



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA**

SILVAN LUCAS DOURADO E SOUZA

**ESTUDO DO DESGASTE EM UMA OPERAÇÃO DE TORNEAMENTO: uma
análise comparativa**

**TERESINA
2023**

SILVAN LUCAS DOURADO E SOUZA

ESTUDO DO DESGASTE EM UMA OPERAÇÃO DE TORNEAMENTO: uma análise
comparativa

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Bacharelado em
Engenharia Mecânica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central.

Orientador: Prof. Me. José Matias Ferreira Filho

TERESINA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Souza, Silvan Lucas Dourado e

S719e Estudo do desgaste em uma operação de torneamento : uma análise comparativa / Silvan Lucas Dourado e Souza. - 2023.
37 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2023.

Orientador : Prof Me. José Matias Ferreira Filho.

1. Desgaste . 2. Usinagem . 3. Vida útil . 4. Processos de Fabricação.
I. Título.

CDD - 620

Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631

SILVAN LUCAS DOURADO E SOUZA

ESTUDO DO DESGASTE EM UMA OPERAÇÃO DE TORNEAMENTO: uma análise
comparativa

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Bacharelado em
Engenharia Mecânica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central.

Aprovada em: 01/06/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. José Matias Ferreira Filho (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Petteson Linniker Carvalho Serra
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Edilson Rocha de Sousa
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

RESUMO

O processo de desgaste ocorre naturalmente quando dois materiais entram em contato e se movem um contra o outro, causando perda de material em uma ou em ambas as superfícies. Esse processo é comumente encontrado em métodos produtivos de usinagem e também em equipamentos que envolvem movimentos rotativos, como engrenagens, rolamentos e eixos. O presente trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de duas ferramentas de corte em um processo de torneamento de um tarugo de aço AISI 1045 temperado com 50mm de diâmetro e 20 cm de comprimento. Foi feita uma análise entre as ferramentas e os resultados obtidos, considerando o desgaste do material, rugosidade Ra e a corrente com a manutenção dos mesmos parâmetros durante o processo, obtendo melhores resultados relativos a desgaste e rugosidade para a ferramenta da marca Mitsubishi, já para os dados relativos a corrente, a ferramenta da marca Iscar apresentou números melhores.

Palavras-chave: desgaste; usinagem; vida útil; processos de Fabricação; dureza.

ABSTRACT

The wear process occurs naturally when two materials come into contact and move against each other, causing loss of material on one or both surfaces. This process is commonly found in productive machining methods and also in equipment involving rotating movements, such as gears, bearings and shafts. The present work aimed to compare the performance of two cutting tools in a turning process of an AISI 1045 tempered steel billet with 50mm in diameter and 20 cm in length. An analysis was made between the tools and the results obtained, considering the wear of the material, roughness Ra and the current with the maintenance of the same parameters during the process, obtaining better results regarding wear and roughness for the tool of the Mitsubishi brand, as for the current data, the Iscar brand tool showed better numbers.

Keywords: wear; machining; lifespan; manufacturing processes; roughness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Operação de torneamento	11
Figura 2	- Diagrama de dureza x tenacidade	13
Figura 3	- Desgaste de flanco	17
Figura 4	- Desgaste de entalhe	18
Figura 5	- Desgaste de cratera.....	19
Figura 6	- Ferramenta Iscar	22
Figura 7	- Ferramenta Mitsubishi	22
Figura 8	- Torno Vekker TVK-1660ECO	23
Figura 9	- Durômetro INSIZE ISH-SPHA	23
Figura 10	- Rugosímetro Mitutoyo SJ-20	24
Figura 11	- Aço 1045 50mm diâmetro	24
Figura 12	- Curvas de temperabilidade e revenimento	25
Figura 13	- Tarugo Têmperado	26
Figura 14	- Durômetro INSIZE ISH-SPHA	27
Figura 15	- Adaptação do microscópio	28
Figura 16	- Marcação do corpo de prova	28
Figura 17	- Equipamento de medição de corrente	29
Figura 18	- Gráfico coletado de corrente RMS	29
Figura 19	- Vbmax x comprimento usinado	31
Figura 20	- Rugosidade x comprimento usinado	32
Figura 21	- Corrente x Comprimento usinado	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ap	Profundidade de corte
f	Avanço
IFPI	Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Piauí
UFPI	Universidade Federal do Piauí
VB	Desgaste de flanco
Vc	Velocidade de corte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1	USINAGEM	10
3.1.1	Torneamento	11
3.1.2	Parâmetros de corte	11
3.1.3	Materiais de ferramenta de corte	12
3.2	DESGASTE	13
3.3	MECANISMOS DE DESGASTE	14
3.3.1	Desgaste abrasivo	14
3.3.2	Desgaste por adesão	15
3.3.3	Desgaste por fadiga	15
3.4	FALHA E DESGASTE NA FERRAMENTA DE CORTE	16
3.4.1	Desgaste de flanco	16
3.4.2	Desgaste de entalhe	17
3.4.3	Desgaste de cratera	18
3.5	CRITÉRIOS DE FIM DE VIDA NA FERRAMENTA DE CORTE	19
3.6	TRATAMENTO TÉRMICO	20
3.6.1	Têmpera	20
3.6.2	Revenido	20
4	METODOLOGIA	20
4.1	MATERIAL ENSAIADO	21
4.2	FERRAMENTAS DE CORTE	21
4.3	EQUIPAMENTOS	22
4.4	PROCEDIMENTO	24
4.4.1	Corte e preparação do material	24
4.4.2	Têmpera, dureza e revenimento	25
4.4.3	Montagem, parâmetros e coleta de dados.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	DESGASTE	30
5.2	RUGOSIDADE	31

5.3	CORRENTE RMS	33
6	CONCLUSÃO.....	34
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Para otimizar o processo produtivo e reduzir o desgaste, é necessário entender os fatores que afetam esse processo. De acordo com pesquisas realizadas por Fouvry et al. (2014), a resistência ao desgaste varia de acordo com os materiais envolvidos e a combinação de diferentes materiais em contato pode afetar significativamente o desgaste, além disso os estudos demonstram que o desgaste aumenta com a velocidade de deslizamento. Isso ocorre porque quanto maior a velocidade de deslizamento, maior é o atrito entre as superfícies, o que pode levar a um desgaste mais acelerado.

Estudos conduzidos por Ueda et al. (2011) indicam que a geometria das superfícies pode afetar o desgaste, principalmente em superfícies que se movem, a temperatura também pode afetar a microestrutura dos materiais em contato, o que pode influenciar o desgaste. Foi indicado que o aumento da temperatura pode levar a um aumento do desgaste.

Para Karami et al. (2019) a falta de lubrificação adequada pode levar a um aumento significativo no desgaste, podendo chegar a até 10 vezes mais em comparação com superfícies lubrificadas de forma adequada. Esses estudos também indicam que a dureza dos materiais envolvidos no desgaste pode ter um impacto significativo no processo, sendo que materiais mais duros tendem a ser mais resistentes ao desgaste em comparação com materiais mais macios. A velocidade de deslizamento é um dos fatores que pode afetar significativamente o desgaste em superfícies em contato.

