



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Elementos de Máquinas para Automação

PMR 3307 – A11

Falha por desgaste excessivo

2020.2



Cronograma de aulas

Dia	S	Aula	Tópico	Prof.
18.08	3ª	A1	Introdução a disciplina Modelagem, carregamento e equilíbrio	RS
21.08	6ª	A2	Comportamento mecânico dos materiais	RS
25.08	3ª	A3	Composição de tensões Estado plano de tensões – Círculo de Mohr	RS
28.08	6ª	A4	Teorias de Falha: 1) Falha por deformação excessiva; fundamentos	RS
01.09	3ª	A5	Teorias de Falha: 2) Falha por deformação permanente: von Mises, Tresca, Coulomb-Mohr;	RS
04.09	6ª	A6	Teorias de Falha: 3) Falha por fadiga: Parte - 1	RS
08.09	3ª	A7	Teorias de Falha: 3) Falha por fadiga: Parte - 2	RS
11.09	6ª	A8	Teorias de Falha: 4) Falha por instabilidade: flambagem	RS
15.09	3ª	A9	Teorias de Falha: 5) Falha por impacto: Parte - 1	RS
18.09	6ª	A10	Teorias de Falha: 6) Falha por impacto: Parte - 2	RS
22.09	3ª	A11	Teorias de Falha: 6) Falha por desgaste excessivo	RS
25.09	6ª	A12	Fixações cubo-eixo	NG
29.09	3ª	A13	Especificação e dimensionamento de elementos de fixação: Rebites	NG
02.10	6ª	A14	Especificação e dimensionamento de elementos de fixação: Parafusos: Parte - 1	NG
06.10	3ª	A15	Especificação e dimensionamento de elementos de fixação: Parafusos: Parte - 2	NG
09.10	6ª	A16	Especificação e dimensionamento de elementos de transmissão: Fusos	NG
13.10	3ª	A17	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Mancais: Parte - 1	NG
16.10	6ª	A18	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Mancais: Parte - 2	NG
20.10	3ª	A19	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Molas: Parte - 1	NG
23.10	6ª	A20	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Molas: Parte - 2	NG
27.10	3ª	A21	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Freios e embreagens	NG
30.10	6ª	A22	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Correias e Correntes	NG
03.11	3ª	A23	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Engrenagens: Parte - 1	RS
06.11	6ª	A24	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Engrenagens: Parte - 2	RS
10.11	3ª	A25	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Engrenagens: Parte - 3	RS
13.11	6ª	A26	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Engrenagens: Parte - 4	RS
17.11	3ª	---	Feriado municipal – Consciência Negra	
20.11	6ª	A27	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Guias de escorregamento	RS
24.11	3ª	A28	Análise e dimensionamento de componentes mecânicos: Guias lineares	RS
27.11	6ª	A29	Apresentação dos trabalhos	RS
01.12	3ª	A30	Apresentação dos trabalhos	
04.12	6ª	A29	Apresentação dos trabalhos	
08.12	3ª	A30		
11.12	6ª	A31		
14.12	2ª		Encerramento do semestre 2020-2	



Tópicos

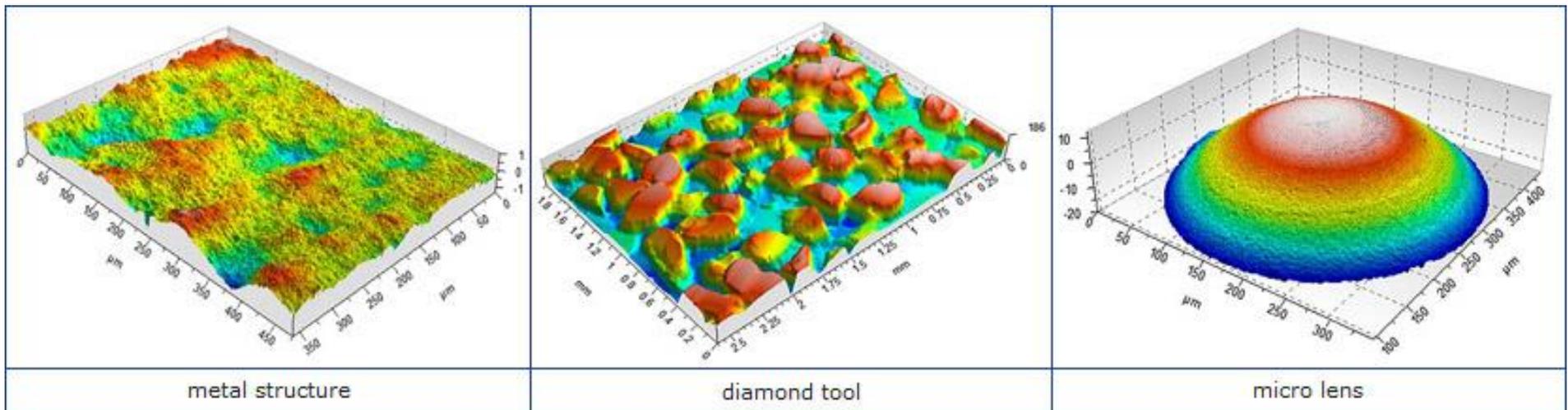
- ▶ Fundamentos
- ▶ Superfícies
- ▶ Atrito
- ▶ Desgaste



Fundamentos

Natureza das superfícies

Segundo Schmaltz, o conceito de superfície está fortemente relacionado com a noção espacial de interior e exterior, ou seja uma superfície é caracterizada por delimitar um espaço fechado.

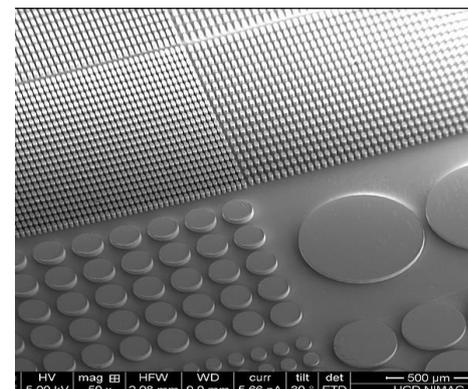
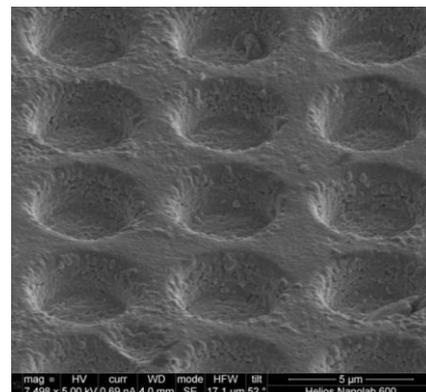
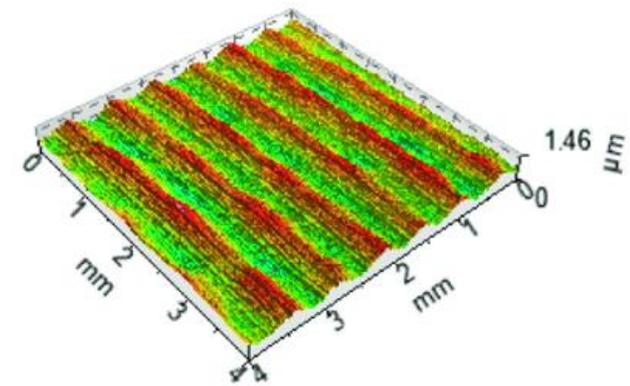
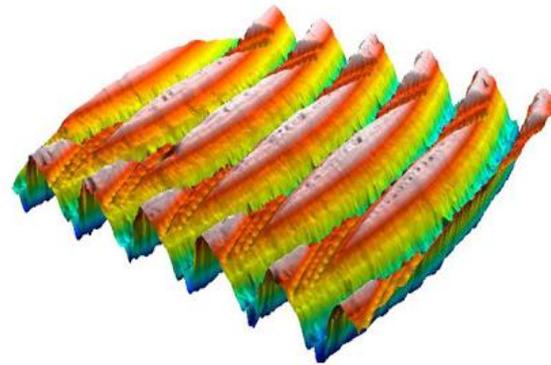
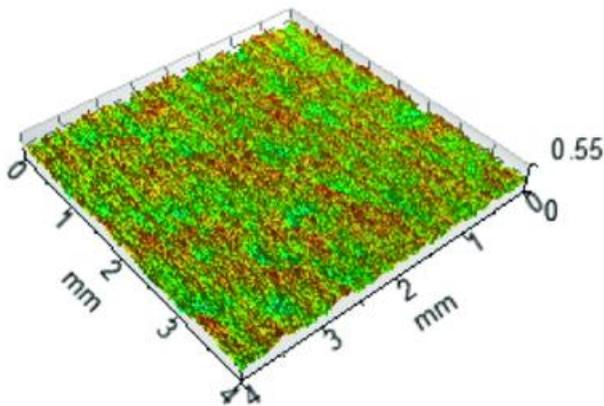




