

ESTUDOS DE CASO ANALISADOS NA DISCIPLINA 'PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIES' NA UTFPR EM FERRAMENTAS SUJEITAS AO DESGASTE

Giuseppe Pintaúde¹

Resumo. Este trabalho apresenta resultados dos estudos de caso analisados pelos alunos da disciplina Proteção de Superfícies do curso de Tecnologia Mecânica da UTFPR, voltados para a fabricação de ferramentas. Os estudos de caso foram baseados em componentes industriais relacionados com a cadeia de ferramentas, moldes e matrizes, que estavam sujeitos a algum tipo de desgaste. A metodologia utilizada incorpora uma abordagem científica baseada na norma DIN 50320. Em cada um dos casos foi proposta uma solução para minimizar o desgaste. Encontrou-se dificuldade em associar os resultados com aqueles publicados na literatura nacional, que além de ser escassa, utiliza uma abordagem empírica que não faz uso do conceito sistêmico, necessário para a análise de componentes sujeitos ao desgaste.

Palavras-Chave: Desgaste, Seleção de materiais, Educação continuada.

Abstract: This paper presents results of the case studies performed by the students of the discipline Surface Protection of the Mechanical Technology Course at UTFPR, related with tools manufacturing. The cases were based in industrial components related with the manufacturing branch of tools, dies and molds, which were subject to some kind of wear. The employed methodology incorporates a scientific approach based on the DIN 50320 Standard. In each one of these cases a solution was proposed to minimize the wear. Some difficulty was found to associate the results with those published in Brazilian literature, which uses an empirical approach that does not consider the systemic concept, necessary to analyze components subject to wear.

Keywords: wear, materials selection, continued education.

¹ Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professor do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
e-mail: pintaude@cefetpr.br

1. Introdução

O Departamento Acadêmico de Mecânica DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR (antigo Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado do Paraná, CEFET-PR) administra três cursos de graduação, sendo eles dois de Tecnologia e o de Engenharia Industrial Mecânica.

A disciplina Proteção de Superfícies faz parte da grade curricular da Tecnologia em Mecânica, modalidade Gestão da Manufatura, ministrada pela Área de Materiais do DAMEC. O ementário da mesma é:

- 1 - *propósito dos revestimentos;*
- 2 - *tipos e aplicações dos revestimentos;*
- 3 - *métodos de aplicação dos revestimentos;*
- 4 - *análise e seleção de revestimentos;*
- 5 - *propósito da transformação superficial;*
- 6 - *processos de transformação superficial;*
- 7 - *métodos de aplicação da transformação superficial;*
- 8 - *análise e seleção dos processos de transformação superficial.*

No início de cada semestre letivo, os alunos recebem um desafio: propor soluções alternativas para um componente desgastado. Este desafio deve ser cumprido num período de 4 a 5 semanas.

Este trabalho apresenta estudos de caso analisados em sala-de-aula pelos alunos. Os temas são voltados para a seleção de ferramentas em operações de corte, facas circulares e punção. Discute-se a necessidade de aplicação da metodologia na indústria, a falta de literatura nacional na área e, também, a necessidade de se reproduzir em laboratório os mecanismos de desgaste encontrados na prática industrial.

2. Metodologia

A metodologia proposta e aplicada aos projetos apresentados pelos alunos têm como referência básica às diretrizes da DIN 50320 – Análise Sistemática dos Processos de Desgaste e Classificação dos Fenômenos de Desgaste (1997). Felizmente, a Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais disponibilizou, em 1997, este material em português, possibilitando um fácil acesso às informações contidas neste documento, pois o original se encontra em alemão.

Uma distinção a ser realizada pelos alunos é a de propriedades relevantes de cada um dos elementos e variáveis operacionais do sistema tribológico (Fig. 1). A DIN 50320 é clara neste aspecto, ilustrando com exemplos o papel de variáveis operacionais como força normal e velocidade. Mesmo assim, nota-se que muitos

alunos confundem o que venha a ser “variáveis operacionais” e “propriedades dos elementos”, dificuldade esta que é sanada no decorrer do curso.