É importante destacar que o desgaste pode ser minimizado ou controlado, mas nunca eliminado completamente. Segundo Silva et al. (2018), a otimização de processos de usinagem é uma técnica utilizada para melhorar o desempenho do processo, reduzir custos e aumentar a qualidade do produto final. Com base nisso é de suma importância e papel fundamental do Engenheiro Mecânico atuante em processos de fabricação verificar todas essas variáveis citadas anteriormente para analisar a vida útil e eficiência do seu material. As curvas de desgaste auxiliam exatamente nesse tipo de avaliação, são representações gráficas que mostram a evolução do desgaste de uma ferramenta, peça ou material ao longo do tempo, em função de um ou mais parâmetros de processo. Essas curvas são obtidas a partir de testes experimentais, nos quais a ferramenta, peça ou material é submetido a um processo de desgaste controlado em condições específicas, e a perda de material é medida em intervalos regulares de tempo. A partir dessas

informações, é possível otimizar o processo de produção, escolhendo os materiais e ferramentas mais adequados, ajustando os parâmetros de processo e reduzindo o tempo de parada da máquina para troca de ferramentas ou peças desgastadas, assim potencializando o processo de produção. (DOWSON; GRANT, 2014; LUDEMA, 1996)

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o desempenho das ferramentas MITSUBISHI 160404 MA VP15TF e ISCAR 160404 TF IC908 durante o torneamento do Aço 1045 Temperado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o desgaste progressivo para cada ferramenta;
- Avaliar o acabamento superficial das superfícies usinadas e verificar o efeito do desgaste no acabamento das superfícies usinadas;
- Identificar a variação de corrente RMS no processo relacionando com a mudança de ferramentas e com o desgaste progressivo
- Avaliar os resultados e compreender em qual se obteve o resultado mais satisfatório;
- Compreender possíveis melhorias no processo;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 USINAGEM

De acordo com Shaw (2016), usinagem é o processo em que material é removido de uma peça de trabalho por meio da aplicação de força de corte por uma ferramenta de corte. É amplamente utilizado na indústria para produzir peças com precisão dimensional e acabamento de superfície adequado. A usinagem pode ser realizada em uma variedade de materiais, como metais, plásticos e cerâmicas, e é utilizada em diversas indústrias,

como aeronáutica, automotiva e de máquinas e equipamentos.

Durante a usinagem, a peça de trabalho é fixada em uma máquina e a ferramenta de corte é posicionada para remover o material excessivo. Existem vários tipos de ferramentas de corte e o processo de usinagem pode ser realizado por vários métodos, sendo os principais: torneamento, fresamento, furação, retificação e eletroerosão. Cada ferramenta e método tem suas próprias vantagens e desvantagens, e é selecionado com base na geometria da peça, nas propriedades do material e intuito do projeto final. (KALPAKJIAN; SCHIMID, 2020; DAVIM, 2014)

3.1.1 Torneamento

O torneamento é um processo de usinagem amplamente utilizado na indústria para produzir peças cilíndricas e cônicas, incluindo eixos, pinos, parafusos e roscas (Kalpakjian, 2009). Em resumo, o torneamento é um processo de usinagem que utiliza ferramentas de corte para remover material de uma peça rotativa. Amorim (2002), ressalta que no torneamento existem três características principais que não são muito comuns em outros processos de usinagem: o corte é normalmente contínuo, o corte pode ser descrito em coordenadas cilíndricas e os movimentos da peça e ferramenta ocorrem simultaneamente, abaixo a figura 1 apresenta uma operação de torneamento.

Figura 1: Operação de torneamento.



Fonte: Próprio autor.

3.1.2 Parâmetros de corte

De acordo com Davim, J.P, (2019). parâmetro de corte na usinagem são fatores fundamentais que influenciam diretamente a eficiência e a qualidade do processo de usinagem. A definição adequada é crucial para otimizar a taxa de remoção de material, minimizar o desgaste da ferramenta, reduzir a geração de calor e obter uma superfície com acabamento de qualidade. Entre os parâmetros de corte temos:

- Velocidade de corte (**V_c**): é a velocidade linear na qual a ferramenta de corte se move em relação à peça de trabalho. É medida em metros por minuto (m/min) ou em pés por minuto (ft/min).
- Avanço (**f**): distância percorrida pela ferramenta por revolução da peça
- Profundidade de corte (**A_p**): profundidade de penetração da ferramenta medida perpendicularmente ao plano do eixo em que o material está fixado

A partir desses três parâmetros podemos determinar a taxa de remoção de material através da eq. 1, utilizado para definir a eficiência da operação.

$$Q = V_c \cdot f \cdot A_p \quad (1)$$

3.1.3 Materiais de ferramenta de corte

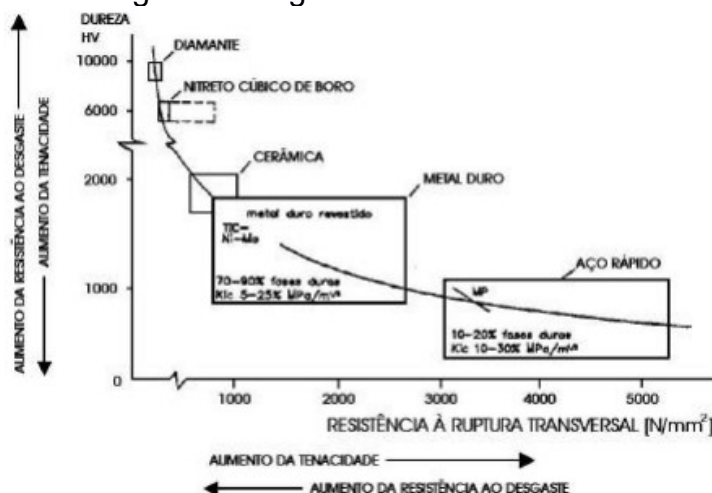
A remoção de um material através de um corte só acontece se a ferramenta de corte possuir uma dureza relativa mais elevada que a da peça (eq. 2), onde Hr é a dureza relativa, Ht a dureza da ferramenta e Hp a dureza da peça.

$$Hr = \frac{H_t}{H_p} \quad (2)$$

Comumente estudos são desenvolvidos a fim de promover a criação de novas ligas que consigam relacionar uma boa combinação de dureza e tenacidade, duas propriedades extremamente importantes para processos de usinagem, e que normalmente não são encontradas juntas. A dureza é responsável pela capacidade de resistir a risco e penetrações, mas normalmente os torna frágeis e quebradiços, Já a tenacidade é a capacidade de um material de resistir a fraturas ou rupturas por impacto e carga dinâmica. Podemos citar como outras propriedades para uma ferramenta de corte

além das citadas: resistência ao desgaste, resistência a compressão, resistência ao cisalhamento, resistência a choque térmico, resistência altas temperaturas etc. A figura 2 a seguir mostra um breve gráfico de materiais que normalmente são utilizados.

Figura 2: Diagrama dureza x tenacidade



Fonte: Sandvik Coromant (1994).

De acordo com a figura, podemos observar que a medida que a resistência à ruptura transversal aumenta, temos um aumento da tenacidade e diminuição da resistência ao desgaste. Para a dureza, temos que quanto maior o valor, maior a resistência ao desgaste e menor tenacidade. Os três materiais de ferramentas de corte mais comuns atualmente em uso para operações de usinagem são aço rápido (menor dureza), metal duro (valores intermediários), e cerâmica (maior dureza). Aço rápido é usado para ferramentas de uso geral, quando as velocidades de corte são mais baixas na faixa de 25 m/min. Metal duro e cerâmica (CBN), são utilizados em operações de elevada dureza e podem ser utilizados em velocidades de corte mais rápidas (BLACK; ASM, 1989). Por fim a literatura também cita que o diamante, material de maior dureza no gráfico, é utilizado em algumas operações de alta precisão, usinagem de materiais não ferrosos e alguns cortes de pedras preciosas pela sua extrema dureza e capacidade de produzir peças altamente polidas.

3.2 DESGASTE

De acordo com Rabinowicz (1995), o desgaste é a consequência da perda de material de uma superfície sólida quando ocorre movimento relativo entre dois corpos em

contato sob uma carga aplicada. É importante ressaltar que existem tipos diferentes de mecanismos de desgaste, cada um com suas próprias características, causas principais e meios de prevenção específicas de acordo com o tipo de trabalho. Essas diferenças fizeram que ao longo do tempo houvesse uma necessidade de estudar e compreender melhor os mesmos, essa necessidade se fez necessária pela evolução da produção, principalmente na usinagem de materiais em larga escala, afim de ocasionar uma economia de material, melhorar acabamento de peças, além de otimizar o processo produtivo, algo que está ligado diretamente ao desenvolvimento tecnológico de uma sociedade.

3.3 MECANISMOS DE DESGASTE

Em resumo, o desgaste é um processo complexo e multifacetado que pode afetar a durabilidade e o desempenho dos materiais. A compreensão dos diferentes tipos de desgaste é crucial para o desenvolvimento de materiais mais resistentes e duráveis, capazes de resistir aos ambientes e aplicações mais desafiadores. Segundo Rabinowicz (1995), existem vários mecanismos de desgaste, incluindo desgaste abrasivo, desgaste por adesão, desgaste por fadiga, corrosão e desgaste por erosão. Nesse trabalho falaremos apenas dos três primeiros.

