

COMPARAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO E METAL DURO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO EXTERNO DE EIXO EM AÇO SAE 1045

Augusto Braga Araújo¹
Vinicius Soares Carvalho²
Fabrício Santos de Souza³
Mateus Zanirate de Miranda⁴
Carlos Eduardo Marques Cerqueira⁵
Aldo Falconi Filho⁶
Matheus Fernandes de Andrade⁷

fabriciossouza@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

O estudo em questão traz uma comparação entre ferramentas de corte em aço rápido e metal duro, no processo de desbaste por torneamento cilíndrico externo de barras redondas trefiladas, fabricadas em aço SAE 1045. Trata-se de um processo bastante comum na indústria metalúrgica, realizado com ferramentas facilmente encontradas nesta área. Foi definida a velocidade de corte para cada ferramenta, de acordo com a tabela de velocidade de corte. Após este passo, calculou-se as rotações por minuto da placa universal de três castanhas, onde é acoplada a peça a ser torneada. Os testes consistiram em três operações de torneamento para cada ferramenta, em que cada operação foi realizada com profundidades diferentes: 1 mm no primeiro, 3 mm no segundo e 5 mm no terceiro. O comprimento de corte foi de 45 mm para cada barra e seu comprimento total de 100 mm. Ao final do processo, notou-se uma grande diferença entre as peças usinadas, sobressaindo-se o eixo torneado com metal duro. O objetivo deste trabalho acadêmico, é demonstrar as diferenças que podem ser encontradas neste mesmo processo, com as ferramentas de corte mais comuns no mercado, ficando a título do operador a decisão sobre qual optar, por meio de suas próprias conclusões, com o auxílio deste artigo.

PALAVRAS-CHAVES: torno mecânico, metal duro, aço rápido, ferramentas de corte, usinagem.

¹ Acadêmico do curso de engenharia mecânica do Centro Universitário Univértix

² Acadêmico do curso de engenharia mecânica do Centro Universitário Univértix

³ Especialista em Docência do Ensino Superior e professor do Centro Universitário Univértix

⁴ Especialista em engenharia de segurança do trabalho e professor do Centro Universitário Univértix

⁵ Especialista em engenharia de segurança do trabalho e professor do Centro Universitário Univértix

⁶ Mestre em engenharia mecânica e professor do Centro Universitário Univértix

⁷ Mestre em engenharia mecânica e professor do Centro Universitário Univértix

1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos processos de fabricação mais importantes na indústria metalúrgica em geral. O processo consiste na retirada de cavaco (excesso) do material usinado, por meio de um material mais duro e resistente que a peça usinada, atribuindo a esta, dimensões, forma ou acabamento, permitindo até mesmo a combinação destes três fatores (Valim, 2018; Machado *et al.*, 2015).

Sua grande utilização deve-se ao fato de que envolvam uma grande variedade de geometrias que podem ser usinadas, de forma a obter um bom acabamento, mas sem que haja alteração das propriedades do material usinado (Amorim, 2002).

De acordo com Lemos (2019), no século XX, com a evolução da qualidade dos produtos, conseqüentemente estes ficaram mais resistentes e difíceis de serem usinados. Diante disto, surgiram ferramentas de aço rápido e carbets de tungstênio, respectivamente, capazes de trazer boa qualidade de acabamento, podendo também usinarem as peças com velocidades mais altas, sem que um sacrifique o outro.

A respeito destas duas ferramentas, é necessário saber que são classificadas por ordem de dureza juntamente de outros materiais. As ferramentas de aço rápido recebem o mesmo nome de seu grupo. Já as ferramentas de carbeto de tungstênio pertencem ao grupo dos metais duros (Machado *et al.*, 2015)

Por conta desta classificação, estes materiais apresentam também certa disparidade nos custos de aquisição, assim como no desgaste e durabilidade da ferramenta (Lemos, 2019). Além disso, faz-se necessária a alteração dos parâmetros de funcionamento da máquina que opera a usinagem, como número de rotações e velocidade de corte, por exemplo, para cada ferramenta.