Posteriormente, os alunos são encorajados a exercitarem a quantificação do desgaste, que consiste em: (i) ensaios de desgaste em campo; (ii) ensaios de desgaste em laboratório e; (iii) modelagem matemática. O material utilizado para esta finalidade é o livro-texto Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials (Hutchings, 1992).

Por fim, os alunos caracterizam o desgaste dos componentes, utilizando como material de apoio, a palestra proferida pelo professor Peter Blau em 2001, no 15th International Congress on Wear of Materials (Tab. 1) e os recursos disponíveis no Laboratório de Superfícies e Contato – LASC, da UTFPR, que são a microscopia óptica com baixo aumento e a rugosidade com apalpador mecânico, associados com programas computacionais, que facilitam a quantificação das medidas.

FIGURA 1. Definição de sistema tribológico (DIN 50320, 1997).

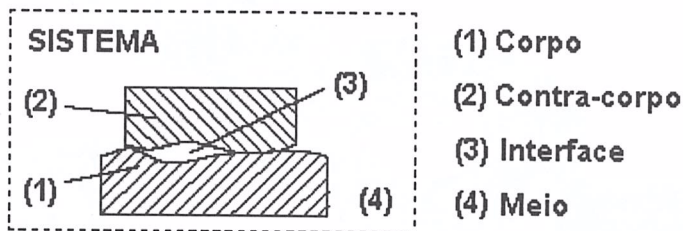


TABELA 1. Classificação dos tipos de monitoramento do desgaste (Tutorial 15th Wear of Materials, 2001).

MÉTODOS DIRETOS	MÉTODOS INDIRETOS
Observação da superfície (ex. aumento do brilho)*	Vibração de um eixo
Medidas de rugosidade*	Análise de óleo (Ferrografia)
Perda de massa	Torque e/ou corrente de motor
Sensores de deslocamento	

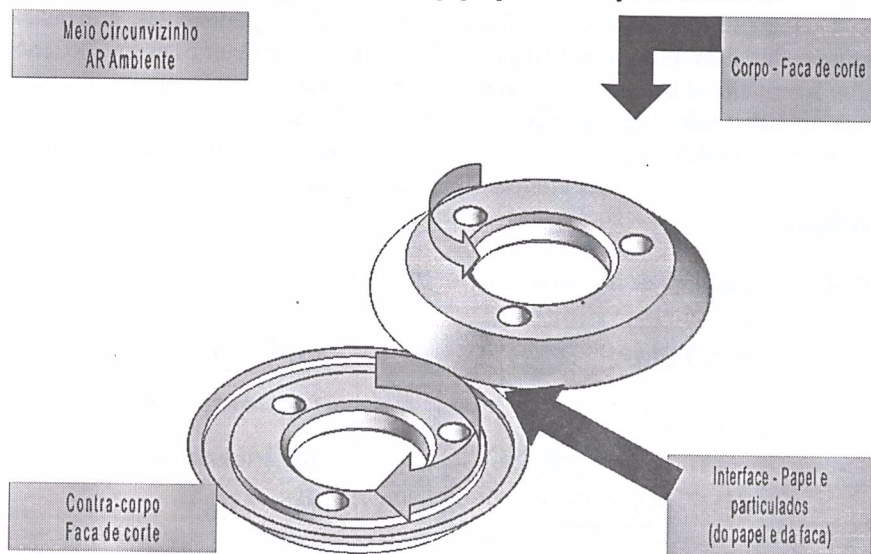
*utilizadas neste trabalho.

3. Resultados

CASO 1 – Corte de papel por facas circulares fabricadas em aço AISI D6

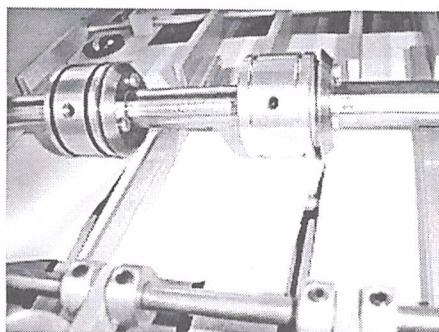
A Figura 2 apresenta o sistema tribológico de corte de papel por meio de facas circulares.