3.3.1 Desgaste abrasivo

Segundo Rabinowicz (1995), o desgaste abrasivo é um desgaste causado pela interação mecânica entre a superfície do material e partículas abrasivas que podem estar presentes em fluidos ou transportadas pelo ar. Esse tipo de desgaste pode causar danos significativos em equipamentos industriais, como tubulações e bombas, além de diminuir a vida útil de ferramentas e instrumentos de corte. São fatores que influenciam:

- A condição da superfície;
- Ângulo e direção do impacto;
- Condições ambientais;
- Dureza e resistência do material;
- Forma e tamanho das partículas abrasivas;

- Velocidade e pressão do contato;
- Propriedade dos fluídos ou gases no transporte das partículas

Vale ressaltar que a compreensão e estudo da soma de todos esses fatores são essenciais para minimizar o desgaste e aumentar a vida útil dos materiais em equipamentos e ferramentas industriais.

3.3.2 Desgaste por adesão

De acordo com Rabinowicz (1995), é um desgaste que ocorre quando duas superfícies sólidas entram em contato e experimentam uma força de cisalhamento. Nesse caso, ocorre a transferência de material de uma superfície para a outra, causando o surgimento de protuberâncias, rugosidades e sulcos. Esse tipo de desgaste é comum em engrenagens, rolamentos, válvulas, pistões, cilindros, ferramentas de corte, matrizes e moldes. Também é comum em superfícies que são submetidas a cargas de contato repetitivas, como as que ocorrem em sistemas de frenagem e suspensão de veículos automotivos. São fatores que influenciam:

- Tipo de material;
- Condições de operação;
- Rugosidade das superfícies;
- Presença ou ausência de lubrificação;
- Propriedades dos lubrificantes;
- Ciclos térmicos;
- Ambiente;

3.3.3 Desgaste por fadiga

Para Rabinowicz (1995), ocorre quando as superfícies de contato sofrem ciclos repetidos de tensão, esses ciclos resultam em trincas progressivas que se propagam a partir da superfície até que ocorra a separação de pequenos fragmentos do material. É muito comum em componentes sujeitos a cargas dinâmicas ou cíclicas, como engrenagens, molas e eixos rotativos. São fatores que influenciam o desgaste por fadiga:

- Amplitude e frequência das cargas aplicadas;
- Presença de trincas ou inclusões no material;
- Temperatura ambiente da operação;
- Ambiente corrosivo;
- Tamanho e forma dos componentes mecânicos;
- Dureza e resistência à tração do material;
- Acabamento superficial;

3.4 FALHA E DESGASTE NA FERRAMENTA DE CORTE

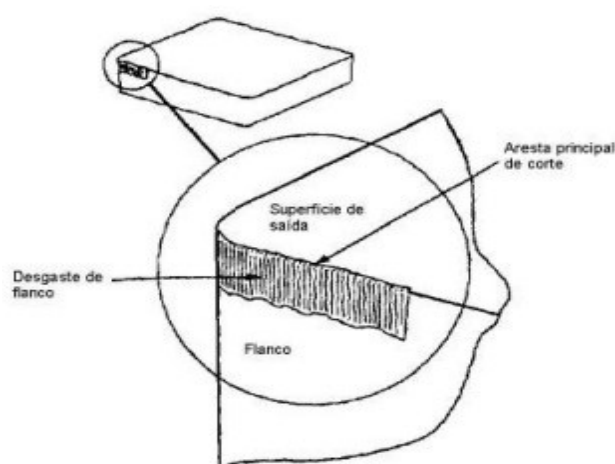
De acordo com a classificação proposta por Trent e Wrigth no seu livro Metal Cutting (2000) os três principais tipos de desgaste que acometem as ferramentas de corte são: desgaste de flanco, desgaste de entalhe e desgaste de cratera. Alguns autores além dos anteriores, sendo esses, Diniz, Marcondes e Machado também citam: aresta postiça de corte, deformação plástica e trincas térmicas. Contudo, tais fatores podem ser encarados mais como um mecanismo que ocasiona o desgaste, do que como um tipo de desgaste em si.

3.4.1 Desgaste de flanco

O desgaste de flanco (figura 3) é um tipo comum de desgaste que ocorre na lateral da ferramenta de corte durante o processo de usinagem. Ele pode ser causado por diversos fatores, como a abrasão, adesão, difusão, fadiga, quebra ou corrosão. O desgaste de flanco ocorre principalmente pela abrasão causada do material na superfície de folga da ferramenta. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010; TRENT; WRIGHT, 2000). O desgaste de flanco pode ser classificado em três categorias principais: desgaste de flanco normal, desgaste de flanco anormal e desgaste de flanco misto. O desgaste de flanco normal já é esperado no processo de usinagem devido ao atrito entre a ferramenta e o material, geralmente é causado pela ação do cisalhamento e as altas temperaturas geradas no processo. O desgaste de flanco anormal não é esperado, normalmente ocorre devido a condições de corte inadequadas ou problemas no processo de usinagem, o mesmo é caracterizado por um desgaste de flanco mais rápido e agressivo em relação ao anterior. Já o desgaste de flanco misto, ocorre quando as condições não são as ideais,

mas também não estão totalmente fora do que é aceitável, é caracterizado pela mistura dos dois anteriormente citados, variando a sua intensidade dependendo da condição de usinagem.

Figura 3: Desgaste de flanco

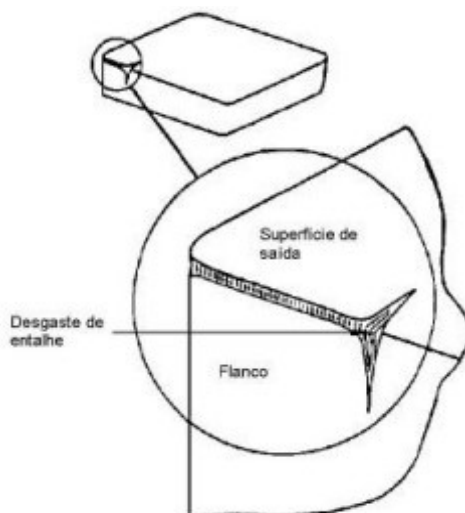


Fonte: AMORIM, H.J. 2002.

3.4.2 Desgaste de entalhe

Ocorre na região do entalhe da ferramenta, onde a ferramenta entra em contato com a peça de trabalho e é submetida a altas pressões e temperaturas. O desgaste de entalhe (figura 4) pode ser causado por vários fatores, incluindo o atrito com o material da peça de trabalho, o contato com os cavacos ou partículas abrasivas, e a alta temperatura gerada pelo processo de usinagem. A aplicação de revestimentos ou tratamentos térmicos nas ferramentas de corte pode ajudar a prolongar sua vida útil e reduzir o desgaste de entalhe. É gerado principalmente por uma perda considerável de material da ferramenta de forma repentina. Pode ser causado pela adesão e deformação na superfície endurecida (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010).

Figura 4: Desgaste de entalhe

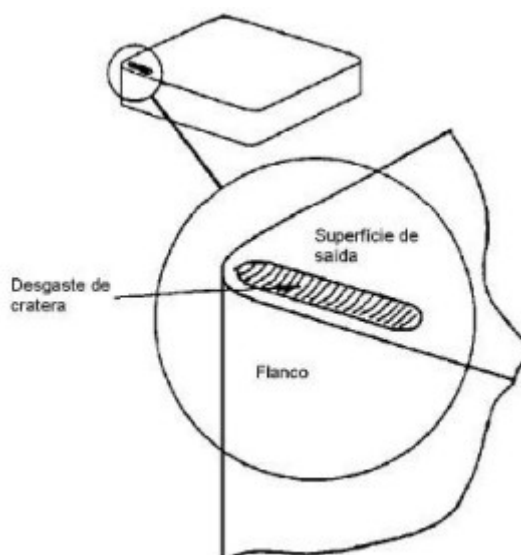


Fonte: AMORIM, H.J. 2002.