Portanto, fica definido o propósito da pesquisa, com o objetivo de equiparar a usinagem por ferramentas de aço rápido e carbets de tungstênio no torneamento de aço SAE 1045.

Sendo a importância do estudo, uma comparação que objetiva visualizar os resultados entre ambas as ferramentas, quando utilizadas num mesmo processo e usinando a mesma peça, cada qual com seus parâmetros equivalentes, a fim de compreender as diferenças na resistência, desempenho e qualidade do processo de forma mais prática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Usinagem

Segundo Machado e Silva (2004), a usinagem é um processo de fabricação em que há a remoção de cavaco. Segundo o autor, é o processo de fabricação mais popular, em que 10% de toda a produção do metal mundial é transformada em cavaco. Este processo, caracteriza-se como uma operação em que ocorre a retirada do excesso de material da peça inicial. Seu objetivo é adequar a peça as medidas desejadas. O torneamento é um dos mais importantes, seguido pela furação e fresamento (Groover, 2014).

Na usinagem, são necessárias condições ideais de corte do material (Machado e Silva, 2004):

- Materiais e geometria adequados de ferramenta de corte;
- Velocidade de corte e o avanço correto para a profundidade de corte pré-determinada;
- Um fluido de corte adequado;

Como dito acima, a usinagem consiste na retirada de cavaco, que são resíduos do material usinado, proporcionais às suas características construtivas (Almeida, 2015). Além disso, exige a utilização de máquinas-ferramenta em que a potência de usinagem destas máquinas-ferramenta é exatamente a energia necessitada para remover determinada quantidade de cavaco em um espaço de tempo (Peixoto, 2021).

Aleixo (2020), evidencia que a escolha do material correto para a ferramenta, é um dos pontos mais importantes na usinagem, tendo em vista que, um material incorreto para determinada peça pode causar desgaste prematuro da ferramenta e uma operação malsucedida.

Além disso, Rosa (2017) enfatiza que, apesar de a usinagem depender de uma série de fatores, também pode ser conhecida como uma condição exclusiva do material.

2.2 Propriedades mecânicas dos materiais

Durante um projeto, é imprescindível que o engenheiro tenha um conhecimento acerca das propriedades dos materiais que serão utilizados. Tal

conhecimento, permite ao engenheiro que mesmo não conhecendo todos os materiais existentes à sua disposição, tenha uma noção geral de como este deve reagir às solicitações que for exposto. Vlack (1970), cita algumas das principais propriedades mecânicas: resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, fluência, dureza e tenacidade. Ele evidencia que todas são propriedades relacionadas a habilidade do material em resistir a forças mecânicas. Neste estudo, as principais propriedades a serem citadas e explicadas são: dureza e ductilidade.

- **Dureza:** de acordo com Callister e Rethwisch (2020), é uma propriedade do material de resistir a deformações plásticas localizadas. Um material duro apresenta alta resistência a perfurações (Askeland e Wright, 2014). Stein (2018), afirma que a dureza pode também ser associada a resistência, risco, corte, abrasão e flexão.
- **Ductilidade:** É basicamente a deformação plástica que o material sofre até seu ponto de ruptura. Um material pouco dúctil sofre uma deformação muito pequena; muitos nem sofrem, sendo considerados materiais frágeis. Neste caso, o eixo que será utilizado é um material dúctil em relação ao processo, sendo considerado de boa usinabilidade, pois é um material resistente, mas que sofre as deformações plásticas na interface de corte, sem fraturar, ao contrário de um material frágil (Stein, 2018; Vlack, 1970).

2.3 Torneamento

A operação consiste na retirada de material em excesso de uma determinada peça, de acordo com as especificações necessárias. A peça é acoplada a uma placa que rotaciona em torno de seu próprio eixo, enquanto a ferramenta avança longitudinalmente ou transversalmente sobre aquela (Machado *et al.*, 2015).

