



ANÁLISE COMPARATIVA DO DESGASTE DE FACAS CILÍNDRICAS PRODUZIDAS POR AÇO AISI D6 E AÇO AISI 01

José Marcos Anzolin¹; Luan Gabriel Fagundes^{1}; Alexandre Galiotto^{2**}*

¹Estudante Fabricação Mecânica IFSC Rau; ²Docente IFSC Rau

**jmanzolin@gmail.com; *fagundesgabrielluan@gmail.com; **galiotto@ifsc.edu.br*

RESUMO

Na indústria têxtil uma das etapas do processo é o corte da malha realizado por facas cilíndricas. Essas facas são produzidas por aços para trabalho a frio em função da sua alta resistência ao desgaste. Existe uma ampla gama, dentro dessa classe de aços, que podem ser utilizados neste processo, porém há uma diferença significativa de custo entre eles. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o desgaste entre os aços AISI 01 e AISI D6, ambos temperados e revenidos. Os testes foram realizados em um equipamento de ensaio de desgaste tipo pino sobre disco rotativo, onde ao invés de utilizar pino foi adaptado um suporte para se utilizar a própria faca usada na indústria têxtil. Foram comparados o coeficiente de atrito, a perda de massa nas facas e o volume de material removido do contra corpo. Os resultados mostraram que, nestas condições utilizadas, o coeficiente de atrito foi maior para o aço AISI D6. A perda de massa e volume de material removido foi menor quando utilizado o aço AISI 01.

Palavras-chave: Aço AISI D6. Aço AISI 01. Ensaio de desgaste.

WEAR COMPARISON OF CYLINDRICAL KNIVES MANUFACTURED FROM AISI D6 AND AISI 01 STEEL

ABSTRACT

In the textile industry, one of the stages in the process is the cutting of the fabric carried out by cylindrical knives. These blades are produced from cold work steels due to their high wear resistance. There is a wide range, within this class of steels, that can be used in this process, but there is a significant cost difference between them. The main objective of this work was to evaluate the wear between the AISI 01 and D6 steels, both hardened and tempered. The tests were



conducted using a pin-on-disc wear testing machine, where instead of using a pin, a holder was adapted to use the actual knife used in the textile industry. The coefficient of friction, the loss of mass in the knives, and the volume of material removed from the counterbody were compared. The results showed that, under these conditions used, the friction coefficient was higher for AISI D6 steel. The loss of mass and volume of material removed was lower when using AISI O1 steel.

Keywords: AISI D6 Steel, AISI O1 Steel, Wear test

Introdução

No processo produtivo da indústria têxtil, uma das etapas essenciais é o corte dos tecidos, que exige ferramentas de corte precisas e duráveis para garantir a eficiência e a qualidade dos produtos finais. Entre essas ferramentas, as facas cilíndricas são fundamentais para o corte de tecidos, e a escolha do material utilizado na sua fabricação é crucial para determinar sua durabilidade e desempenho. O desgaste dessas facas requer afiações ou substituições frequentes e o principal fator que restringe sua durabilidade e pode impactar diretamente a eficiência do processo.

As facas cilíndricas utilizadas no corte de tecidos são, geralmente, produzidas a partir de aços para trabalho a frio. Neste grupo de aços destacam-se dois materiais amplamente utilizados: o aço AISI D6, que oferece alta resistência e durabilidade, mas com um custo maior comparado ao aço AISI O1, que é mais acessível, fácil de tratar termicamente e prático para fabricar (Passifer, 2024).