3.4.3 Desgaste de cratera

O desgaste de cratera (figura 5) é causado principalmente pela combinação de altas pressões e temperaturas geradas na região de contato entre a ferramenta de corte e a peça de trabalho. Durante o processo de usinagem, as temperaturas podem atingir valores elevados na região de contato da ferramenta de corte com a peça de trabalho. Isso pode levar à formação de uma cratera na superfície da ferramenta de corte devido à erosão causada pelo material da peça de trabalho. Ocorre na superfície de saída da ferramenta e pode causar quebra da ferramenta pelo enfraquecimento da aresta de corte (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010).

Figura 5: Desgaste de cratera.



Fonte: AMORIM, H.J. 2002.

3.5. CRITÉRIOS DE FIM DE VIDA NA FERRAMENTA DE CORTE

O desgaste é algo inevitável, o que pode ser feito é apenas controlar ou diminuir, nunca evitar por completo. Dito isso é de suma importância que se defina até onde uma ferramenta continua sendo vantajosa ao seu processo de fabricação para evitar falhas no produto final, acidentes de trabalhos e uma operação inadequada. A norma ISO 3685 (1993) estabelece uma série de critérios a serem levados em conta para garantir o período de tempo em que uma ferramenta ainda continua funcional, para metal duro, os seguintes critérios devem ser considerados:

- Desgaste de flanco médio: 0,3mm;
- Desgaste de flanco máximo: 0,6mm (se não ocorrer de forma regular ao longo do flanco);
- Profundidade da cratera ($0,06 + 0,3f$) onde f =avanço;
- Distância frontal entre cratera e flanco: 0,02mm;
- Falha catastrófica;

A norma recomenda que a ferramenta seja substituída caso um desses padrões

estabelecidos sejam atingidos. Vale ressaltar que os valores de desgaste de flanco médio e máximo também podem ser utilizados para ferramentas de cerâmica e aço rápido.

3.6 TRATAMENTO TÉRMICO

Os tratamentos térmicos dos metais são processos controlados de aquecimento, resfriamento que visam alterar as propriedades físicas e mecânicas de um material metálico. Esses tratamentos podem envolver aquecimento, resfriamento, temperaturas controladas e diferentes taxas de resfriamento para obter propriedades desejadas, como resistência, dureza, tenacidade, ductilidade e estabilidade dimensional. Os principais tratamentos térmicos são: recozimento, normalização, têmpera, revenimento, cementação, nitretação. No presente trabalho utilizaremos respectivamente a têmpera e o revenimento.

3.6.1 Têmpera

De acordo George E. Totten (2006), a têmpera é um tratamento térmico amplamente utilizado para melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, principalmente a dureza e a resistência ao desgaste, que consiste em aquecer o material a uma temperatura elevada e depois resfriá-lo rapidamente. Em "Steel Heat Treatment Handbook: 2nd ed", o autor aborda os princípios da têmpera, explicando os mecanismos de transformação de fase e a influência do resfriamento rápido na microestrutura e nas propriedades do material temperado.

3.6.2 Revenido

É um tratamento térmico onde o material é aquecido abaixo da temperatura de austenitização aonde é mantido por um determinado tempo afim de promover mudanças na sua microestrutura. De acordo com Avillez (2005), o objetivo do revenimento é eliminar o excesso de tensões residuais e reduzir a fragilidade causada pela alta dureza resultante da têmpera. O autor ressaltar que o tempo e a temperatura de revenimento devem ser cuidadosamente controlados para evitar uma perda excessiva de dureza e manter um equilíbrio adequado entre a dureza e a tenacidade do material.

4 METODOLOGIA

O procedimento experimental foi realizado no Laboratório de Usinagem da UFPI, onde inicialmente foram realizados alguns testes com as ferramentas e o material selecionado para uma velocidade de corte de aproximadamente 283 m/s. ap 1,5mm, um avanço de 0,2276 mm/r e velocidade de corte 282,74 m/s, resultando em uma rotação de 1800 rpm. Após os testes iniciais em decorrência do tempo para realização do trabalho, foi decidido realizar uma têmpera e revenimento nos corpos de prova, afim de elevar a sua dureza e avaliar os resultados e novas condições de usinagem pós tratamento térmico.

4.1 MATERIAL ENSAIADO

O material a ser ensaiado foi um tarugo de aço AISI 1045 com 50mm de diâmetro e 2m de comprimento. A escolha se deu por o mesmo ser de fácil acesso local e possuir inúmeras aplicações na indústria. Harold Rothbart e Thomas Brown em “
” 2ª ed, discutem sobre a utilização do presente material em componentes de transmissão, eixos e engrenagens. Outros autores como Michael Ashby e David Jones em “
” 4ª ed fornecem uma descrição mais profunda sobre as características do aço 1045 e sua aplicabilidade na indústria, endossando assim a escolha do mesmo. A tabela 1 abaixo nos mostra a composição química e propriedades desse aço na literatura:

Tabela 1: Composição química e propriedades do aço 1045

AÇO	%C	%MG	%P max	%S max	Mpa	Hb
1045	0,43 a 0,50	0,60 a 0,90	0,04	0,05	570 a 700	170 a 210

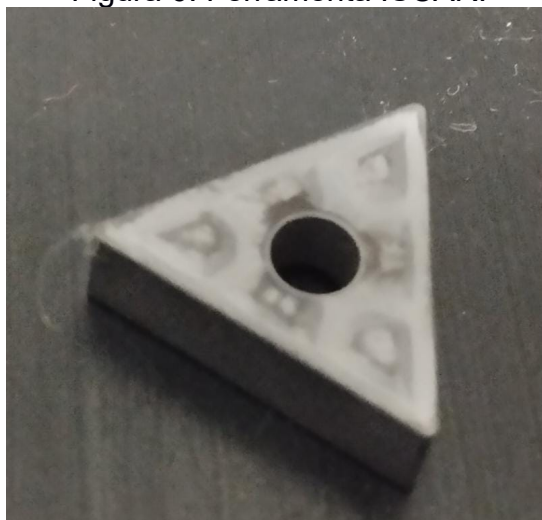
Fonte: (ALLEN; BOARDMAN, 2005) adaptado.

4.2 FERRAMENTAS DE CORTE

As ferramentas utilizadas foram Iscar TNMG 160404 quebra cavaco tipo TF classe IC908 (figura 6) e Mitsubishi TNMG 160404 quebra cavaco tipo MA classe VP15TF (figura 7). A escolha se deu a partir da definição do material a ser usinado e também do porta

ferramenta já disponível. São duas ferramentas da mesma faixa de preço e que eram as de melhor acesso e custo benefício.

Figura 6: Ferramenta ISCAR.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7: Ferramenta MITSUBISHI.



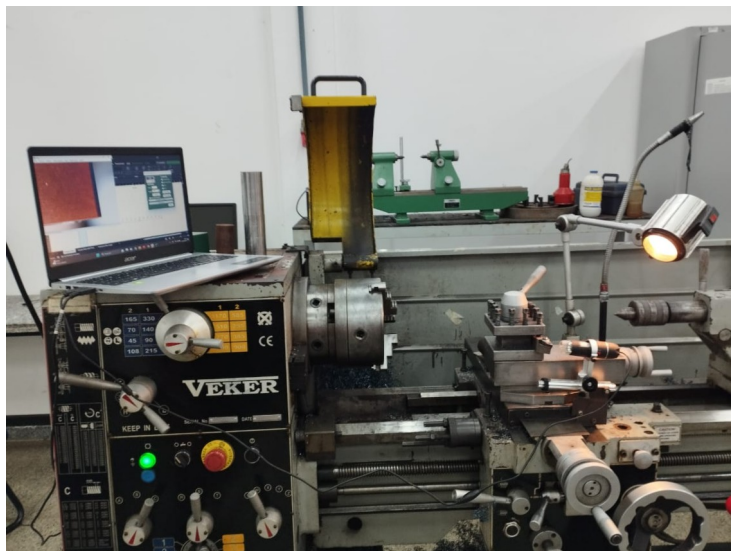
Fonte: Próprio autor.