Figura 1: Processo de torneamento cilíndrico externo. Será o método adotado neste estudo.



Fonte: Machado *et al.*, (2015).

Existem várias operações que podem ser realizadas no torneamento. A que

será adotada é o torneamento cilíndrico externo. Neste processo, o diâmetro da peça será reduzido para o diâmetro requerido, criando um cilindro (Fitzpatrick, 2013). Será uma operação de desbaste, que consiste na retirada de material e trabalha com uma velocidade de corte menor em relação a operação de acabamento. Ferramentas de corte. São as ferramentas desenvolvidas com ângulos de corte, detendo materiais e perfis especiais, de acordo com a máquina, especificações de corte e com o material que será usinado (Almeida, 2015).

Por volta de 1868, o metalúrgico britânico Robert Mushet, principal precursor para a criação das ferramentas de corte, introduziu os aços ligas. Os primeiros eram compostos por carbono como elemento ligante, contendo em torno de 0,6 a 1,3% da composição total do material, em que, quanto maior a porcentagem de carbono, maior dureza este conferia ao material (Valim, 2018).

Segundo Ferraresi (1970), Mushet, por meio de experiências, admitiu que elementos de liga poderiam provir maior dureza aos aços, como constatado nas ligas de aço carbono.

2.4 Aço rápido

Posteriormente, no ano de 1898, Fred W. Taylor, White e outros, desenvolveram um tipo adequado aço para ferramenta de corte, o aço rápido. Sua composição era de 0,67% de Carbono, 18,91% de Tungstênio, 5,47% de Cromo, 0,11% de Manganês e 0,29% de Vanádio (Machado, 2015; Coelho e Silva, 2018).

Chiaverini (1979) e Valim (2018) demonstram que tais elementos de liga conferem características específicas à ferramenta:

- Carbono: aumenta a dureza e resistência ao desgaste do material.
- Tungstênio: elemento formador de carbonetos, sendo também responsável pela elevada dureza destas ferramentas, podendo chegar a 20% da composição;
- Molibdênio: trata-se de um elemento substituto do tungstênio, apresentando praticamente as mesmas características mecânicas;
- Cromo: unido ao carbono, eleva a temperabilidade do material. Além disso, é responsável por reduzir a oxidação durante os tratamentos térmicos;
- Vanádio: outro forte formador de carbonetos. É o elemento mais duro da

composição, aumenta também a dureza a quente da ferramenta, o que a torna resistente as altas temperaturas, que podem chegar até mesmo aos 600 °C;

- Cobalto: amplifica demasiadamente a dureza a quente, melhorando a eficiência da ferramenta na usinagem de alta temperatura;

O aço rápido causou uma grande revolução no mercado por conta do grande aumento da capacidade de produção. As velocidades de corte, que antes variavam entre 3 e 5 m/min, elevaram em até 10 vezes a velocidade de produção, chegando aos 30 a 35 m/min. (Machado *et al.*, 2015; Coelho e Silva, 2018; Valim, 2018;).

Figura 2: Bit de aço rápido semelhante ao que será utilizado neste estudo.



Fonte: supriferramentas.com.br

Justamente por conta deste acontecimento, recebeu o nome de aço rápido (High Speed Steel, traduzindo-se do inglês HSS), por conta da alta velocidade adotada após sua criação. No entanto, estas velocidades, já nem podem ser consideradas tão altas, levando-se em conta novas ferramentas desenvolvidas posteriormente e que aceitam velocidades consideravelmente mais altas (Valim, 2018).

De acordo com Santos (2022), o aço rápido é o aço mais utilizado em ferramentas, principalmente por conta de sua alta dureza quando temperado, mesmo a altas temperaturas. O que permite esta alta dureza é a demasiada presença de partículas de carboneto em sua composição, fornecendo maior resistência ao desgaste.