Fundamentos

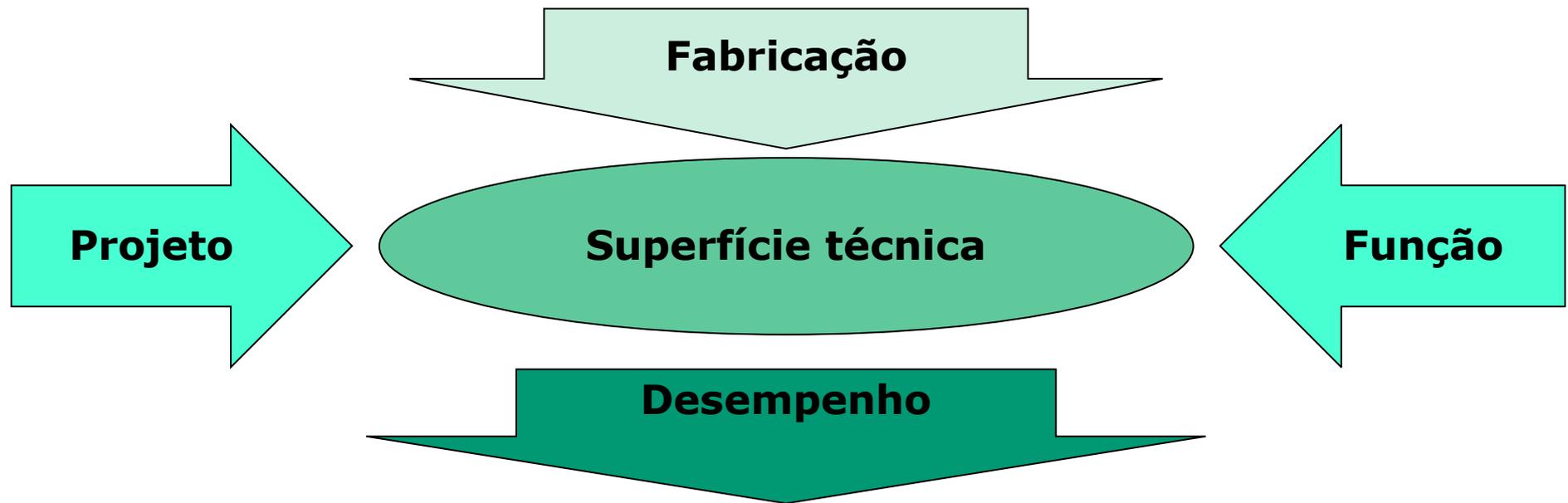
Natureza das superfícies

Desta forma pode-se definir superfície técnica como a superfície de corpos que apresentam uma utilização técnica.





Natureza das superfícies técnicas



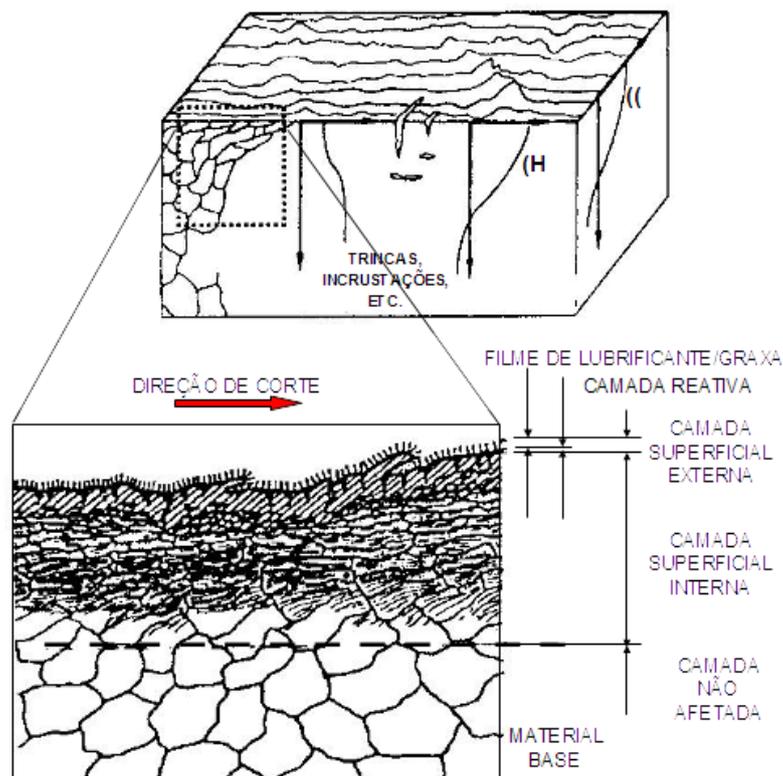


Natureza das superfícies

A natureza das superfícies metálicas é uma consequência direta do processo de fabricação.

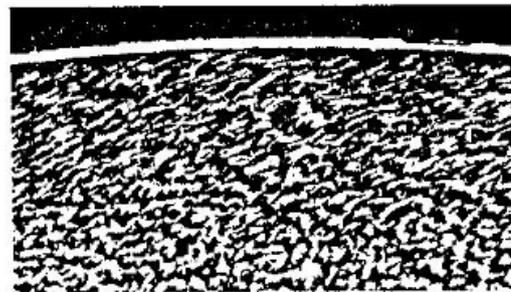
• Em geral, a estrutura de uma superfície metálica é constituída das seguintes camadas:

- Camada de sujeira ==> aprox. 3 nm;
- Camada de adsorção ==> aprox. 0,3 nm;
- Camada oxidada ==> 1 a 10 nm;
- Camada deformada ==>> 5 um



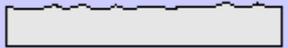
ESTRUTURAMETALGRÁFICA:

ATAQUE DE UM CORTE DE UMA SUPERFÍCIE DEFORMADA





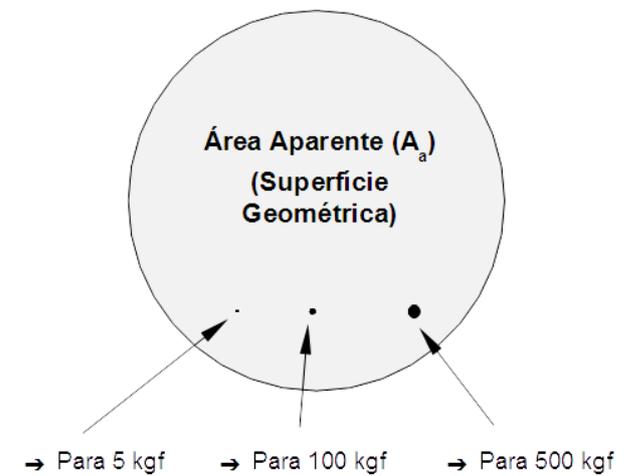
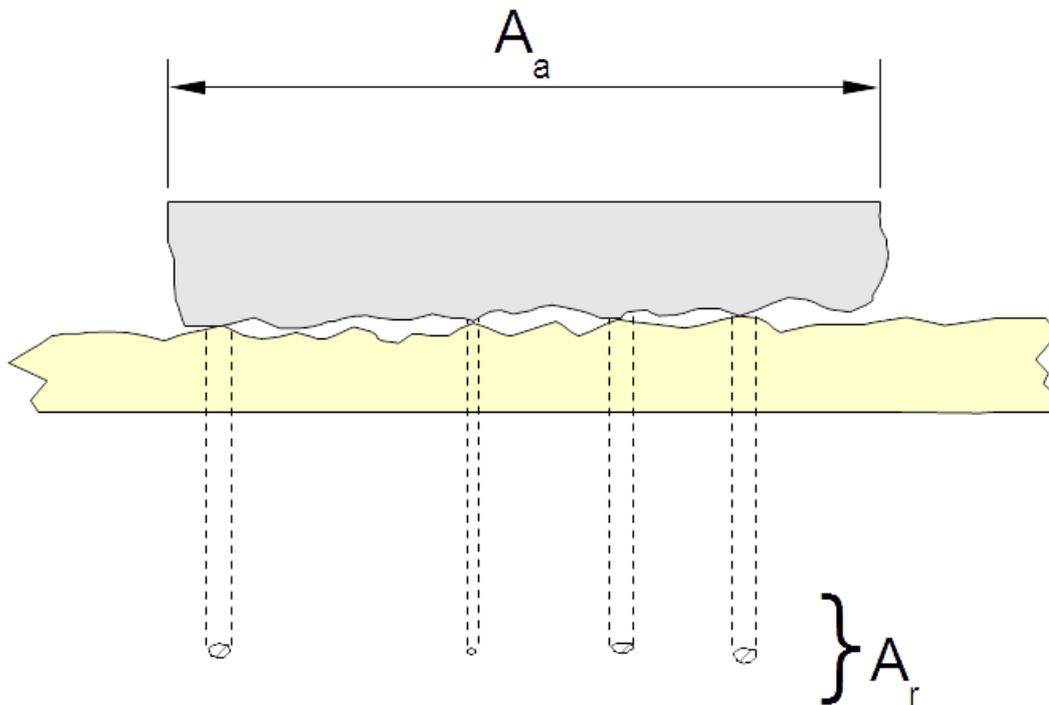
Natureza das superfícies

DESMOS DE FORMA (SEÇÃO DE PERFIL)	EXEMPLO PARA OS TIPOS DE DESMOS	EXEMPLO PARA A CAUSA DA ORIGEM DO DESVIO
1ª ORDEM: DESVIO DE FORMA 	NÃO PLANO OVALADO	DEFEITO EM GUIAS DE MÁQUINAS-FERRAMENTAS, DEFORMAÇÕES POR FLEXÃO DA MÁQUINA OU DA PEÇA, FIXAÇÃO ERRADA DA PEÇA, DEFORMAÇÕES DEVIDO A TEMPERATURA, DESGASTE
2ª ORDEM: ONDULAÇÃO 	ONDAS	FIXAÇÃO EXCÊNTRICA OU DEFEITO DE FORMA DE UMA FRESA, VIBRAÇÕES DA MÁQUINA-FERRAMENTA, DA FERRAMENTA OU DA PEÇA
3ª ORDEM: DESVIO DE FORMA 	RANHURAS	FORMA DO GUME DA FERRAMENTA, AVANÇO OU PROFUNDIDADE DE CORTE
4ª ORDEM: DESVIO DE FORMA 	ESTRIAS ESCAMAS RESSALTOS	PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CAVACO (CAVACO ARRANCADO, CAVACO DE CISALHAMENTO, GUME POSTIÇO DE CORTE), DEFORMAÇÃO DO MATERIAL POR JATO DE AREIA, FORMA RESSALTOS POR TRATAMENTO GALVÂNICO
5ª ORDEM: DESVIO DE FORMA NÃO MAIS REPRESENTÁVEL GRAFICAMENTE EM FORMA SIMPLES	ESTRUTURA	PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO, MODIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE POR AÇÃO QUÍMICA (EX: DECAPAGEM), PROCESSO DE CORROSÃO
6ª ORDEM: DESVIO DE FORMA NÃO MAIS REPRESENTÁVEL GRAFICAMENTE EM FORMA SIMPLES	ESTRUTURA RETICULADA DO MATERIAL	PROCESSOS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ESTRUTURA DO MATERIAL, TENSÕES E DESLIZAMENTOS NA REDE CRISTALINA
		POSIÇÃO DOS DESMOS DE FORMA DE 1ª E 4ª ORDEM



Atrito

Conceito de áreas real e aparente



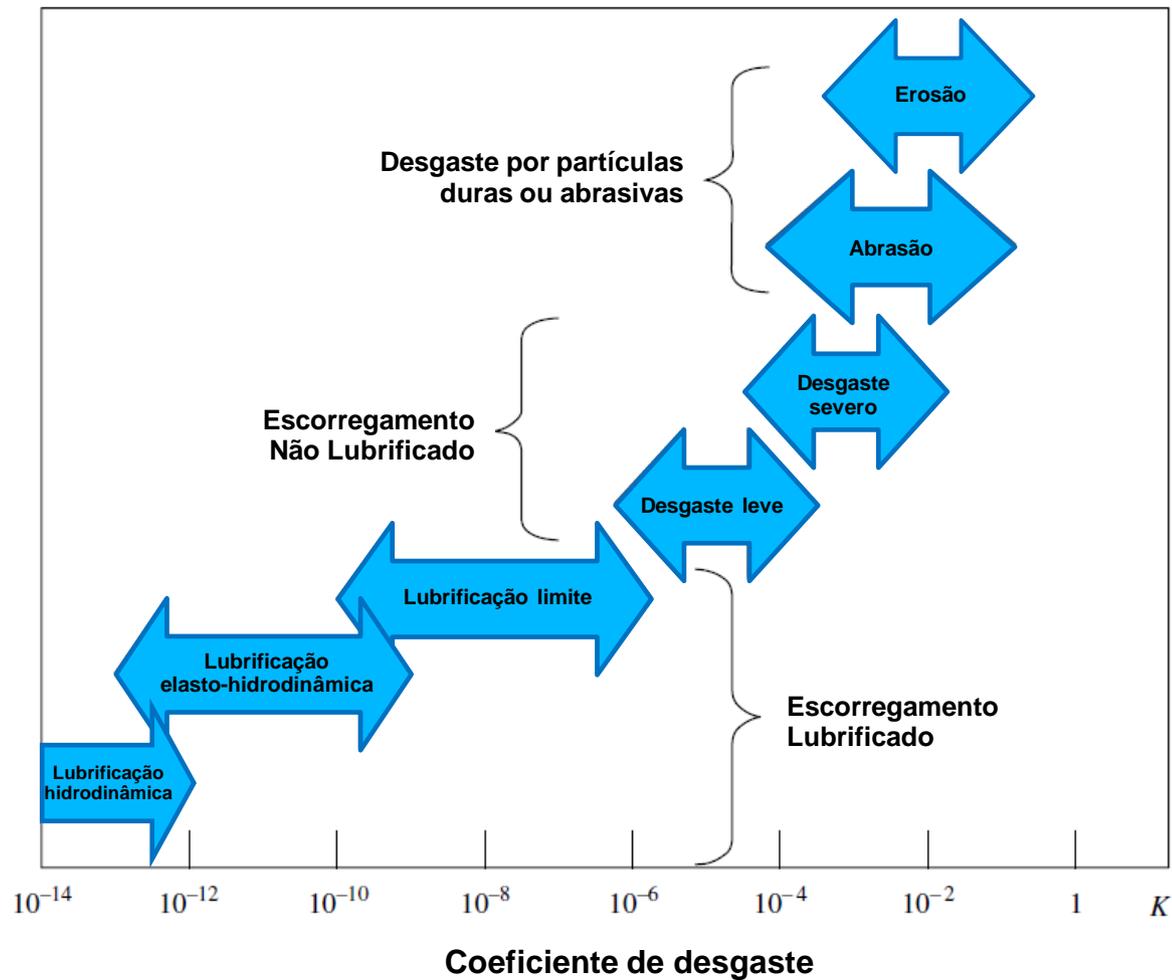
Valores típicos para relação A_r/A_a

Valores típicos para a relação A_r/A_a

Carga (kgf)	A_a (cm ²)	A_r (cm ²)	1/k
500	21	0,05	0,0025
100	21	0,01	0,0005
5	21	0,0005	0,000025
2	21	0,0002	0,00001