4.3 EQUIPAMENTOS

Para a simulação de usinagem, foi utilizado um torno mecânico convencional VEKER TVK-1660ECO (figura 8) potência de 6 cv, para avaliação da dureza do material utilizou-se o durômetro portátil INSIZE ISH-SPHA (figura 9), para avaliação da rugosidade o rugosímetro Mitutoyo SJ-210 (figura 10) , os tratamentos térmicos foram realizados no Forno Linn KK 260 S0 1060, e por fim, as imagens relativas ao desgaste para medição

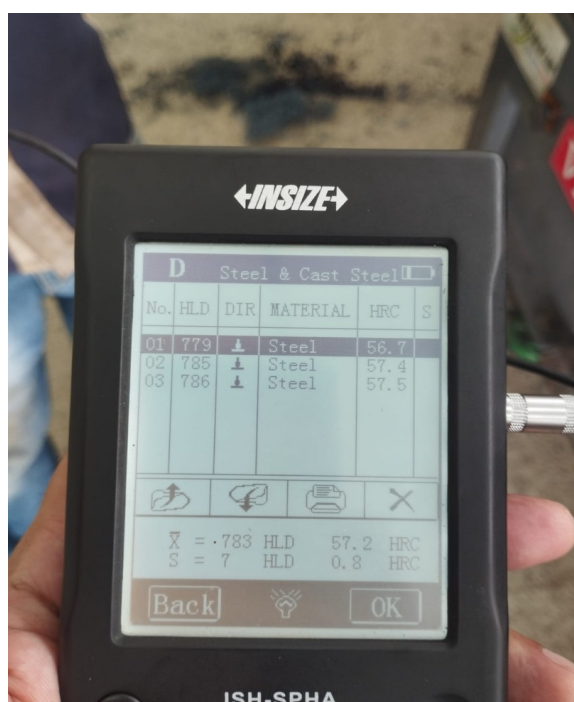
do mesmo foram obtidas através do Microscópio óptico usb 1000x 8led.

Figura 8: Torno VEKER TVK-1660ECO



Fonte: Próprio autor.

Figura 9: Durômetro INSIZE ISH-SPHA



Fonte: Próprio autor.

Figura 10: Rugosímetro
Mitutoyo SJ-210



Fonte: Próprio autor.

4.4 PROCEDIMENTO

4.4.1 Corte e preparação do material

Inicialmente 2 metros de Aço 1045 trefilado foram comprados na empresa Ferronorte e lá foram cortados em 4 partes de 50 cm (figura 11). Os corpos de prova já cortados tiveram o diâmetro da extremidade reduzido no torno e um furo vulgar foi feito nessa extremidade, apenas para passagem de um vergalhão qualquer, que serviria como suporte e auxiliaria na retirada dos corpos de prova do forno.

Figura 11: Aço 1045 50mm diâmetro
trefilado

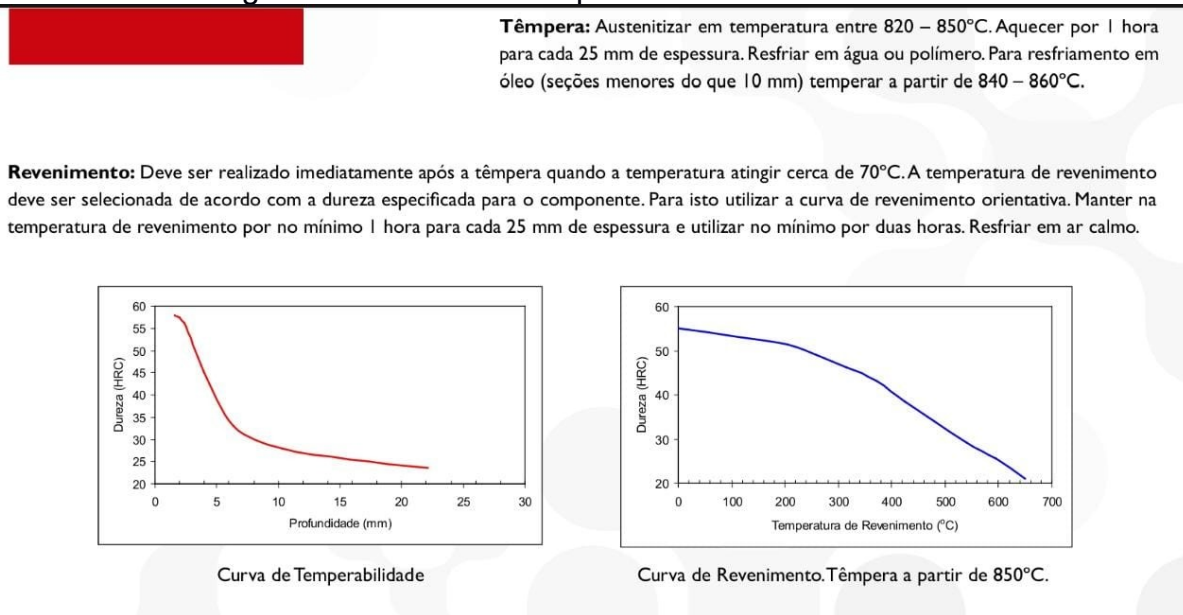


Fonte: Próprio autor.

4.4.2 Têmpera, dureza e revenimento

Para a realização dos tratamentos térmicos foi utilizado como referência o catálogo da empresa GGD Metals, na figura 12, através das curvas e informações contidas nele foram definidas as condições utilizadas para os tratamentos.

Figura 12: Curvas de temperabilidade e revenimento



Fonte: GGD Metals

Com o forno aquecido a uma temperatura de 860° C, o primeiro corpo de prova foi colocado dentro dele em suspensão por 2h. Após isso, o corpo de prova foi retirado e resfriado a água em um barril de 50L convencional, onde o mesmo ficou até atingir a temperatura ambiente. A figura 13 já nos mostra o aço temperado, após isso realizada uma medição de dureza com o equipamento portátil INSIZE ISH-SPHA, foram avaliados três pontos de dureza: as extremidades e o centro, tais medições resultaram em uma dureza média de 57.3 HRC. Com o forno já resfriado a uma temperatura de 200°C (temperatura de revenimento inicial), foi colocado novamente o corpo de prova aonde ele passou mais 2h afim de se realizar o revenimento.

Figura 13: Tarugo têmperado.

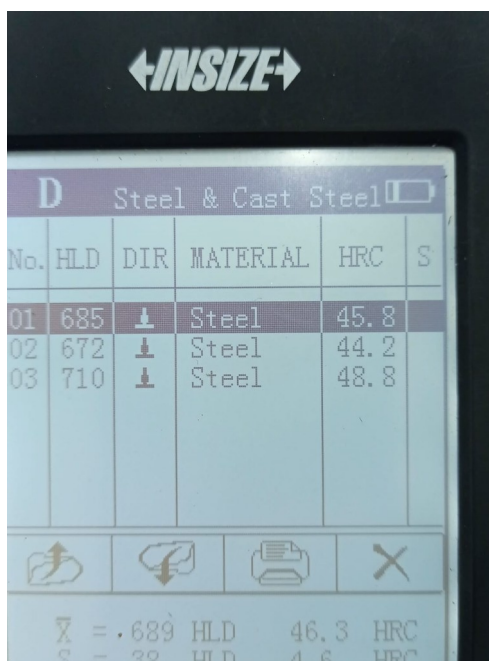


Fonte: Próprio Autor.

Após os tratamentos iniciais, um novo teste de usinagem foi feito e verificou-se que os parâmetros de corte previamente utilizados já não se adequavam mais. Por mais algumas vezes os parâmetros foram alterados como avanço, profundidade de corte e V_c de corte. Contudo o desgaste de ambas ferramentas acabavam por ser quase instantâneos, sendo assim foi decidido fazer um novo revenimento alterando a temperatura para 360°C e mantendo durante 2h, afim de ocasionar uma diminuição na dureza e promovendo uma melhor usinabilidade do material para as ferramentas em questão.

Esse mesmo procedimento foi adotado para outro corpo de prova e após isso a metodologia de medição foi executada em ambos: 3 pontos de dureza sendo eles o centro e as extremidades. Essa nova medição pós revenimento, resultou em uma dureza média de 46.3 HRC (figura 14), diminuindo significativamente o valor obtido anteriormente e assim promovendo teoricamente uma melhor usinabilidade.

Figura 14: Durômetro INSIZE ISH-SPHA



Fonte: Próprio autor.