FIGURA 2. Sistema tribológico de corte de papel por meio de facas circulares.



O sistema tem por objetivo cortar folhas de papel, com gramatura variando de 75 g/m² a 150 g/m². Este objetivo é alcançado por meio de um processo em que a folha é tracionada na direção de duas facas circulares de corte, que giram em sentidos opostos entre si e faceadas uma contra a outra. A folha passa entre as mesmas, ocorrendo o corte. A Fig. 3 mostra uma fotografia do processo.

FIGURA 3. Papel sendo cortado pelas facas circulares.



As facas circulares operam com uma área de contato pontual, quando novas, sujeitas a uma força de contato que varia de 8 a 12 N e uma rotação de 510 rpm. O ciclo de trabalho diário é de 12 h. Estas condições fazem com que as facas possuam um tempo de vida útil de aproximadamente 2500 h.

Descrição dos tribo-elementos

➤ **Corpo e contra-corpo: FACA CIRCULAR DE CORTE**

As facas circulares possuem um gume de corte com ângulo de 40°, diâmetro entre 47 e 48 mm e são fabricadas em aço AISI D6, temperado e revenido com dureza entre 58 e 60 HRC. São afiadas por retífica, de modo que a rugosidade média (Ra) atinja a faixa entre 0,2 a 0,8 μ m.

➤ **Interface: PAPEL**

A gramatura do papel cortado é de 75 ou 150 g/m² e é constituído por massa celulósica, carbonato e sulfato de microsílca, constituintes que podem ter uma dureza de aproximadamente 1000 HV.

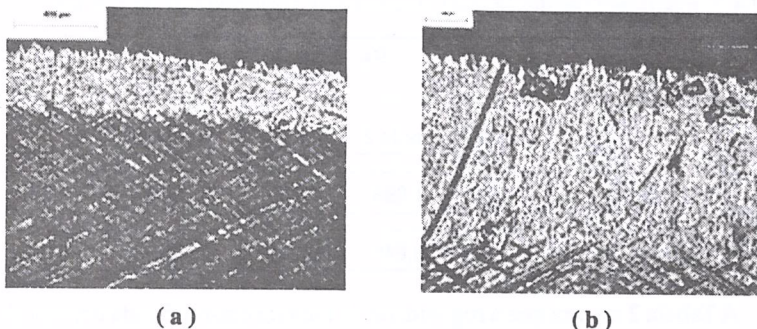
➤ **Meio: AMBIENTE CLIMATIZADO**

As condições ambientes são controladas de forma que a umidade relativa do ar varie entre 45 e 55% a temperatura entre 18 e 22°C.

Caracterização do desgaste

A Figura 4 apresenta a micrografia da superfície original e desgastada das facas circulares.

FIGURA 4. Micrografias do gume de corte da faca: (a) região desgastada e região original retificada; (b) ampliação da região desgastada.



A Figura 4 mostra que houve desgaste ocasionado por abrasão, devido à presença do papel no meio interfacial e ao próprio contato entre as facas. Pode-se considerar um outro agente abrasivo, o material arrancado da superfície da faca (Figura 4b, crateras), que possui maior dureza que a matriz do aço AISI D6, pois foi

deformado plasticamente. Da mesma forma, este material possui carbonetos de elevada dureza, que potencializam este processo.

A Figura 5 apresenta a distribuição das frequências de alturas de rugosidade antes e após o processo de desgaste dos gumes de corte das facas.

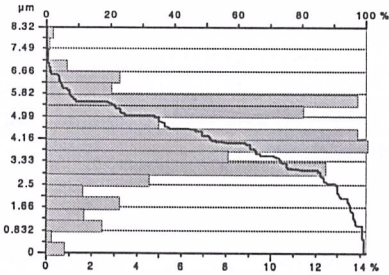


FIGURA 5 a) Frequência de altura das asperezas na superfície antes do processo de desgaste.