Os aços para trabalho a frio, também conhecidos como aços indeformáveis, são materiais projetados para operar a temperaturas abaixo de 200 °C, com alta resistência ao desgaste e boa tenacidade, são altamente resistentes, que não sofrem grandes alterações dimensionais durante o processo de têmpera (CHIAVERINI, 1986). A *American Iron and Steel Institute (AISI)*, classifica os aços segundo uma letra que retrata de alguma forma o material, seguida de um ou dois números. Destacam-se as seguintes categorias de aços de acordo com as respectivas letras:

- W: aços temperáveis em água;
- O: aços temperáveis em óleo;
- A: aços temperáveis ao ar;
- D: aço indeformável para trabalho a frio;

O aço AISI D6, por ser um aço de alta liga com alto teor de carbono e cromo (tabela 1), com adições de vanádio e tungstênio, oferece excelente resistência ao desgaste, sendo ideal para aplicações que exigem durabilidade em operações contínuas (Villares, 2021). Em contraste, o aço AISI O1, é um aço de média liga (Tabela 1) temperável em óleo e de baixa deformação, possui alta resistência ao desgaste, aliada à boa tenacidade. No estado recozido tem boa usinabilidade, se destaca pela facilidade de tratamento térmico e estabilidade dimensional (Villares, 2003).



Tabela 1. Composição química típica (porcentagem em massa):

AÇO	C	Si	Mn	Cr	V	W	Fe
AISI D6	2,05	0,3	0,4	12,00	0,15	0,7	bal.
AISI 01	0,95	-	1,25	0,50	0,12	0,50	bal.

Fonte: Villares Metals

No entanto, a escolha do material na indústria não se baseia apenas em suas propriedades químicas, é essencial equilibrar custo e desempenho para garantir eficiência e viabilidade econômica. Em relação aos custos de compra de cada material, existe uma variância entre fornecedores e suas negociações comerciais, fatores como transporte, processo de fabricação, custo de aquisição da matéria prima e elementos de liga interferem diretamente. Uma pesquisa de mercado realizada pelos autores em março de 2024 na região norte do estado de Santa Catarina mostrou que o aço AISI D6 é comercializado a uma razão entre 15% e 20% mais caro quando comparado ao aço AISI 01. Ao iniciar a pesquisa de desempenho dos materiais, torna-se inevitável o estudo da relação entre atrito e desgaste.

Em seu artigo de estudo de caso, os autores Muhammed, Javidani, Heidari e Jahazi (2023) descrevem a interferência dos tipos de carbonetos, sua distribuição, fração de volume e tamanho, características que afetam as propriedades de desgaste. Testes realizados com os aços ferramentas AISI 01 e AISI D2 mostraram que o último apresentou resistência ao desgaste superior em testes de desgaste abrasivo, mesmo os dois aços tendo igual dureza.

De acordo com ZUM-GAHR (1987, p. 4) o atrito e o desgaste não são propriedades intrínsecas do material, mas são características do sistema envolvido (tribosistemas). Atrito pode ser definido como a força que resiste ao movimento relativo entre duas superfícies, podendo ser classificado em estático (quando impede o início do movimento) e dinâmico (quando atua durante o movimento). O atrito dinâmico resulta na dissipação de energia, geralmente convertida em calor. Por sua vez, o desgaste é a perda progressiva de material devido ao contato e ao movimento relativo entre superfícies. Pode ocorrer por diferentes mecanismos, como abrasão, adesão, fadiga superficial e corrosão. E ambos os fenômenos afetam a eficiência e a vida útil de componentes mecânicos, tornando o estudo da tribologia essencial para reduzir perdas energéticas e otimizar o desempenho de sistemas.

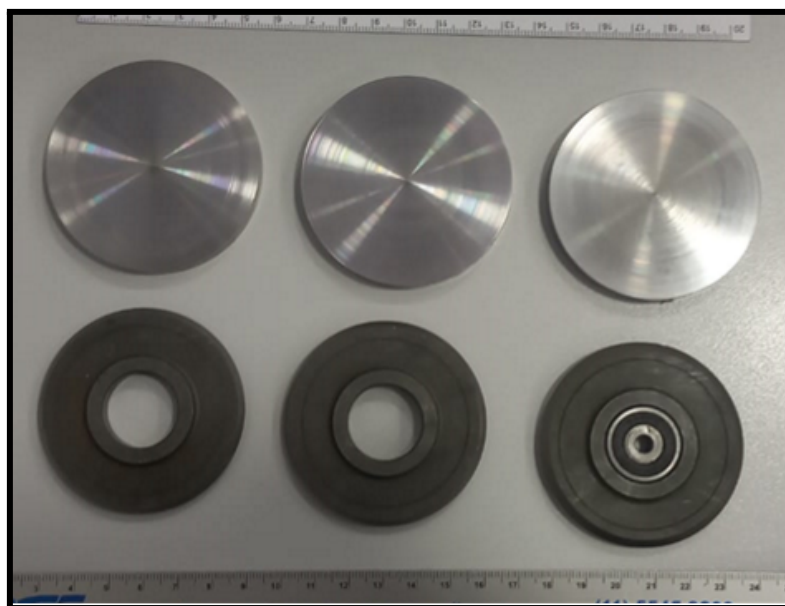
Este trabalho visa comparar o desempenho tribológico desses materiais em facas cilíndricas utilizadas no corte de tecidos, contribuindo para uma escolha de materiais com melhor eficiência na indústria têxtil.