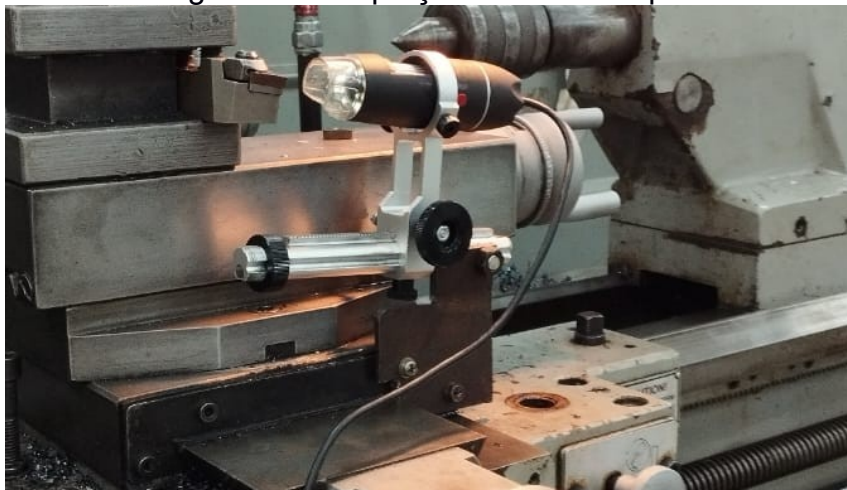
4.4.3 Montagem, parâmetros e coleta dedados

Foi realizado um leve faceamento para preparar a superfície do material pós têmpera, além de preparar o material, nessa etapa foram definidos novos valores pra profundidade de corte, avanço e Velocidade de corte, sendo eles: ap de 0,5mm, avanço de 0,7138mm/r, Vc de 135,15 m/min, resultando em uma rotação de 900 rpm. Vale ressaltar que o novo diâmetro dos corpos de prova após o faceamento era de 47,8mm.

Uma chapa de metal foi adaptada ao torno de modo em que o microscópio fosse fixo (figura 15) e não se fizesse necessário a retirada da ferramenta, assim obtendo uma maior confiabilidade nas imagens relativas ao desgaste, além disso, foram feitas 12 marcações 30mm ao longo do corpo de prova (figura 16), essas marcações serviram como base para parada e obtenção das imagens do desgaste da ferramenta ao longo de cada 60mm de comprimento usinado ou até a falha. Um equipamento já montado na UFPI (figura 17) composto por um circuito divisor de corrente, sensores de efeito Hall modelo SCT-013-000 e um microcontrolador Atmega 2560, foi utilizado para medir a corrente durante a operação e com o auxilio de um notebook para processamento dos dados fornecidos, onde se obteve o gráfico plotado dos pontos de corrente RMS por intervalo de

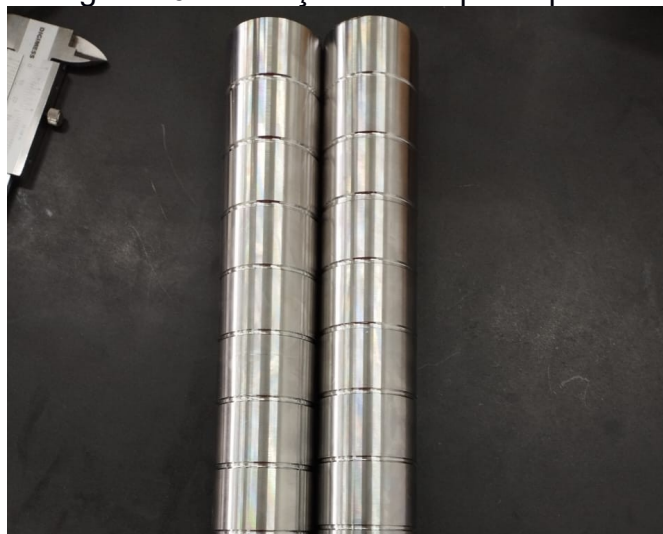
tempo (figura 18). Os dados coletados a respeito da corrente seguiram a mesma lógica de parada.

Figura 15: Adaptação do microscópio.



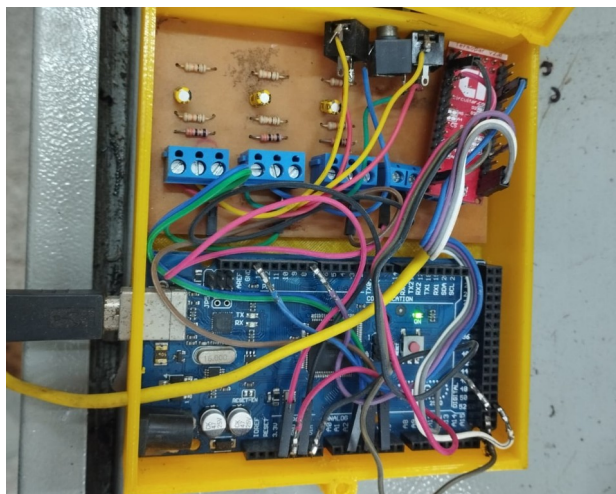
Fonte: Próprio autor.

Figura 16: Marcações no corpo de prova



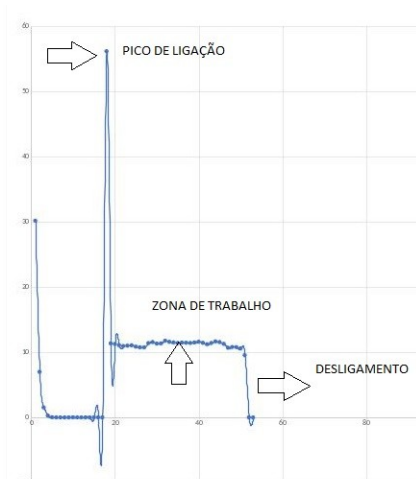
Fonte: Próprio autor.

Figura 17: Equipamento de medição de corrente.



Fonte: Próprio autor.

Figura 18: Gráfico coletado de corrente RMS.



Fonte: Próprio Autor.

Vale ressaltar que o pico desse gráfico corresponde ao momento em que a máquina é ligada, a zona de estudo desse trabalho se dá logo após a queda dessa corrente em um momento de estabilização denominado zona de trabalho. Posteriormente foi calculada a média dos valores dessa zona de trabalho e o seu desvio padrão.

O acabamento superficial foi avaliado utilizando o rugosímetro Mitutoyo SJ-210, o parâmetro de rugosidade adotado foi o R_a . O corpo de prova foi fixado em uma morsa onde foram aferidas três medidas a cada 60mm de comprimento usinado e calculado o desvio padrão dos valores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os mesmos parâmetros definidos, analisaremos o comportamento das duas ferramentas no que diz respeito ao desgaste de flanco máximo, rugosidade e corrente.

5.1 DESGASTE

Como citado anteriormente, as imagens respectivas ao desgaste foram coletadas a cada 60mm de comprimento usinado e posteriormente foram feitas as medições de desgaste de flanco máximo com o auxílio do software ImageJ. Os dados coletados resultaram na tabela 2.