Natureza do desgaste



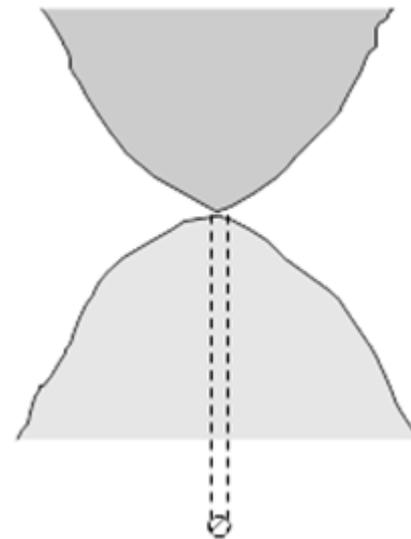


Natureza atrito

Teoria da adesão (Rabinowicz, 1985) considera que as junções surgidas do contato entre asperezas apresentam deformações puramente elásticas em um estado tri-axial de tensões

$$P_e = 3 \sigma_e$$

$$A_r = L / P_e$$

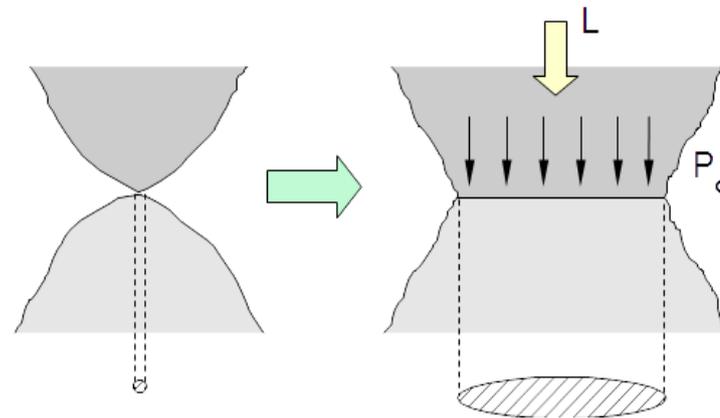




Natureza do Atrito

Teoria da Adesão simplificado

Essa deformação ocasiona um aumento na área de contato até que a área real de contato seja o suficiente para suportara a carga



$$\mu = \tau_e \text{ (tensão cizalhante de escoamento) } / P_e \text{ (pressão de escoamento)}$$

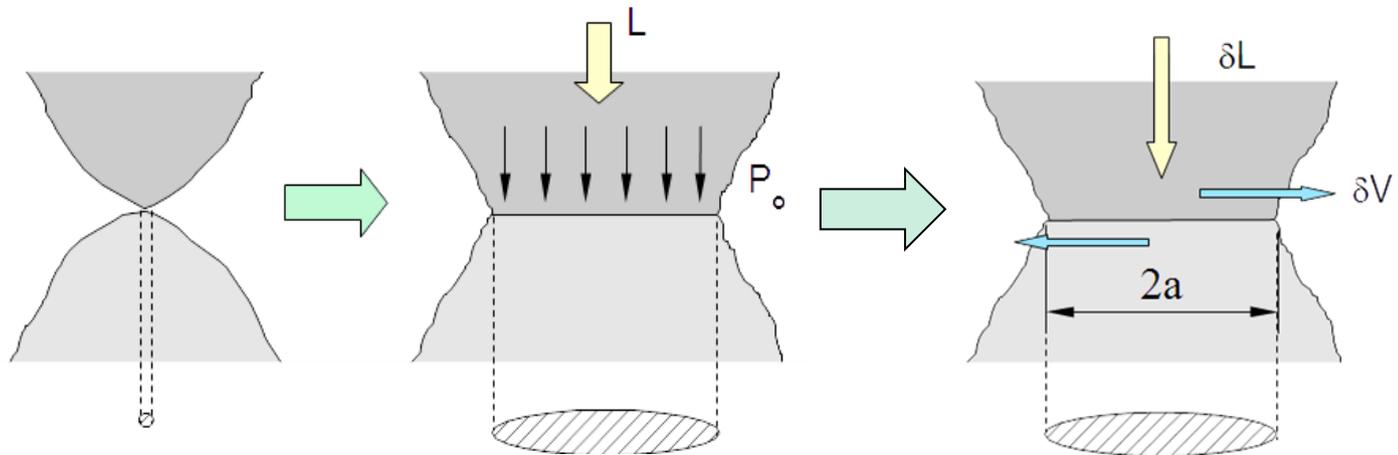
$$\mu = \tau_e \text{ (material mole) } / P_e \text{ (material duro) } \Rightarrow \mu \text{ baixo}$$



Natureza do Atrito

Teoria da Adesão simplificado

Quando do início do deslocamento essas junções tendem a se deformar elasticamente criando uma restrição ao movimento.





Introdução ao desgaste

- ▶ O desgaste nunca recebe a atenção merecida, principalmente quando não é associado ao aspecto econômico
- ▶ Os estudos sobre desgaste são relativamente recentes e uma análise quantitativa desse fenômeno encontra-se em um estágio inicial.
- ▶ As incertezas associadas com previsões de volumes de desgaste são muito grandes de modo que as técnicas hoje utilizadas são mais apropriadas para decidir sobre alternativas de projeto do que tentar prever, com precisão, a vida de um sistema em escorregamento



Definição de desgaste

- ▶ O desgaste é definido como uma mudança cumulativa e indesejável em dimensões motivada pela remoção gradual de partículas discretas de superfícies em contato e com movimento relativo, devido, predominantemente, a ações mecânicas.



Classificação

Quanto a seu mecanismo de ação :

- ▶ por adesão
- ▶ por abrasão
- ▶ por corrosão / oxidação
- ▶ por fadiga superficial

Ainda podemos considerar:

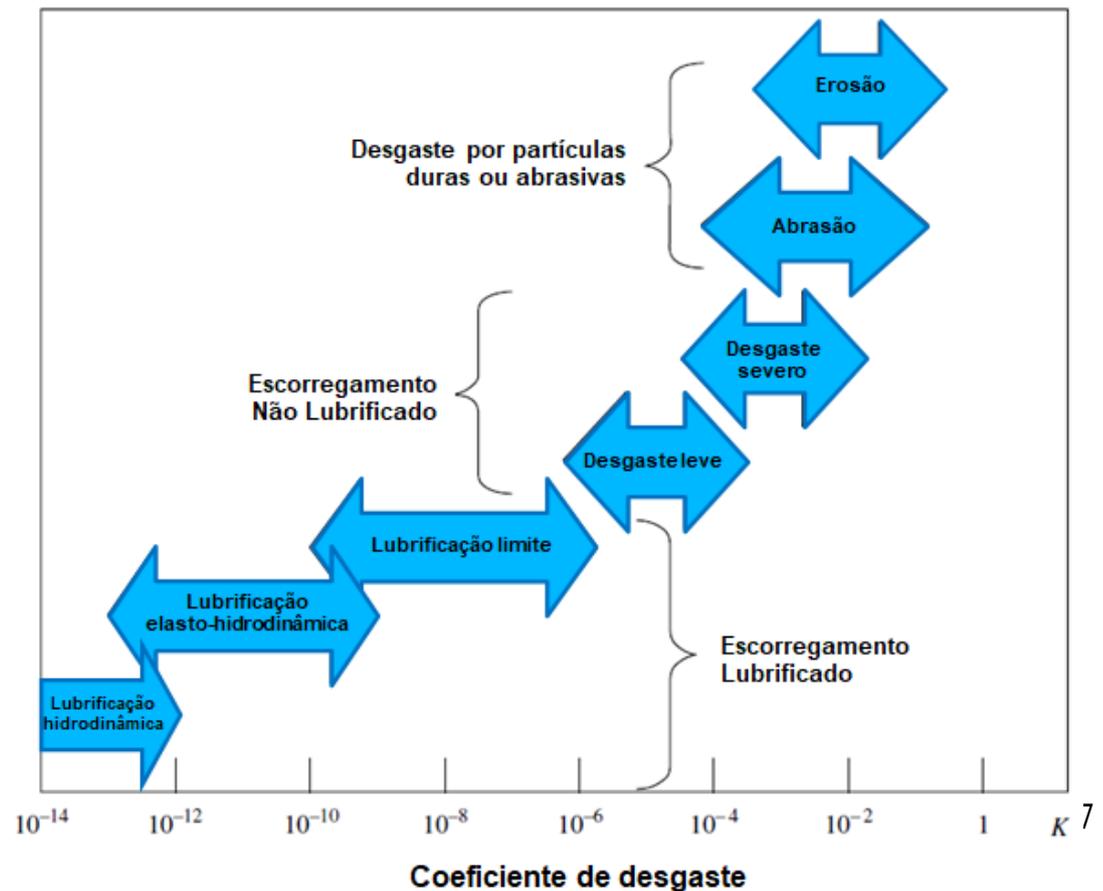
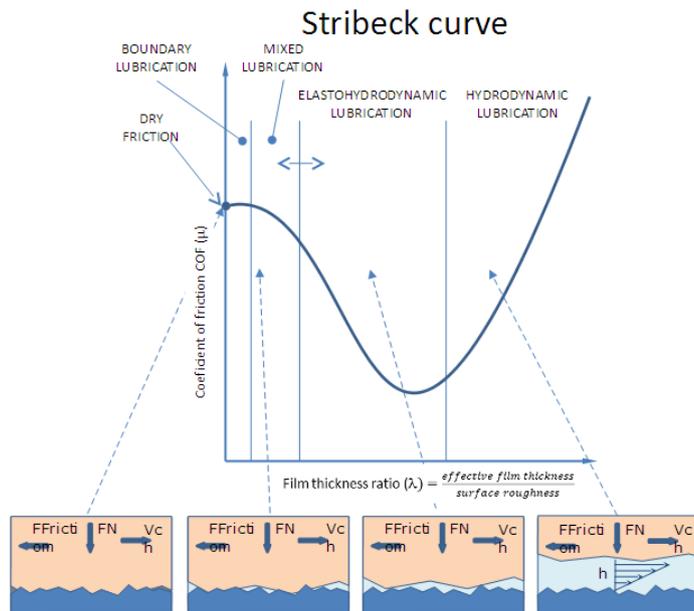
- ▶ Desgaste devido ao *fretting*
- ▶ Desgaste devido ao impacto
- ▶ Desgaste devido erosão
- ▶ Desgaste devido a cavitação



Classificação

Quanto ao volume de material removido na unidade de tempo:

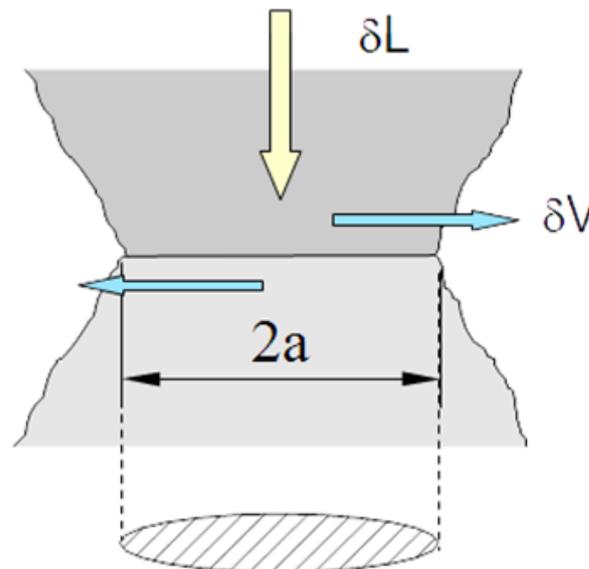
- ▶ desgaste leve
- ▶ desgaste médio
- ▶ desgaste severo





Equação de Archard

- ▶ Ponto de partida para os estudos sobre desgaste é entender a natureza do contato mecânico no nível das asperezas superficiais.
- ▶ A análise do desgaste assume que o material a ser perdido é relacionado com a forma e tamanho da área de contato nas asperezas





Equação de Archard

- A equação de Archard relacionando o desgaste com o carregamento e a dureza da superfície do material, por meio de uma constante K

$$Q = kW$$

onde: $k = \frac{K}{H}$

Assim: $Q = K \left(\frac{W}{H} \right)$

- Q = taxa de desgaste
- W = carregamento
- H = dureza superficial da aspereza mais mole
- K = coeficiente de desgaste dimensional
- k = coeficiente de desgaste adimensional



Equação de Archard

$$Q = K \left(\frac{W}{H} \right)$$

- Q = taxa de desgaste
- W = carregamento
- H = dureza superficial da aspereza mais mole
- K = coeficiente de desgaste dimensional
- k = coeficiente de desgaste adimensional



Considerações sobre a Equação de Archard

- A perda de material através do desgaste deveria ser proporcional ao "comprimento do deslizamento", ou tempo.
 - ▶ Em geral essa afirmação é verdadeira, considerando os efeitos de desgaste de partida.
- O desgaste deveria ser proporcional ao carregamento aplicado.
 - ▶ Essa afirmação é verdadeira, pois exprime as transições entre mecanismos de desgaste com a mudança dos carregamentos.



Considerações sobre a Equação de Archard

- A taxa de desgaste deveria ser independente da área de contato aparente para um dado carregamento, ou para um tensão de contato.
 - ▶ Essa afirmação é em geral verdadeira, a linearidade entre tensão e deformação no regime elástico, e a tensão de contato aumenta linearmente com a área de contato aparente



