fundidos*. 7. ed. São Paulo: ABM, 2005.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*, São Paulo, Artliber, 2000.

FAVORIT. *Aços Especiais. Características e aplicações de aços para construção mecânica*. Catálogo Técnico. 2006

FERRARESI, Dino. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. 6. ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 1986

FERRARESI, D. *Tecnologia da usinagem dos metais*. 9a. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA. 2003

Catálogo ISCAR. Conceitos básicos de usinagem, 2001.

MACHADO, A.R.; DINIZ, A.E. *Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluídos de corte*. Máquinas e Metais, 134-151, dezembro, 2000.

MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

MEIRELLES, G.S.C. (2000). *Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados em operações de usinagem visando o monitoramento de linhas ou células de*

*produção*. São Carlos, 2000. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MIRANDA, W.A.M. *Uma Contribuição ao Processo de Furação sem Fluido de Corte com Broca de Metal Duro Revestida com TiAlN*. Campinas, 182p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 2003.

TEDESCO, M.E. *Variação Dimensional e Microestrutural do Aço AISI 4140 em Peças Usinadas por Torneamento*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Caxias do Sul, p.69, 2007.

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.

TELLES, G.N. S.P.A.T. *Sistema de Programação Automática de Tornos*. São Paulo: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, 1990. 114p. Tese (Doutorado).

Catálogo TUNGALOY. Catálogo Técnico, 2008.

STEMMER C. R. *Ferramentas de Corte I*. 6ª edição. Editora Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.