2.5 Metal duro

Após os grandes avanços vindos do desenvolvimento do aço rápido, outro grande avanço surgiu, trazendo um aumento proporcional ao dos aços rápidos em relação às ferramentas de aço-carbono, cerca de 10 vezes mais velocidade de corte para as ferramentas de metal duro, comparando-se às ferramentas de aço rápido. As

Anais do FAVE – Fórum Acadêmico do Centro Universitário Vértice - Univértix, Matipó, setembro, 2025.

velocidades saltaram de 30 a 35 m/min para 250 a 300 m/min (Machado *et al.*, 2015).

De acordo com Valim (2018), seu desenvolvimento deu-se na Alemanha, por Schroter, em 1925. São conhecidas pelo nome de Widia (por conta da expressão alemã “**wie diamante**”: como diamante, em português), principalmente por suas características que se assemelham às do diamante, sendo elas alta dureza e resistência ao desgaste.

Figura 3: Ferramenta de corte em metal duro. Semelhante a que será utilizado no processo



Fonte: tecnoferramentas.com.br

São classificados em três classes, de acordo com a norma ISO 513-1975: classe P, M e K. A classe a ser utilizada neste trabalho é a classe P (Valim, 2018):

- Classe P: cor azul, contém até 35% de sua composição por Carbonetos de Titânio e 7% de Tântalo, além dos Carbonetos de Tungstênio já presentes. Sua utilização dá-se no ferro fundido, nodular e maleável, aço fundido e aço.

3 METODOLOGIA

O estudo em questão trata-se de uma pesquisa experimental. De acordo com Gil (2002), a pesquisa experimental é um modelo de pesquisa que consiste na determinação de um objeto de estudo, das variáveis que podem influenciá-lo, definição das formas de controle e uma observação dos efeitos que as variáveis produzirão no objeto de estudo.

O local de realização da pesquisa será em uma indústria privada em Matipó-MG. Os testes serão realizados no mês de outubro, utilizando uma ferramenta em aço rápido e outra em metal duro. Haverá uma avaliação para comparar a durabilidade e o melhor acabamento visual em usinagem por torno convencional, com a utilização de eixos em aço SAE 1045.

Será observado o comportamento das ferramentas em operações de desbastes, com as devidas configurações de velocidade de corte e número de

rotações, referentes ao máximo permitido. Isto de acordo com os cálculos e a tabela de velocidade de corte para ferramenta em relação ao seu material, ao material da peça usinada, ao diâmetro do eixo e a natureza da operação. O estudo visa avaliar o efeito da ferramenta no material, a qualidade superficial da peça usinada e a condição final da ferramenta.

3.1 Processo

O teste consistirá em um processo de usinagem por torneamento mecânico. Para efeito de padronização da operação, aspirando a obtenção de resultados mais confiáveis, será feita a utilização de corpos de prova retirados de uma única barra de eixo SAE 1045, com diâmetro de 1" (25,4 mm); o comprimento destes corpos de prova será de 100 mm cada e serão torneados em um mesmo torno mecânico. Cada ferramenta torneará três corpos de prova. No primeiro eixo, 1 mm de profundidade; no segundo eixo, 3 mm de profundidade; por fim, no terceiro eixo, 5 mm de profundidade. Ao todo, cada ferramenta torneará 135 mm de comprimento total, 45 mm em cada eixo.

Será utilizada também, apenas uma ferramenta de cada material, ao passo que, caso haja a quebra ou desgaste prematuro, mesmo os parâmetros de corte estando corretos, o teste será encerrado para aquela ferramenta, não sendo permitida a afiação ou troca por uma nova.

3.2 Equipamento e ferramentas

A máquina utilizada é um torno mecânico convencional, com placa universal de três castanhas. O modelo do torno é o Nardini Mascote MS 205, modelo 2024. O torno está em perfeitas condições e foi adquirido em maio de 2024 diretamente da fabricante Nardini, sendo um torno de primeira mão.

A ferramenta de metal duro escolhida será do modelo de ferramenta soldada ISO 6 20x20 direita P30 (cor azul); a classe 30 é uma classe intermediária de dureza referente a este tipo de ferramenta, e que atenderá perfeitamente ao experimento.