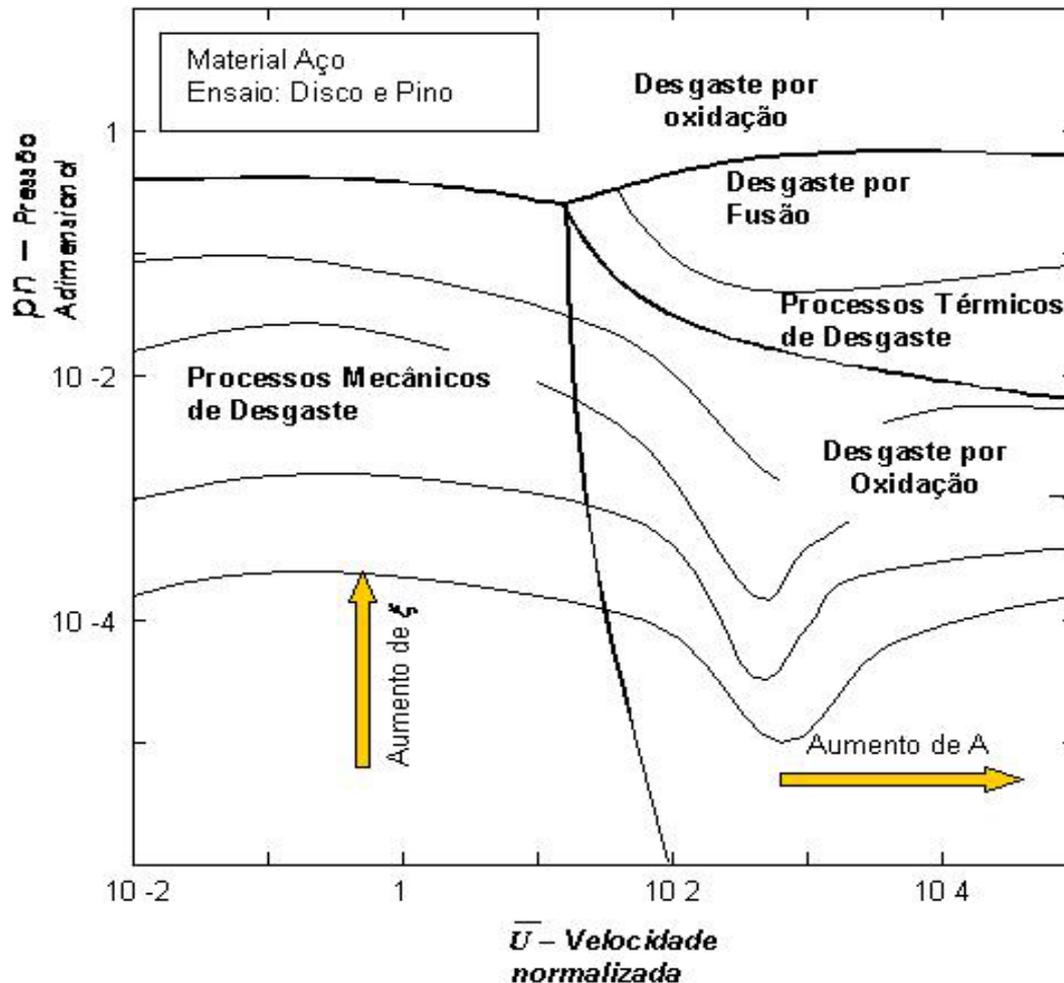
Considerações sobre a Equação de Archard

- A taxa de desgaste independe da velocidade de escorregamento.
 - ▶ Essa afirmação é verdade, assim como o coeficiente de atrito o desgaste depende da velocidade de deslizamento entre as superfícies, e o aumento dessa causa aquecimento e conseqüentemente transição para um novo mecanismo de desgaste.



Desgaste em função do Regime de Operação

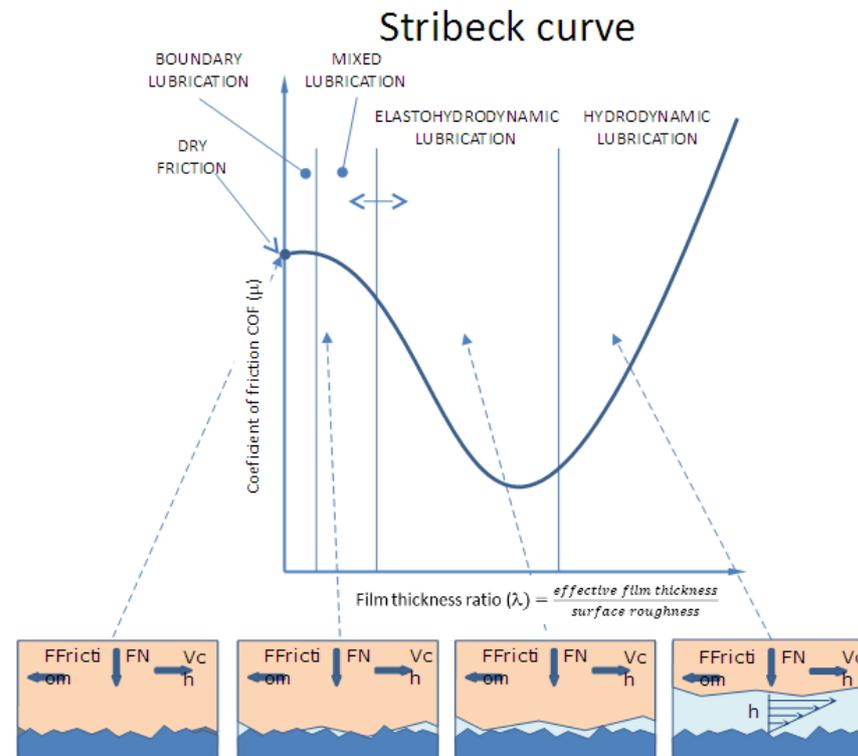
► Efeito da velocidade





Seleção de materiais resistentes a adesão

- ▶ O melhor par de materiais para um contato deslizante é aquele que produz o menor número de junções, ou as junções mais fracas.
- ▶ A seleção deve levar em conta o regime de lubrificação





Seleção de materiais resistentes a adesão

- ▶ Para condições de deslizamento em condições contato seco ou com lubrificação limítrofe recomenda-se:
 - (1) ser composto por metais mutuamente insolúveis: a solubilidade mútua dos metais determinará o número de junções por soldagem a frio, e as características da junção dos metais irá determinar a resistência dessa junção, e
 - (2) que ao menos um dos metais pertença ao sub-grupo B da tabela periódica.



Seleção de materiais resistentes a adesão

	w	Mo	Cr	Co	Ni	Fe	Nb	Pt	Zr	Ti	Cu	Au	Ag	Al	Zn	Mg	Cd	Sn	Pb	In	
In			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Pb	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Sn	⊖		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Cd			⊖	⊖	⊖	⊖		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Mg		⊖		⊖	⊖	⊖	⊖		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Zn		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Al	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Ag	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Au	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Cu	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Ti	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Zr	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Pt	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Nb	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Fe	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Ni	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Co	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Cr	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Mo	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
W	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖

- ⊖ Líquido em duas fases
- ⊖ Líquido em uma fase, solubilidade sólida abaixo de 0,1%
- ⊖ Solubilidade sólida entre 1 e 0,1%
- ⊖ Solubilidade sólida acima de 1%
- ⊖ Metais idênticos



Controle do Desgaste por Adesão

Nos problemas de engenharia o desgaste é controlado através dos fatores:

- carga
- Distância percorrida
- Velocidade
- Dureza
- Acabamento das superfícies
- Contaminantes

O único fator incontrolável é a adesão do par de materiais, já que esta é uma característica inerente a estes