METODOLOGIA

Para mensurar e replicar o desgaste efetivo das facas cilíndricas utilizadas diariamente na indústria, foram confeccionadas três amostras de cada tipo de aço para servirem como pinos superiores no ensaio. As amostras foram produzidas com as mesmas características dimensionais das facas comercialmente utilizadas, apresentando um diâmetro de 60 milímetros e espessura de 4 milímetros (peças inferiores na Figura 1). Além disso, a face radial das facas possui um gume cortante usinado e afiado em um ângulo de 45 graus, característica que também foi replicada nas amostras.

Com a intenção de padronizar o ensaio, baseado no contra corpo utilizado na indústria (rolo de apoio), todas as amostras confeccionadas para o disco base foram produzidas em aço AISI D6. Foram produzidos discos com 60 mm de diâmetro e 8 mm de espessura. Seguindo a normativa G133 da American Society For Testing Materials (ASTM), após a usinagem, os discos foram retificados através do processo de retífica plana tangencial a fim de obter a rugosidade inferior a $0,8 \mu\text{m}$ (peças superiores na Figura 1).

Figura 1 - Discos base (peças superiores) e facas (peças inferiores) após usinagem.



Fonte: Os autores.

Após o processo de usinagem, foram obtidas um total de seis amostras entre os aços comparativos que serviram de pino superior de ensaio, e também seis amostras de disco base.

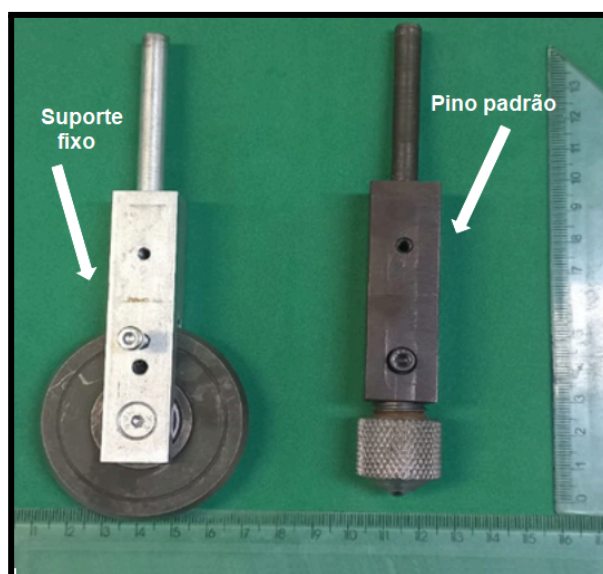
A dureza de fornecimento em estado recozido para o aço AISI D6 é de 25 HRC e para o aço AISI O1 é 16 HRC. Com o intuito de aumentar a dureza desses materiais, todas as amostras de discos

base e facas foram submetidas ao processo de têmpera e revenimento. Na têmpera o material foi aquecido a 900 °C e resfriado em banho de sal. Após a têmpera foi realizado duplo revenimento a 200 °C por 2 horas. Esse tratamento objetiva dureza de 60 HRC.