A ferramenta de aço rápido, será Bits Quadrado Aço Rápido 3/8", com porcentagem de Cobalto: 50%; Norma DIN4964; Formato do Bits: Quadrado, Temperado e Revenido com 64/66 HRC (Dureza Rockwell C); com ângulo

de afiação 60° ABNT NBR ISO 3002-1 2013.

Após o fim do teste, os corpos de prova e as ferramentas serão visualizadas em microscópio e serão avaliados visualmente a qualidade do acabamento dos eixos e a condição final das ferramentas. O estudo dos resultados será exposto em tópicos.

O objetivo final da pesquisa é comparar o acabamento das peças, observando a qualidade visual dos eixos usinados, assim como da condição final a que se encontrarão as ferramentas.

3.3 Cálculos

Primeiramente, serão obtidas as velocidades de corte para cada ferramenta. A escolha é realizada levando-se em consideração, o material da ferramenta, o material da peça usinada e se a operação é uma operação de desbaste ou acabamento. Tudo isto se dá por meio da tabela de velocidades de corte.

Tabela 1: Tabela de velocidades de corte.

Materiais	VELOCIDADE DE CORTE PARA TORNO				
	Ferramentas de aço rápido			Ferramentas de carboneto metálico	
	Desbaste	Acabamento	Roscar Recartilhar	Desbaste	Acabamento
Aço 1020	25	30	10	200	300
Aço 1045	20	25	8	120	160
Aço extraduro 1060	15	20	6	40	60
Ferro fundido maleável	20	25	8	70	85
Ferro fundido gris	15	20	8	65	95
Ferro fundido duro	10	15	6	30	50
Bronze	30	40	10-25	300	380
Latão e cobre	40	50	10-25	350	400
Alumínio	60	90	15-35	500	700
Fibra e ebonite	25	40	10-20	120	150

Fonte: docente.ifsc.edu.br

A velocidade de corte para o aço rápido no processo de desbaste de eixo em aço 1045 é 20 m/min, enquanto a velocidade de corte para metal duro, também no desbaste de aço 1045 é 120 m/min.

Por meio destas velocidades de corte, serão calculadas as rotações por minuto da peça na seguinte fórmula:

$$n = \frac{V_c \times 1.000}{\pi \times D}$$

Onde:

- n: é o número de rotações por minuto (RPM);
- Vc: é a velocidade de corte (m/min);

- D: é o diâmetro da peça que será usinada (mm).

Portanto, aplicando ao aço rápido, obtém-se a seguinte velocidade de corte:

$$n = \frac{20 \times 1.000}{\pi \times 25,4} = 250,63 \text{ RPM}$$

Aproximando para a RPM mais próxima encontrada no torno, tem-se 250 RPM. Aplicando a fórmula agora para o metal duro:

$$n = \frac{120 \times 1.000}{\pi \times 25,4} = 1.503,82 \text{ RP}$$

Novamente, aproximando-se para a RPM mais próxima encontrada no torno, tem-se 1.600 RPM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme supracitado, o processo de torneamento foi executado e os resultados obtidos através dele serão discorridos a seguir:

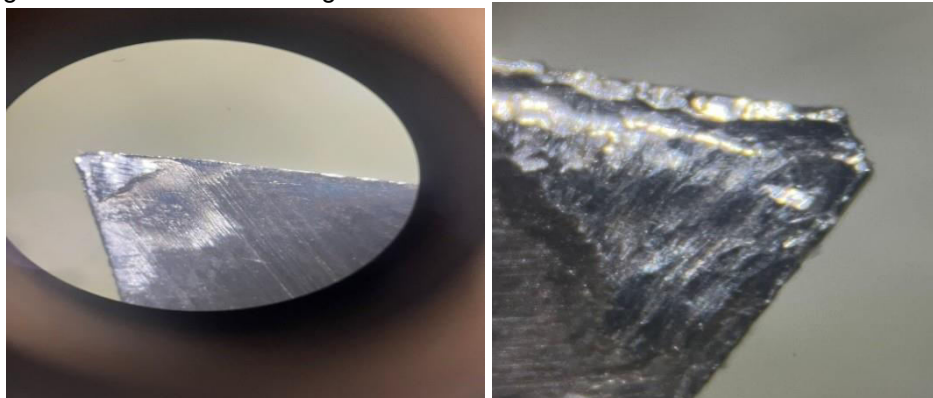
4.1 Eixo torneado em aço rápido

A ferramenta em aço rápido foi a primeira a passar pelos testes. Seguindo o roteiro programado, a velocidade de corte foi de 25 m/min e 250 RPM. A peça selecionada para avaliação no microscópio, foi a do segundo passe, com 3 mm de profundidade.

Logo de imediato, o que se percebe na peça usinada é uma superfície com determinada aspereza e uma aparência mais fosca e escura. É possível ver também algumas fissuras, quando na imagem aproximada, que demonstram imperfeições na superfície, como pequenas fendas. Isto se dá por conta da perda de afiação da ferramenta, que reduz a eficiência do corte, causando estas falhas (Lemos, 2019).

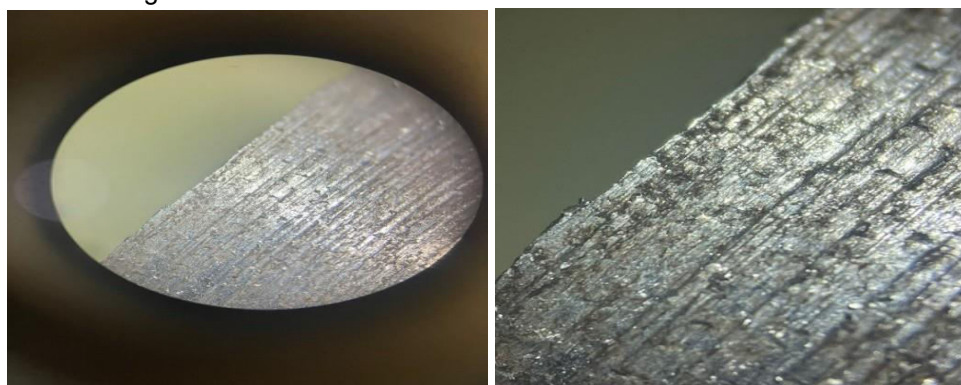
A ferramenta em aço rápido, apresentou desgaste por erosão, com pequenas perdas de material em sua ponta, como mencionado por Machado (2015), a respeito dos mecanismos de desgaste a que estão expostas as ferramentas de corte. A rugosidade da superfície, confirma a dificuldade da ferramenta em manter a resistência ao atrito e, conseqüentemente, ao calor gerado no torneamento (Stein, 2018).

Figura 5: Ponta da ferramenta em aço rápido desgastada; aproximada em 10x vezes na primeira imagem e em 40x vezes na segunda.



Fonte: o autor.

Figura 6: Eixo usinado pela ferramenta em aço rápido aproximado em 10x vezes na primeira imagem e em 40x vezes na segunda.



Fonte: o autor.

4.2 Eixo torneado em metal duro

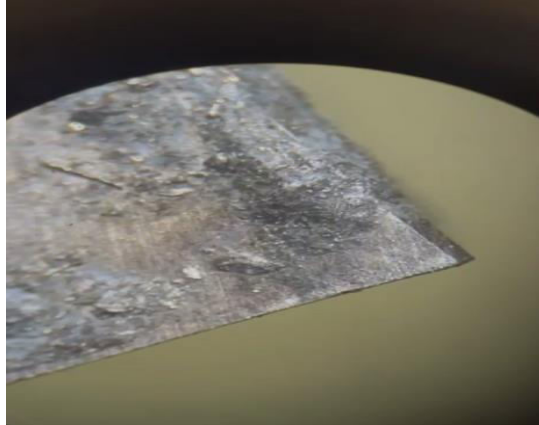
Em seguida, a ferramenta de metal duro também seguiu os padrões definidos, com a velocidade de corte de 120 m/min e 1.600 RPM. Da mesma forma, a peça selecionada foi a do segundo passe, com 3 mm de profundidade.