Controle do Desgaste por Adesão

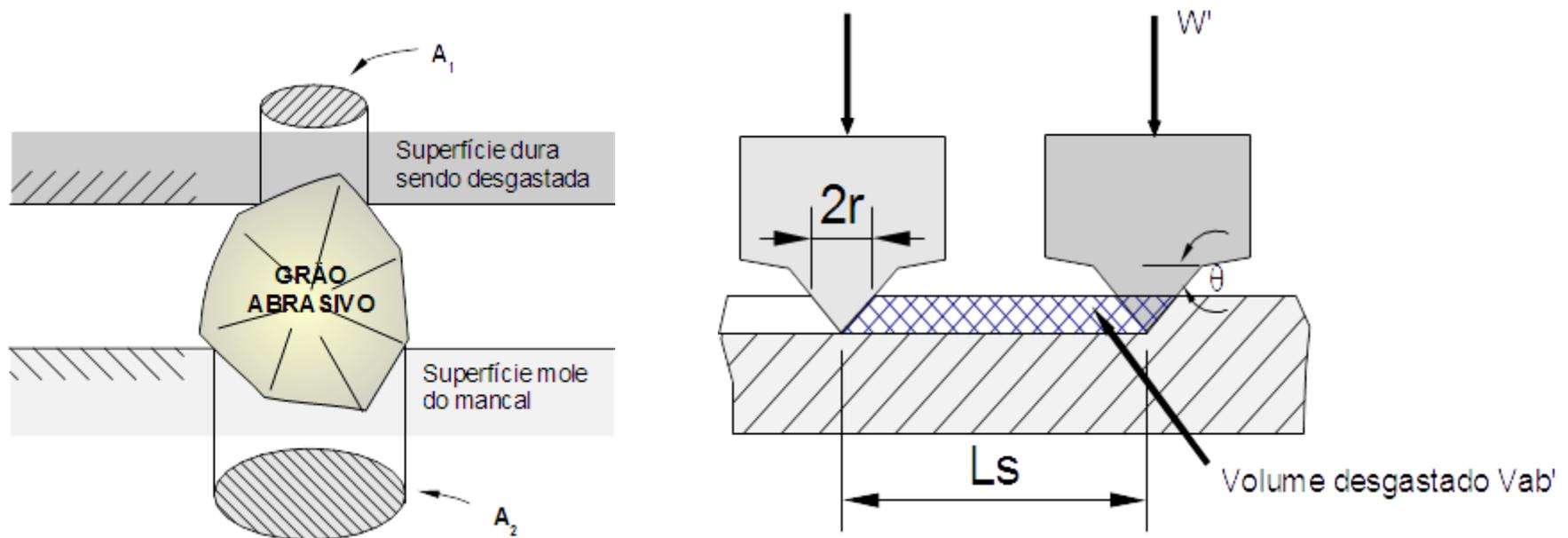
As três formas principais para controlar tanto desgaste por adesão, quanto por abrasão, são:

- Princípio dos revestimentos protetores - incluindo proteção por lubrificantes, películas superficiais (por exemplo, filmes de óxidos), pinturas, fosfatização e outros revestimentos químicos.
- Princípio de conversão - o desgaste é convertido de severo para níveis leve, através da escolha adequada do par de metais, dureza, acabamento superficial ou pressão de contato
- Princípio de desvio - o desgaste é deslocado para um elemento de sacrifício, economicamente substituível de tempos em tempos. Por exemplo, o uso de materiais moles e de baixo ponto de fusão em mancais de escorregamento radiais, de modo que o desgaste é desviado do eixo para o mancal.



Desgaste por Abrasão

- O desgaste que ocorre quando uma superfície rugosa e dura, ou uma superfície mole contendo partículas duras, desliza sobre uma superfície mais mole, e riscara uma série de ranhuras nesta superfície.





Desgaste por Abrasão

- O material das ranhuras é deslocado na forma de partículas de desgaste, geralmente soltas.
- O desgaste abrasivo pode ocorrer, também, em uma situação algo diferente, quando partículas duras e abrasivas são introduzidas entre as superfícies deslizantes, desgastando-as.



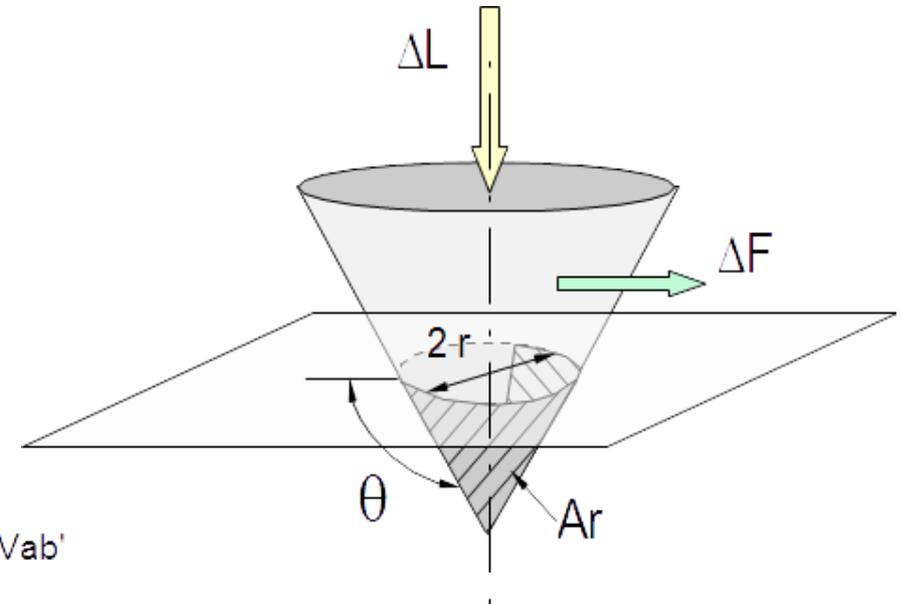
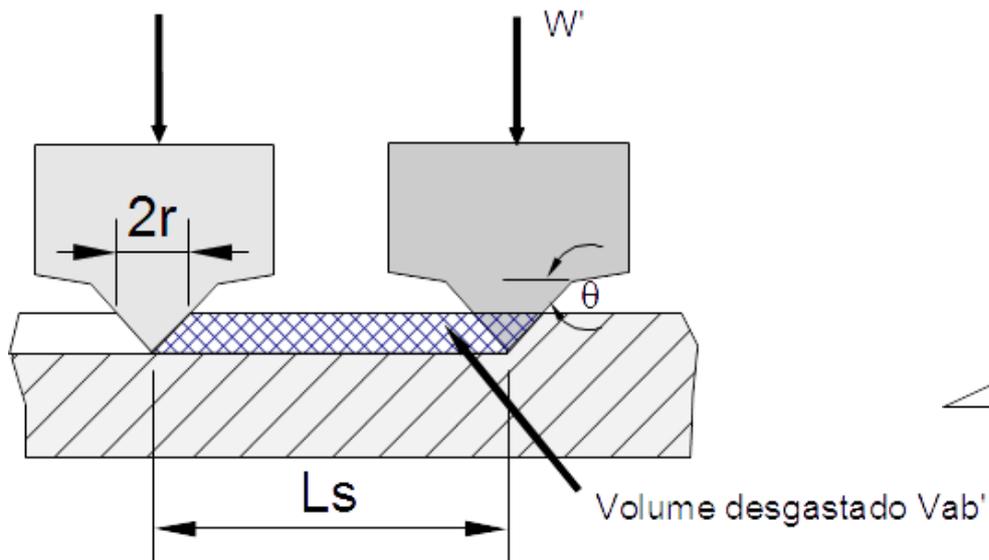
Desgaste por Abrasão

O desgaste por abrasão também pode ser classificado quanto ao número de corpos envolvidos em:

- **Desgaste abrasivo de dois corpos**, nesse o desgaste ocorre quando uma superfície rugosa e dura, ou uma superfície mole contendo partículas duras, desliza sobre uma superfície mais mole, produzindo uma série de ranhuras. Não ocorre quando a superfície dura deslizante é lisa.
- **Desgaste abrasivo de três corpos**, nesse partículas duras e abrasivas são introduzidas entre as superfícies deslizantes, desgastando-as. não ocorre quando as partículas no sistema são pequenas, ou quando são mais moles que os materiais deslizantes.