Após o processo de têmpera/revenimento é depositada uma camada de óleo protetivo (anticorrosivo) nas peças. A presença desse produto sobre as superfícies dos materiais poderiam atuar como lubrificante nos ensaios gerando assim valores incorretos entre as amostras comparadas. Dessa forma, antes e após os ensaios, as amostras foram devidamente limpas em banho de acetona através do processo ultrassônico a fim de garantir que se eliminasse impurezas das amostras.

Para que se pudesse utilizar as facas como pinos de ensaio nas características das facas comercializadas na indústria, foi desenvolvido um suporte específico (à esquerda da Figura 2) obedecendo às dimensões e sistema de fixação para a célula de carga do equipamento de ensaio. Este foi fabricado em aço 1045, através dos processos de torneamento e fresamento, obtendo as características e medidas semelhantes ao pino padrão. Esta peça permitiu a fixação das facas e forneceu a perpendicularidade entre faca e disco base.

Figura 2. Desenvolvimento de suporte para facas.

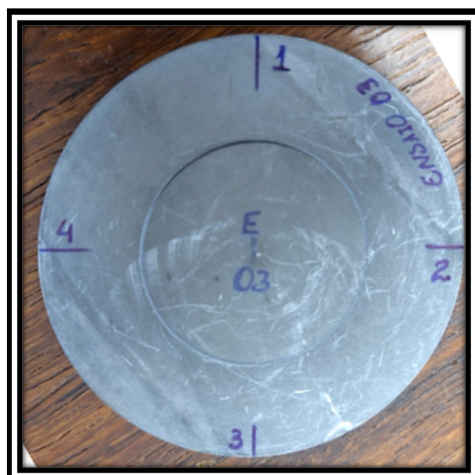


Fonte: Os autores.

O tribômetro utilizado foi confeccionado e certificado pelo IFSC - RAU utilizando os seguintes parâmetros: velocidade de 0,3 m/s, diâmetro de pista de 33 mm, carga de 10 N e a distância percorrida de 2000 m. Os dados obtidos pelo tribômetro foram armazenados e inseridos em uma planilha eletrônica para geração dos gráficos de coeficiente de atrito. Esses dados foram coletados a uma taxa de 597 leituras por minuto (BEPPLER, et al, 2016) e permitiram a posterior análise e interpretação.

A análise por imagem foi feita com estereoscópio Zeiss Stemi 2000-C, onde foi mensurado a largura da pista do corpo de apoio em quatro pontos distante a 90 graus entre eles (Figura 3) e posterior cálculo de valor médio.

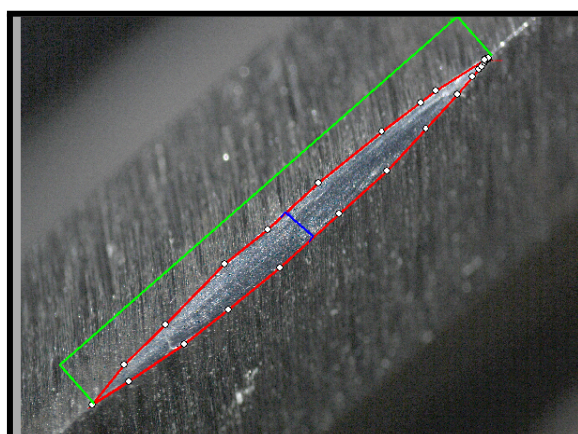
Figura 3. Os pontos referenciais de leitura do disco.



Fonte: Os autores.

Durante a análise por imagem no estereoscópio obteve-se a área, a largura e comprimento de desgaste do gume cortante das facas (Figura 4). Esses valores são necessários para cálculo de perda de massa e posterior discussão dos resultados.

Figura 4. Área do gume da faca.



Fonte: Os autores.

A perda de massa foi medida utilizando uma balança analítica Shimadzu AUX220, com resolução de 0,1 mg, garantindo assim a exatidão nos resultados. As medições foram realizadas antes e após os ensaios tribológicos, permitindo quantificar o material removido devido ao

desgaste. Foram realizadas três medições consecutivas para cada amostra, tanto das facas quanto do disco base, calculando-se a média e o desvio padrão dos valores obtidos.