Notavelmente, o acabamento é bastante superior em relação ao eixo torneado por aço rápido. A superfície encontra-se extremamente lisa e com aparência brilhante, como polida. Pela imagem ampliada, é possível perceber que a superfície apresenta um padrão de linhas bem definido e sem as imperfeições e fendas encontradas no eixo anterior. A diferença se dá pelo fato de o metal duro deter maior dureza e resistência ao desgaste, sendo inclusive, ideal para operações com velocidades mais altas (Machado *et al.*, 2015; Valim, 2018).

A ferramenta, apresentou um pouco de desgaste por adesão e elevado aumento em sua temperatura, muito por conta da alta velocidade de corte, que favorece este aumento da temperatura e, conseqüentemente, o mecanismo de

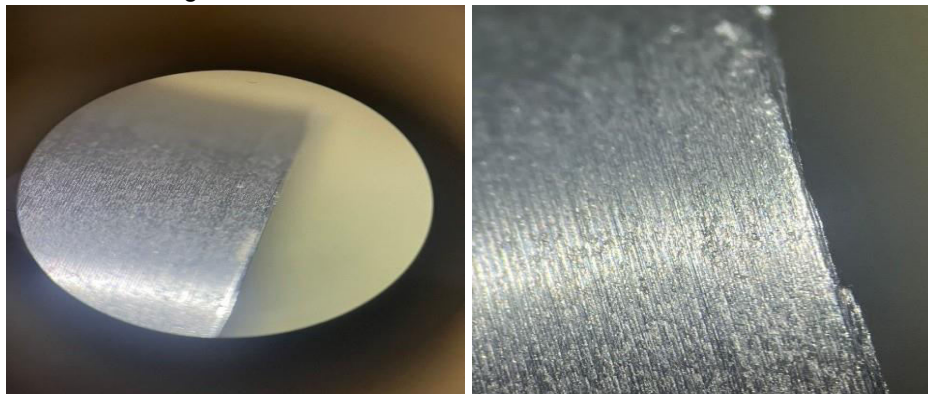
desgaste observado (Amorim, 2002). Novamente, como foi salientado por Machado (2015), as ferramentas de corte encontram-se expostas a diversos mecanismos de desgaste.

Figura 7: Ponta da ferramenta de metal duro ampliada em 40x vezes.



Fonte: o autor.

Figura 8: Eixo usinado pela ferramenta em metal duro aproximado em 10x vezes na primeira imagem e 40x vezes na segunda.



Fonte: o autor.

Apesar destes fatores positivos, vale ressaltar que o metal duro exige maior cuidado quanto sua velocidade de corte, por se tratar de um material mais frágil, justamente por ser um material de alta dureza (Rosa, 2017).

5 CONCLUSÃO

Este estudo tem como objetivo, apenas comparar o efeito de ambas as ferramentas numa mesma aplicação. As ferramentas de aço rápido e metal duro no torneamento cilíndrico externo de eixo em aço SAE 1045 e a qualidade, resulta na superfície da peça.

Após a avaliação, é perceptível o desempenho superior obtido pela ferramenta de metal duro, em relação à ferramenta em aço rápido, demonstrando maior

resistência ao desgaste e a altas temperaturas; além disso, propiciou um acabamento mais vistoso e de maior qualidade, com uma superfície extremamente polida.

Entretanto, a ferramenta em aço rápido não deixa de ser uma opção interessante, permitindo inúmeras afiações e conferindo uma longa vida útil à ferramenta. Diferentemente, da ferramenta em metal duro que não permite muitas afiações.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, Guilherme Souza. **Avaliação do desempenho de ferramentas de metal duro e cermet no torneamento do aço ABNT 1045**. 2020. Dissertação (Mestrado em Processos de Fabricação e Materiais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/39640>. Acesso em: 12 jun. 2024.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Processos de usinagem: Utilização e aplicações das principais máquinas operatrizes**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015. E-book: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536520070/pageid/0>. Acesso em: 1 jun. 2024.