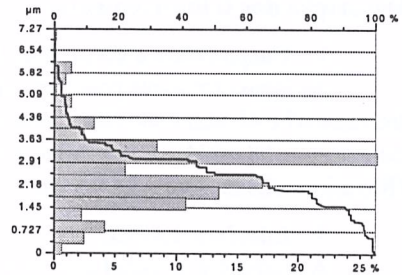


FIGURA 5 b) Frequência de altura das asperezas na superfície após o processo de desgaste.

Percebe-se com a comparação entre as Figs. 5a e 5b que houve uma quebra ou deformação dos picos de rugosidade, pois a faca recém-retificada possui asperezas que chegam a alcançar 8 mm, enquanto a faca desgastada possui picos que raramente ultrapassam 5 mm. Na Fig. 5a tem-se que, aproximadamente, 67% das asperezas estão acima de 3,5 mm, enquanto na Fig. 5b, 19% das asperezas ultrapassam 3,5 mm de altura.

A Tabela 2 apresenta os valores médios de rugosidade das regiões analisadas da faca circular.

TABELA 2. Rugosidade média (Ra) da faca circular analisada (cut-off 0,8 mm).

SUPERFÍCIE	Ra [µm]				Ra médio [µm]
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	
Recém -Retificada	1,070	1,086	0,756	1,280	1,048
Desgastada	0,763	0,646	0,771	0,658	0,709

A Tabela 2 mostra que a rugosidade da faca recém-retificada é maior do que a especificada no projeto.

CASO 2 – Puncionamento de chapa de aço AISI 1020 por ferramenta fabricada em aço AISI D2

A Figura 6 apresenta o sistema tribológico de corte de chapa por meio de punçamento.

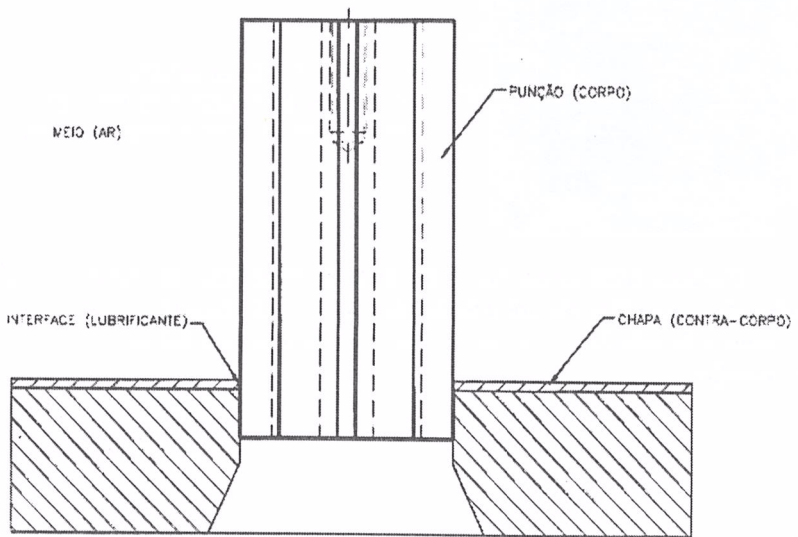


FIGURA 6. Sistema tribológico de corte de chapa por meio de punçamento.

Os punções operam com golpes a velocidade constante de 10 mm/s, sujeitas a uma força de corte aproximada de 120 N (1203,2 kgf). O ciclo de trabalho diário é de 12.000 golpes.

Descrição dos tribo-elementos

➤ **Corpo: PUNÇÃO**

Fabricado em aço ferramenta AISI D2 temperado e revenido, com dimensões de 17,4 x 47 x 87,3 mm. A dureza foi medida diretamente na peça, obtendo-se valor médio de $56,7 \pm 0,3$ HRC. Este punção foi usinado por eletroerosão a fio, obtendo-se as dimensões apresentadas na Fig. 7, onde também estão apresentadas as regiões selecionadas para medidas de rugosidade.