A profundidade de têmpera das amostras foi medida nas facas após os testes de desgaste no tribômetro. Foram retiradas uma amostra de cada faca ensaiada, ou seja, três amostras do aço AISI D6 e três do aço AISI O1, em formato conforme a figura 5. O processo de corte foi realizado por eletroerosão a fio, na seção transversal ao raio da faca. A escolha desse método de corte foi fundamental para análise real das amostras, uma vez que a espessura da faca é 4mm, em outros processos a zona afetada pelo calor gerado durante o processo de corte alteraria o valor real da temperabilidade das amostras o que impossibilitaria a leitura e análise dos teste na faca já finalizada, resultando em valores não confiáveis de dureza.

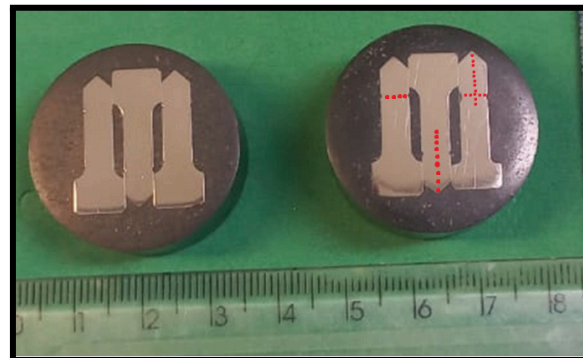
Figura 5. Corte de amostras para teste de dureza.



Fonte: Os autores

Na Figura 6 é possível visualizar os corpos de prova já moldados em baquelite no diâmetro de 30 mm através de uma prensa embutidora metalográfica Arotec PRE-305. Após a moldagem fez-se o lixamento através de lixas d'água de granulometria diferentes, iniciadas gradativamente por 220, 400, 600, 800 e 1500 Mesh, seguido de polimento realizado por feltro e fluido polidor alumina, a fim de eliminar da superfície de ensaio quaisquer marcas e sulcos provenientes do processo de lixamento conforme a norma ABNT NBR 13284 para preparação de corpos de prova.

Figura 6. Amostras em baquelite.



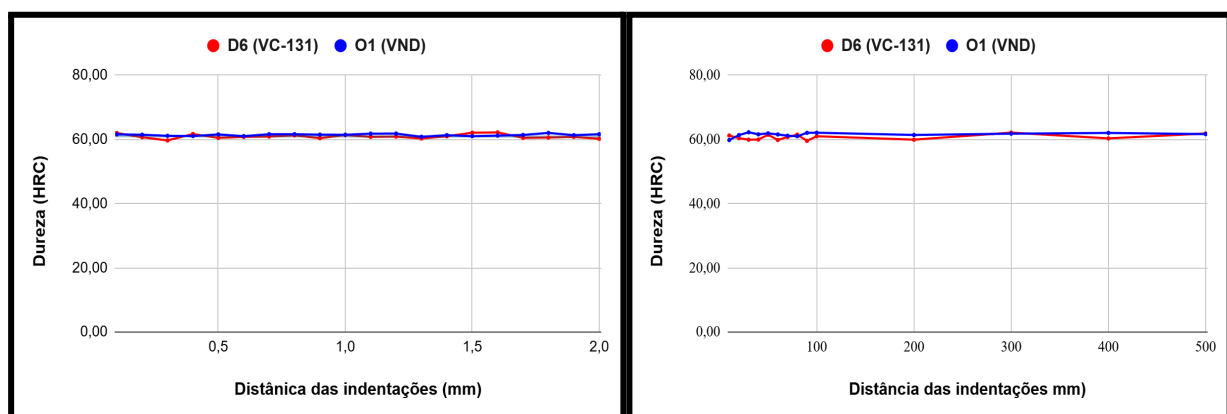
Fonte: Os autores

Os testes de microdureza foram realizados em microdurômetro, modelo FM - 800, com carga de 500 g por 10 s. O ensaio de perfil radial iniciou a 100 μm do gume cortante (ponta da faca) e foram realizadas 15 indentações para o interior da faca, sendo as dez primeiras com intervalos de 100 μm e as 5 seguintes com intervalo de 1000 μm . O perfil longitudinal foi realizado transversalmente a 6 mm do gume da faca. Foram realizadas 20 indentações com intervalo de 200 μm , varrendo toda a seção da faca (Figura 6).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do perfil de microdureza indicaram que houve pouca variabilidade tanto em direção transversal (Gráfico 1) como radial (Gráfico 2). Foram obtidas médias de 60,91 HRC para o aço AISI D6 e 61,48 HRC para o aço AISI O1. Podendo afirmar que o processo de têmpera foi efetivo em todo o material, produzindo uma microestrutura homogênea.