AMORIM, Heraldo José de. **Estudo na relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3791>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788522118014>. Acesso em: 12 out. 2024.

CALLISTER Jr., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais**. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521637325>. Acesso em: 7 mai. 2024.

COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Eraldo Janonne da. **Materiais para ferramenta de corte em usinagem**. 2018. Tese (Bacharelado de Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Núcleo de Manufatura Avançada, Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=MATERIAIS+PARA+FERRAMENTA+DE+CORTE+EM+USINAGEM&btnG=. Acesso em: 5 mai.

2024.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 1988. 6ª ed. São Paulo: ABM, 1988.
E-book. Disponível em:

<https://pt.scribd.com/doc/44553393/VICENTE-CHIAVERINI-Acos-e-Ferros-Fundidos>.
Acesso em: 03 abr. 2024.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 18ª ed. São Paulo:
Blücher, 1970. E-book. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521214199/pageid/0>.
Acesso em: 7 mai. 2024

FITZPATRICK, Michael. **Introdução aos processos de usinagem**. Porto Alegre:
AMGH, 2013. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788580552294>. Acesso em: 30 set.
2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas
S.A., 2002. E-book. Disponível em:

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 28 jun. 2024.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1ª ed. Rio de
Janeiro: LTC, 2014. E-book. Disponível em:

https://www.academia.edu/44421271/Introdu%C3%A7%C3%A3o_aos_Processos_de_Fabrica%C3%A7%C3%A3o_Mikell_P_Groover_LTC_2014_. Acesso em: 2 out.
2024.

LEMOS, Ivan Silva. **Análise do custo-benefício entre ferramentas de HSS, carboneto de tungstênio e insertos de CBN na usinagem de aço SAE 1045**. 2019. Monografia (Bacharelado Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Sul de Minas, Varginha, 2019. Disponível em:
<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1218>. Acesso em: 14 mai. 2024.

MACHADO, Álisson Rocha; SILVA, Márcio Bacci da. **Usinagem dos metais**. 8 ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2004. Disponível em:

https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt&as_sdt=0%2C5&q=USINAGEM+DOS+METAIS&btnG=&oq=usinag. Acesso em: 21 de jun. 2024.

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci da. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: BLUCHER, 2015. E-book. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521208440/pageid/0>.
Acesso em: 21 de mai. 2024.

PEIXOTO, Augusto César Santos. **Análise da força de corte e rugosidade no torneamento de ferro fundido cinzento utilizando sistema de resfriamento interno da ferramenta**. 2021. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de

Fabricação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32851>. Acesso em: 8 mai. 2024.

ROSA, Guilherme Cortelini da. **Estudo da usinabilidade no torneamento a seco do aço inoxidável martensítico AISI 420 C endurecido com ferramenta de metal-duro**. 2017. Tese (Doutorado em Processos de Fabricação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/165625>. Acesso em: 24 ago. 2024.

SANTOS, Erick Eduardo dos. **Resistência ao desgaste microabrasivo em um bit de aço rápido com superfície tratada via laser**. 2022. Monografia (Bacharelado Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Resist%C3%AAn cia+ao+desgaste+microabrasivo+em+um+bit+de+a%C3%A7o+r%C3%A1pido+com +superf%C3%ADcie+tratada+via+laser&btnG=. Acesso em: 24 mai. 2024.

STEIN, Ronei Tiago. **Materiais de construção mecânica**. Porto Alegre: Sagra, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788595025134>. Acesso em: 9 jul. 2024.

VALIM, Diego Batista. **Usinagem**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595025110/pageid/0>. Acesso em: 16 mai. 2024.

VLACK, Lawrence H. Van. **Princípios de ciências dos materiais**. 22^a ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1970. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521217565>.