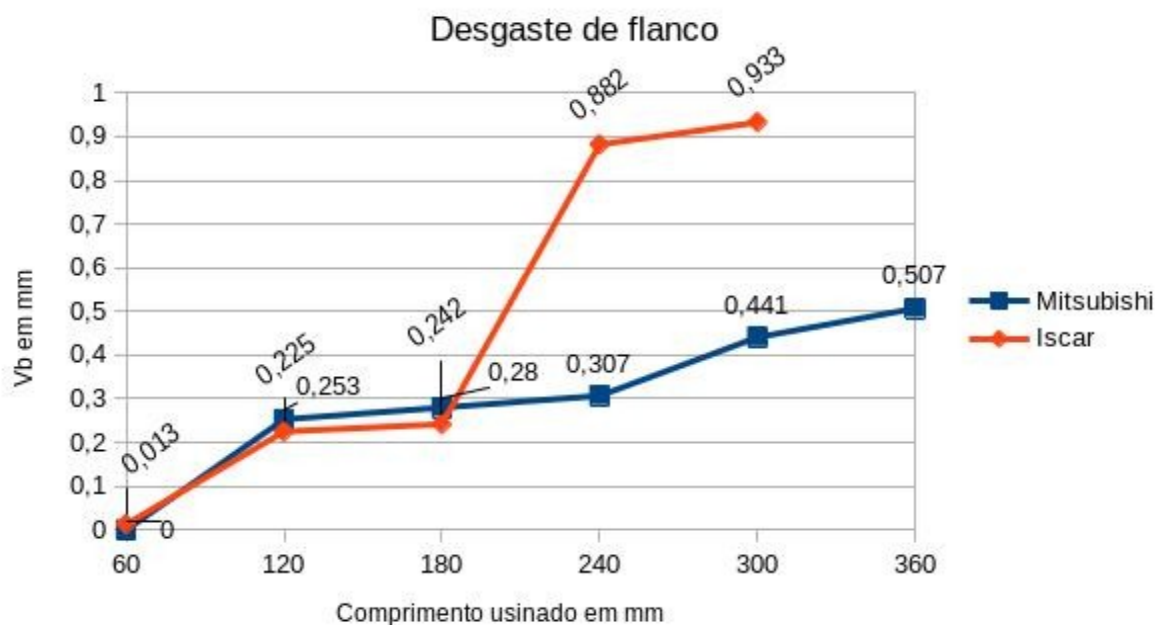
Tabela 2: Desgaste de flanco

Comprimento usinado e medição	Mitsubishi	Iscar
1ª - 60mm	0 mm	0,013 mm
2ª - 120mm	0,253 mm	0,225 mm
3ª - 180mm	0,28 mm	0,242 mm
4ª - 240mm	0,307 mm	0,882 mm
5ª - 300mm	0,441 mm	0,993 mm
6ª - 360mm	0,507 mm	-

Fonte: Próprio autor.

Para uma melhor análise da performance entre as duas ferramentas ao longo do comprimento usinado, na figura 19 temos um gráfico comparativo ilustrando o desgaste de ambas ao longo dos testes.

Figura 19: Vbmax x Comprimento usinado



Fonte: Próprio autor.

Com o gráfico podemos confirmar que o desgaste aumentou ao longo do comprimento usinado para as duas ferramentas utilizadas, contudo, na ferramenta da marca ISCAR, o valor de desgaste deu um salto a após 240mm de comprimento usinado. É válido considerar que possa ter ocorrido algum dano a ferramenta de corte na entrada do 4º teste, possivelmente ocasionando esse salto brusco no desgaste.

5.2 RUGOSIDADE

Para a rugosidade, após a coleta de 3 medidas para cada comprimento usinado, foi realizada a média aritmética dos valores e calculado o seu desvio padrão, afim dos resultados possuírem uma maior confiabilidade, resultando na tabela 3.

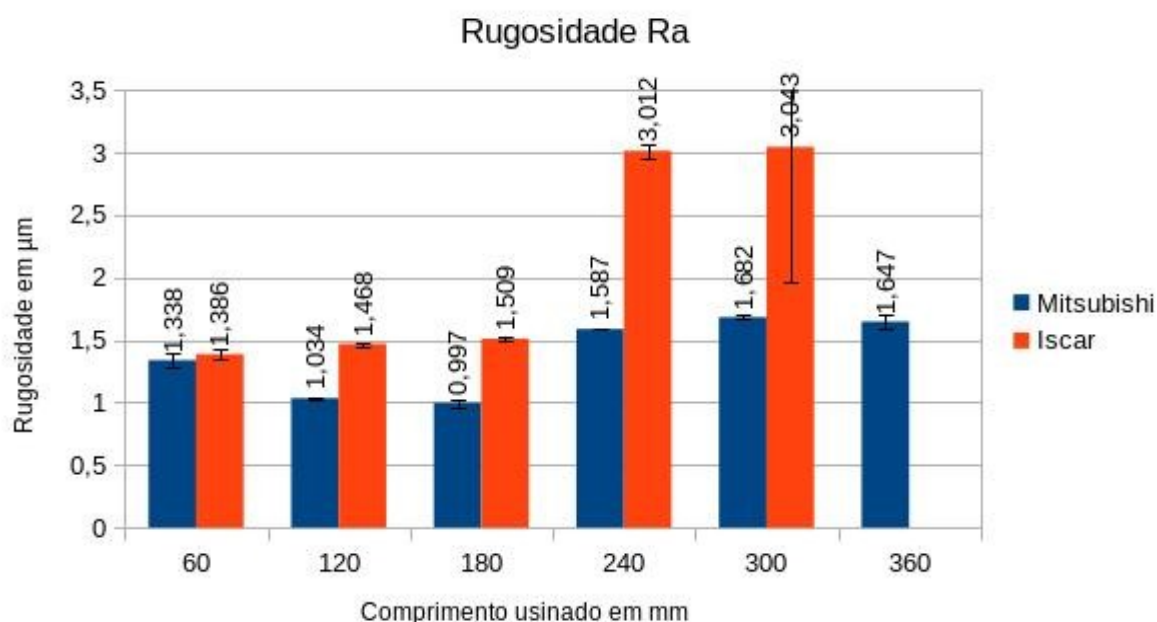
Tabela 3: Rugosidade Ra

Comprimento usinado e medição	Mitsubishi	Iscar
1ª - 60mm	1,388 $\mu\text{m} \pm 0,058$	1,386 $\mu\text{m} \pm 0,041$
2ª - 120mm	1,034 $\mu\text{m} \pm 0,008$	1,468 $\mu\text{m} \pm 0,016$
3ª - 180mm	0,997 $\mu\text{m} \pm 0,031$	1,509 $\mu\text{m} \pm 0,023$
4ª - 240mm	1,587 $\mu\text{m} \pm 0,003$	3,012 $\mu\text{m} \pm 0,057$
5ª - 300mm	1,682 $\mu\text{m} \pm 0,018$	3,043 $\mu\text{m} \pm 1,083$
6ª - 360mm	1,647 $\mu\text{m} \pm 0,050$	-

Fonte: Próprio autor.

Com a tabela acima, podemos observar que o menor valor de rugosidade aferido em relação ao maior para a ferramenta Mitsubishi, corresponde a aproximadamente 59,2%, já para a ferramenta Iscar, corresponde a 45,5%. Seguindo a mesma metodologia aplicada para a avaliação do desgaste, na figura 20 foi plotado o gráfico da rugosidade ao longo dos testes, podendo assim comparar de forma mais clara o desempenho de cada ferramenta no que diz respeito ao acabamento superficial.

Figura 20: Rugosidade x Comprimento usinado



Fonte: Próprio autor.

A medida que o desgaste aumenta como vimos na figura 19, a rugosidade superficial também tende a aumentar. Isso fica bem claro quando temos o salto no 4º teste para os

valores de rugosidade da ferramenta Iscar, o mesmo em que houve o aumento brusco nos valores desgaste. Apesar disso, se ignorarmos os valores após o 4º teste, temos que mesmo quando a ferramenta Mitsubishi possuía um maior desgaste (2º e 3º teste), ela ainda apresentou menores valores de rugosidade média em relação a Iscar.

5.3 CORRENTE RMS

Foram coletados 6 pontos de dados para corrente, após isso, foi analisado apenas o intervalo do gráfico onde o equipamento estava em trabalho, ignorando o pico de corrente ao ser ligado. Posteriormente, foi feita uma média aritmética dos dados e novamente calculado o desvio padrão, para uma maior confiabilidade, resultando na tabela 4.