Gráfico 1 - Dureza seção transversal (esquerda) e dureza da seção radial (direita).



Fonte: os autores.



Os valores obtidos para o coeficiente médio de atrito estão expressos na tabela 2. Nota-se que em média absoluta, os valores do coeficiente de atrito para o aço AISI O1 foram maiores quando comparados ao aço AISI D6.

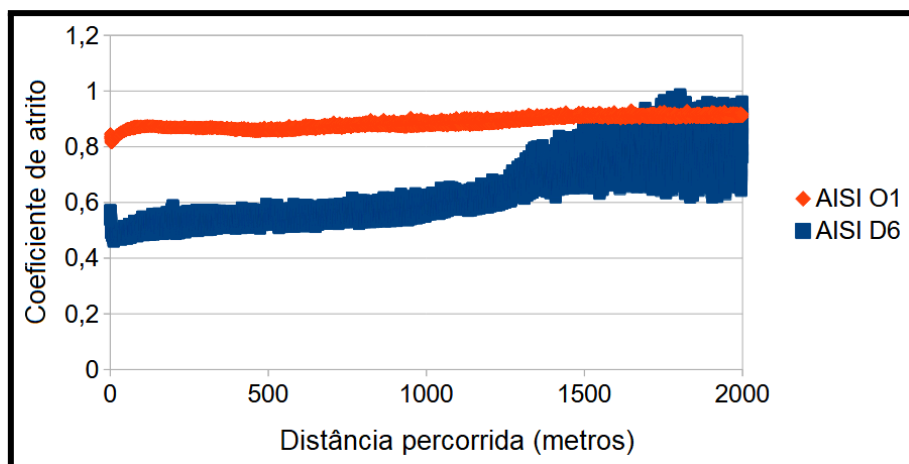
Tabela 2. Coeficiente médio de atrito.

	AISI D6	AISI O1
MÉDIA	0,6701	1,079
DESVIO PADRÃO	0,2550	0,4874

Fonte: Os autores

O Gráfico 2 mostra os resultados do coeficiente de atrito em função da distância percorrida para os dois tipos de facas. Para o aço AISI D6 o coeficiente de atrito apresentou um aumento gradual do valor e da amplitude com o avanço da distância percorrida. Essa característica do aumento da amplitude ocorre em aproximadamente 1250 metros após o início do ensaio. Esse fato pode ser explicado por um possível processo adesivo. Já o aço AISI O1 o valor do coeficiente de atrito se manteve praticamente constante durante todo o ensaio.

Gráfico 2 - Evolução do atrito por distância do teste AISI D6.



Fonte: Os autores.

A Tabela 3 apresenta os valores de perda de massa na faca e no disco e também a largura de pista no disco após o ensaio de desgaste. As facas produzidas com o aço AISI D6 tiveram perda de massa maior que as facas de aço AISI O1. Foi verificado que os valores de largura de pista dos discos D6 com facas O1 foi menor que os do disco D6 com facas D6, porém a perda de massa dos discos D6 com facas O1 foi maior. Esse fato poderia ser explicado por material que ficou aderido a pista de rolamento.

Tabela 3: Perda de massa e largura de pista.

material faca	PERDA DE MASSA FACA (g)		PERDA DE MASSA DISCO (g)		LARGURA DE PISTA DISCO (mm)	
	D6	O1	D6	O1	D6	O1
Média	0,0021	0,0011	0,0016	0,0020	0,557	0,358
Desv. Pad	0,0007	0,0005	0,0008	0,0007	0,169	0,097

Fonte: os autores.