- **Contra-corpo: CHAPA DE AÇO SAE 1020 (dureza entre 130 e 165 HB).**
- **Interface: operação realizada com LUBRIFICANTE.**
- **Meio: AMBIENTE SEM CONTROLE DE UMIDADE E/OU TEMPERATURA.**

Caracterização do desgaste

A Figura 8 apresenta a micrografia da superfície desgastada do punção.

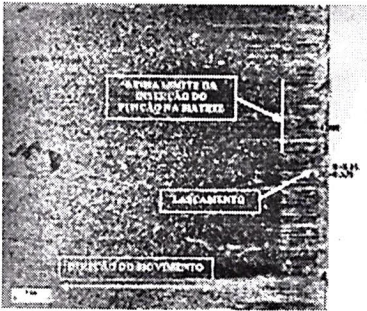


FIGURA 8. Micrografia da superfície desgastada do punção. Está indicada a região limite de contato entre o punção e a chapa.

Pode-se observar na Fig. 8 um riscamento intenso na região de contato, indicando a presença de um agente abrasivo, o que diminui a possibilidade de ocorrência de adesão. Além disso, observam-se pequenas lascas nesta superfície de trabalho.

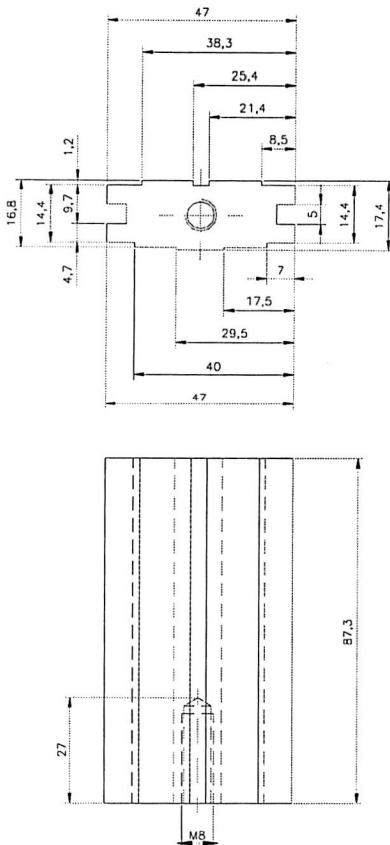
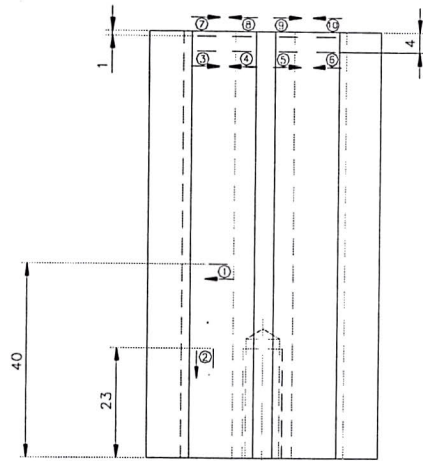


FIGURA 7 a) Dimensões do punção.



- 1 e 2 => região 1
- teoricamente sem desgaste
- de 3 a 6 => região 2
- movimento em contato com produto
- de 7 a 10 => região 3
- movimento em contato com a matriz

FIGURA 7 b) Regiões selecionadas para medidas de rugosidade.

A Tabela 3 apresenta os valores médios de rugosidade das regiões analisadas do punção.

TABELA 3. Rugosidade média (Ra) [µm] do punção analisado (cut-off 0,8 mm).

Região	Valores pontuais das medidas [mm]
1	0,7; 0,74.
2	0,7; 0,38; 0,22; 0,51.
3	0,35; 0,39; 0,32; 0,21.

Os resultados da Tab. 3 mostram que há uma queda nos valores de rugosidade do punção, à medida que as mesmas sejam feitas mais próximas da região de contato com a chapa.