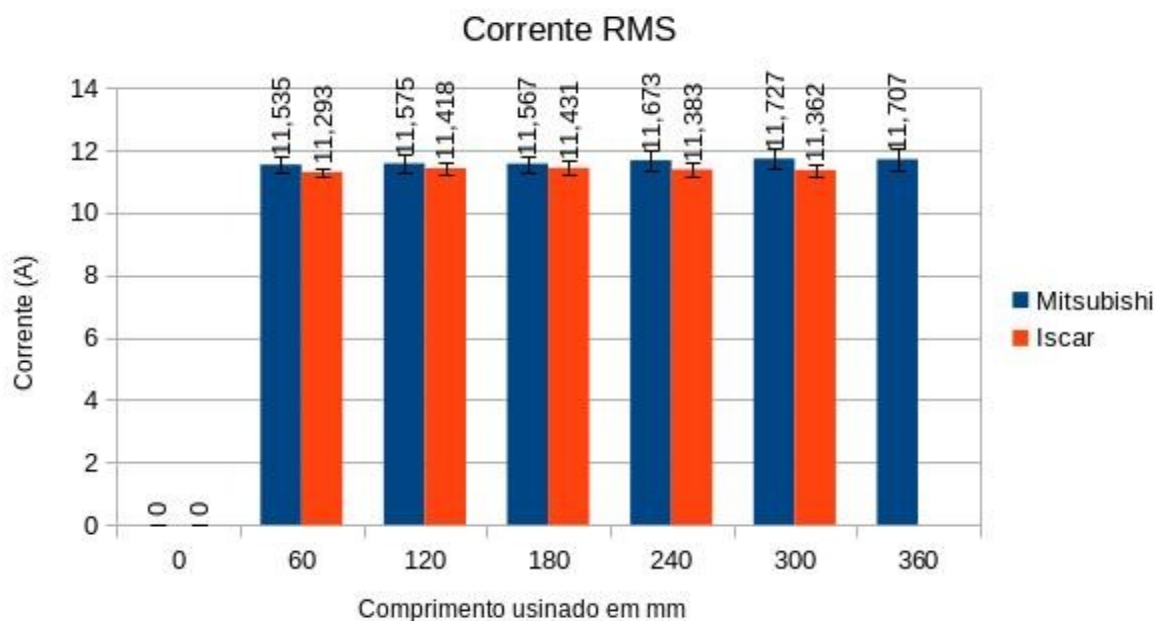
Tabela 4: Corrente RMS

Comprimento usinado e medição	Mitsubishi	Iscar
1ª - 60mm	11,288 A $\pm$ 0,246	11,156 A $\pm$ 0,136
2ª - 120mm	11,288 A $\pm$ 0,286	11,215 A $\pm$ 0,203
3ª - 180mm	11,302 A $\pm$ 0,264	11,198 A $\pm$ 0,233
4ª - 240mm	11,341 A $\pm$ 0,331	11,153 A $\pm$ 0,229
5ª - 300mm	11,395 A $\pm$ 0,332	11,177 A $\pm$ 0,184
6ª - 360mm	11,372 A $\pm$ 0,334	-

Fonte: Próprio autor

Para ambas as ferramentas o valor mínimo aferido em relação ao máximo correspondem em aproximadamente 99%. Na figura 21 podemos ver a comparação das duas ao longo do comprimento usinado.

Figura 21: Corrente x Comprimento usinado.



Fonte: Próprio autor.

Os valores coletados a respeito da corrente nos parâmetros utilizados e no presente experimento não seguem uma sequência lógica, podemos observar que em algumas situações de desgastes sendo ele maior ou menor, a mesma tende a variar de forma aleatória. Contudo, em todos os casos os valores de corrente para a ferramenta Mitsubishi foram ligeiramente maiores que os da marca Iscar, tal fato pode ocorrer em decorrência do tipo de quebra cavaco presente em cada ferramenta.

6 CONCLUSÃO

De acordo com as tabelas, gráficos e resultados coletados para as duas ferramentas analisadas podemos verificar os seguintes fatos:

- O desgaste inevitavelmente tende a aumentar ao longo do comprimento usinado
- A rugosidade tende também a aumentar com o desgaste
- Mesmo para um maior desgaste em alguns testes, a ferramenta Mitsubishi apresentou um melhor acabamento superficial.
- A escolha das ferramentas trouxe diferenças mesmo que mínimas nos dados relativos a corrente, mesmo com a utilização de parâmetros de corte iguais, podendo assim concluir que elas possuem peso no que diz respeito a essa

variável.

- De modo geral, a ferramenta Mitsubishi apresentou uma melhor performance em relação a Iscar.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nos testes iniciais as marcas apresentaram uma alta performance no torneamento do aço 1045 pré tratamento térmico, mesmo com os parâmetros de corte no limite do equipamento utilizado, as ferramentas mal esboçavam desgaste, e devido ao tempo de execução, se optou por elevar a dureza do material a ser usinado. Os mesmos testes podem ser feitos com um maior espaço de tempo e comprimento usinado, além de poder variar os parâmetros utilizados, podendo comprovar quais influenciam diretamente e possuem maior grau de importância para cada resultados obtido no presente trabalho. Com isso, também seria observada a diferença do comportamento das ferramentas de acordo com a variação dos parâmetros de corte, podendo existir uma alteração de qual possui um melhor desempenho para cada ensaio definido.

Se a decisão for continuar nos tarugos já tratados termicamente, se faz necessário a seleção de nova ferramenta de corte para obtenção de resultados com um maior espaço de teste.. Uma boa escolha seria algum material cerâmico e se possível realizar a operação em um torno CNC, podendo trabalhar em velocidades de corte bem mais altas que um torno convencional.

REFERÊNCIAS

- RIBEIRO, J. L.; EZUGWU, E. O. **Desgaste de ferramentas de corte. Ciência e Tecnologia dos Materiais**, v. 14, n. 1-2, p. 9-14, 2002.
- DE OLIVEIRA, Adilson José. **Análise do desgaste de ferramentas no Fresamento com Alta Velocidade de aços endurecidos**. 2007. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detail/399994>. Acesso em: 28 abril. 2023.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 9. ed. São Paulo: Artliber, 2014.
- Ezugwu, E. O. (2005). **Key engineering materials in advanced machining processes**. Trans Tech Publications.
- DAVIS, J. R. **ASM Handbook Vol. 16: Machining**. Materials Park, OH: Asm, 1989.
- TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4th. ed. Boston - MA: 2000.
- TOTTEN, G. E. **Steel Heat Treatment Handbook**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ORil4pedzjEC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 de maio. 2023.
- Avillez, R. R; Silva, A. L. V. **ENRIQUECIMENTO DE CARBONO NA AUSTENITA RETIDA DURANTE O TRATAMENTO TÉRMICO DE AÇOS TRIP**, p. 1396-1404. In: 63º Congresso Anual da ABM, Santos - SP, 2008. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/enriquecimento-de-carbono-na-austenita-retida-durante-o-tratamento-trmico-de-aos-trip>. Acesso em: 05 de maio. 2023.
- RABINOWICZ, E. **Friction and Wear of Materials**. New York: Wiley-Interscience, 1995. Disponível em: <https://pdfarchived.net/docs/friction-and-wear-of-materials>. Acesso em: 15 de abril. 2023
- STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. **Metal Cutting Theory and Practice**. CRC Press, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/31788137/Book_Metal_Cutting_Theory_and_Practice_by_David_Stephenson_John_pdf. Acesso em: 15 de abril. 2023.
- Ludema, K. C. (1996). **Friction, Wear, Lubrication: A Textbook in Tribology**. CRC Press. Disponível em: https://nitsri.ac.in/Department/Mechanical%20Engineering/Friction_Wear_Lubrication_A_Textbook_in_Tribology_ISBN0849326850.pdf. Acesso em: 27 de abril. 2023.
- Davim, J. P. (2014). **Machining: Fundamentals and Recent Advances**. CRC Press. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264837005_Book_Review_Machining_Fundamentals_and_Recent_Advances_by_J_Paulo_Davim_Ed. Acesso em: 02 de maio. 2023.
- Shaw, M. C. (2016). **Metal Cutting Principles (2nd ed.)**. Oxford University Press.
- CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos: Características Gerais, Tratamentos Térmicos, Principais Tipos**. 7 a ed. São Paulo: ABM, 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/37125289/_A%C3%A7os_Ferros_Fundidos_Vicente_Chiaverini. Acesso em: 15 de abril. 2023.
- SANDVIK COROMANT. **EL MECANIZADO MODERNO** primeira edicion suecia, 1994.

Disponível em: <https://pdfcoffee.com/guia-tecnica-de-mecanizado-sandvik-coromant-2010-2-pdf-free.html>. Acesso em 18 de abril. 2023.

ALLEN, C. M.; BOARDMAN, B. ASM Handbook, Volume 1, **Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys**. Fonderie, v. 1, 2005.