Os resultados obtidos na verificação do desgaste do gume cortante podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4: Desgaste analisado por imagem.

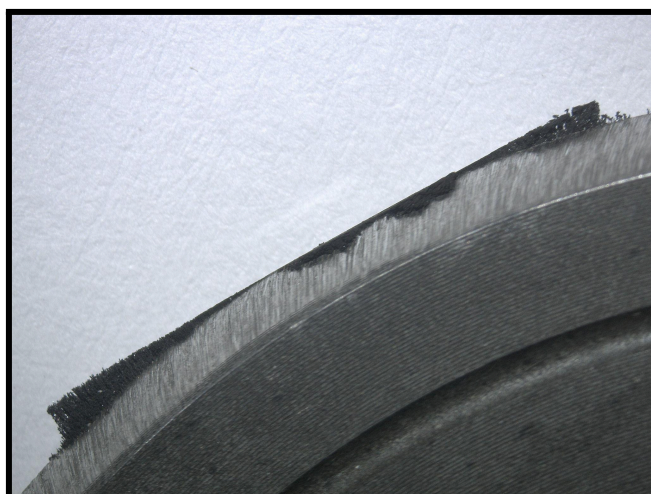
	Largura (mm)		Comprimento (mm)		Área (mm ²)	
	D6	O1	D6	O1	D6	O1
Média	0,272	0,313	4,524	4,932	0,905	1,148
Desv. Pad	0,083	0,126	0,884	1,365	0,478	0,749

Fonte: os autores.

Em função do desvio padrão, não se pode afirmar que há diferença entre os valores medidos de largura, comprimento e área do desgaste do gume das facas.

Após o ensaio de desgaste foi detectado a presença de debris acumulado nas bordas da faca, conforme Figura 7. Isso poderia indicar que o material desgastado (debris) poderia estar na pista de rolamento causando desgaste abrasivo no processo.

Figura 7. Deposição após ensaios.



Fonte: Os autores.



CONCLUSÃO

De acordo com os resultados discutidos chega-se às seguintes conclusões:

- A dureza de ambos os aços após o processo de têmpera foi efetiva em toda a seção transversal do material atingindo o valor de 61 HRC;
- As facas fabricadas em aço AISI 01 apresentaram menor perda de massa do que as facas fabricadas em aço AISI D6;
- Não foi possível identificar diferença significativa de desgaste por medição de imagem no gume das facas;
- A largura de pista do disco utilizado com a faca de aço AISI D6 foi maior que a largura de pista do disco utilizado com a faca de aço AISI 01;
- O coeficiente de atrito apresentou maior estabilidade quando foram utilizadas as facas em aço AISI 01;

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, levando-se em conta o desgaste, é possível a substituição do aço AISI D6 pelo aço AISI 01 em facas industriais;

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. G133:Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear1. United States: West Conshohocken, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13284: Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica. Brasil: Rio de Janeiro, 1995.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica, volume III. 2ª Ed. São Paulo: Person, 1986.

Muhammad, M.; Javidani, M.; Heidari, M.; Jahazi, M. Enhancing the Tribological Performance of Tool Steels for Wood-Processing Applications: A Comprehensive Review. *Metals* 2023, 13, 1460. <https://doi.org/10.3390/met13081460>. MDPI, Basel, Switzerland.

PASSIFER. AÇO FERRAMENTA. 2024. Disponível em: <https://www.pasifer.com.br/produtos/aco-ferramenta-sae-aisi-o1-h13-d6.php>. Acesso em: 29 mar. 2024.

VILLARES METALS. AÇO FERRAMENTA PARA TRABALHO A FRIO VC 131. Disponível em: <https://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>. Acesso em 29 de Março de 2024.

VILLARES METALS. AÇO FERRAMENTA PARA TRABALHO A FRIO VND. Disponível em: <https://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VND>. Acesso em 29 de Março de 2024.

ZUM-GAHR, K.H. Microstructure and wear of materials, Tribology Series, v.10. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands, 1987.