4. Discussão e considerações finais

Os casos apresentados, embora sejam sistemas diferentes, apresentaram um grande número de semelhanças.

Observações foram realizadas em sala-de-aula a respeito do processo de preparação da superfície a ser usinada, seja por retífica, seja por eletroerosão a fio. Ambos processos são causadores de modificações na rugosidade inicial, uma variável que deve ser controlada e certamente carece de análise sistematizada em materiais sujeitos ao desgaste (Leite & Pintaúde, 2005). Além disso, esses processos podem causar aquecimentos locais na superfície com diversos desdobramentos, desde transformações de fase até introdução de tensões residuais.

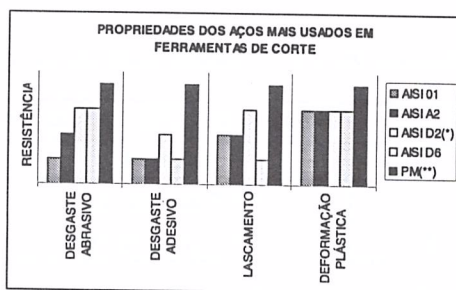
Outra semelhança entre os sistemas diz respeito à queda nos valores de rugosidade nas regiões desgastadas, provavelmente por deformação plástica das asperezas em contato. O processo de deformação plástica pode ser decorrente da ação abrasiva, que gera micro-corte das asperezas. O agente causador da abrasão não foi investigado com detalhe, mas conferido este papel a particulados (carga mineral do papel e poeira no caso do punção).

Além desse mecanismo, foi observado lascamento em regiões próximas às superfícies.

Resultados sobre esses efeitos foram pesquisados pelos alunos na Internet como exemplifica a Fig. 9 (Yoshida, 2005), na qual se nota a ausência das seguintes informações:

- descrição do ensaio laboratorial realizado e;
- falta de inter-relação entre os modos de falha observados (a deformação plástica pode ter sido consequência do processo abrasivo).

FIGURA 9. Desempenho de aços usados para ferramentas (Yoshida, 2005).



Embora as informações encontradas sejam preciosas em relação aos dois casos analisados, seria extremamente útil que a academia brasileira auxiliasse a cadeia de ferramentas, moldes e matrizes, divulgando material suficiente para que a classificação dos fenômenos de desgaste possua uma linguagem comum.

Por outro lado, as indústrias do setor poderiam levar mais casos a serem analisados por grupos de pesquisa em tribologia, de modo que seja possível reproduzir os mecanismos de desgaste atuantes em laboratório (De Mello & Camioto, 2005). Isto propiciaria rapidez de informação na seleção de materiais resistentes e maior entendimento dos mecanismos de desgaste de ferramentas.

5. Referências

DE MELLO, J.D.B.; CAMIOTO, L. M. Resistência ao desgaste de aços inoxidáveis para cutelaria industrial. *Revista Eletrônica Horizonte Científico - UFU*, vol. 4, 2005, pp. 1-11.

HUTCHINGS, I.M. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*, London: Edward Arnold, 1992.

LEITE, M.V.; PINTAÚDE, G. Effect of initial surface roughness on wear mechanisms of contact fatigue – tests with austempered ductile iron, *Proceedings of the 18th Int. Congress of Mechanical Engineering*, Ouro Preto/MG, 6 to 11 november 2005, ABCM. Paper 2005-0744, Cd-Rom.

Norma DIN 50320: Análise Sistemática dos Processos de Desgaste. Classificação dos fenômenos de desgaste. *Metalurgia e Materiais*. 1997, pp. 619-622.

Tutorial course of “15th Int. Congress on Wear of Materials”, Vancouver, 2001.

YOSHIDA, S. Seleção de aços e tratamentos térmicos para ferramentas de conformação a frio – estamparia. <http://www.brasimet.com.br/artigos/estamparia-modif..pdf>.

6. Termo de responsabilidade

O autor é o único responsável pelo material impresso incluído neste artigo.