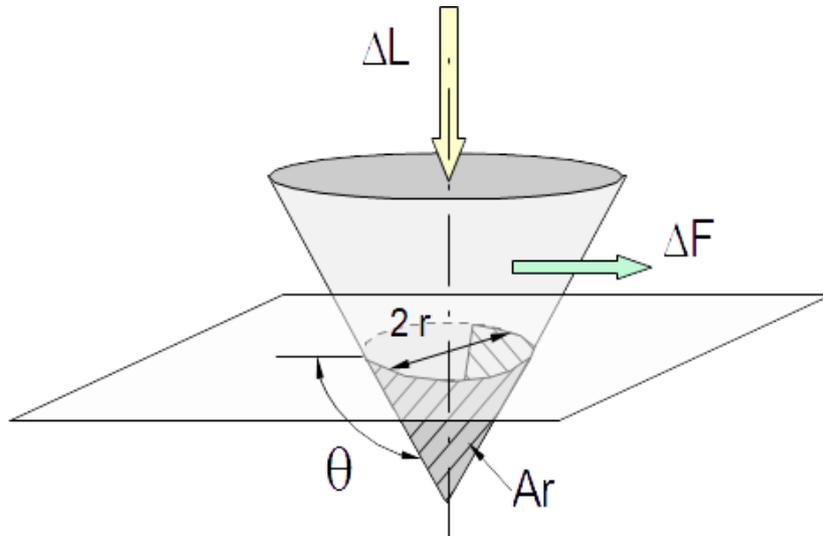
Expressão Quantitativa para o Desgaste Abrasivo



$$\frac{W}{A_{ph}} = 3 \cdot \sigma_{esc}$$



Expressão Quantitativa para o Desgaste Abrasivo



$$\frac{W}{A_{ph}} = 3 \cdot \sigma_{esc}$$

$$Q_{ab} = W L_s \frac{(\tan \theta)_n}{3 \cdot \sigma_{esc}}$$

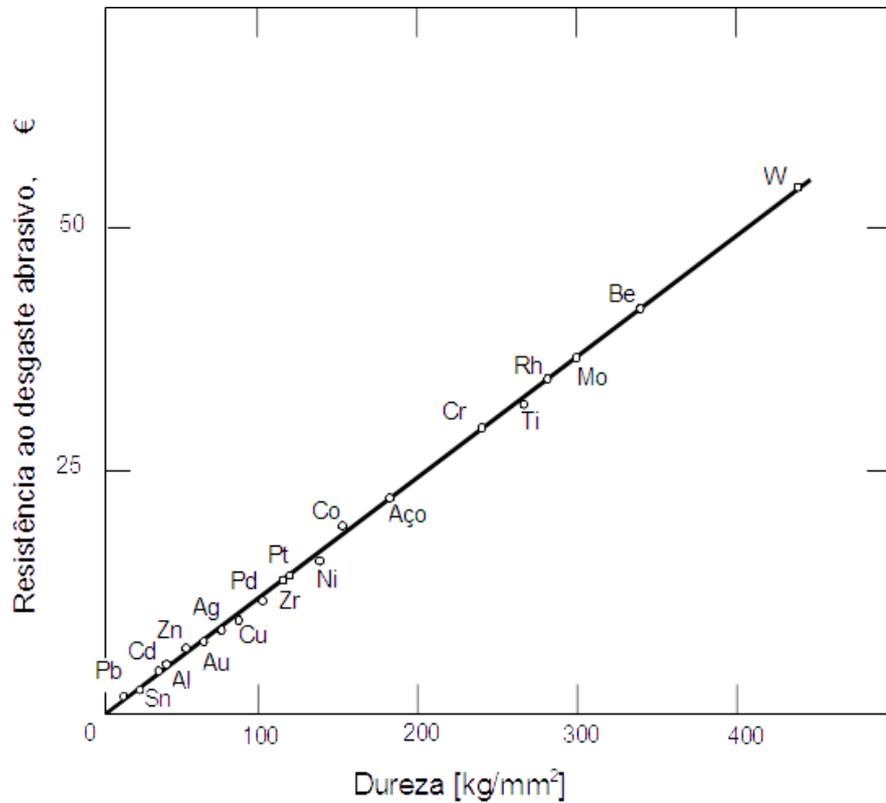
onde:

- Q_{ab} = taxa de desgaste abrasivo
- W é a carga total aplicada,
- $(\tan \theta)_m$ é um valor médio para todas as asperezas,
- L_s é a distância total de escorregamento,
- σ_e é a tensão de escoamento uniaxial para o material mole.

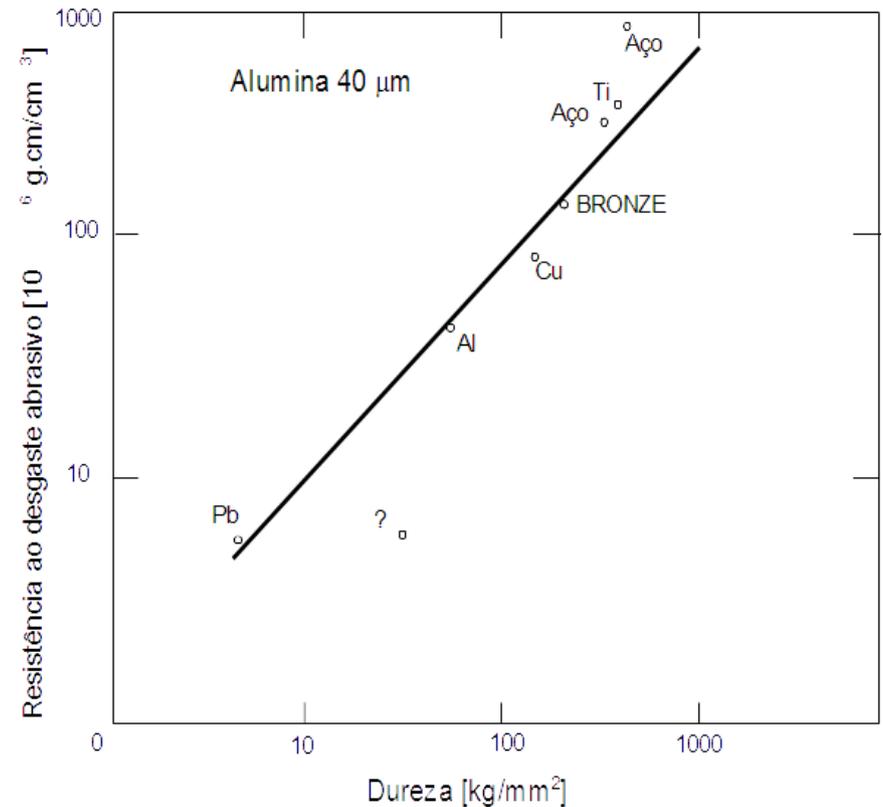


Resistência ao desgaste abrasivo de metais puros

abrasão a dois corpos



abrasão a três corpos





Seleção de materiais resistentes a abrasão

Deve-se considerar dois tipos de materiais:

- os usados como abrasivo quando o desgaste é desejado,
- os usados como material de escorregamento quando o desgaste deve ser evitado e se está em presença de contaminantes abrasivos.



Prevenção da ação abrasiva em sistema de escorregamento

- Considerações sobre dureza continuam prioritárias.
- As superfícies que devem resistir ao desgaste abrasivo devem ser mais duras do que as partículas contaminantes.
- O contaminante mais comum é a sílica (dióxido de silício = areia).



Desgaste Dominante por Oxidação

Em condições de escorregamento em velocidades elevadas o desgaste por oxidação pode ocorrer. A existência e a extensão deste tipo de desgaste, assim como a taxa de desgaste resultante, depende da capacidade que tem os materiais com movimento relativo em sofrer oxidação, e é claro da presença de uma atmosfera oxidante (presença de oxigênio) nas imediações das superfícies em contato



Desgaste Dominante por Oxidação

Relação entre a taxa de desgaste por oxidação V_{ox} e os parâmetros de operação.

$$V_{ox} = C e^{\frac{-Q_o}{R\theta_{max}}} \frac{P}{U}$$

onde: C = constante

Q_o = energia de ativação de oxidação para o ferro

R = Constante universal molar dos gases

$\theta_{max.}$ = Temperatura máxima

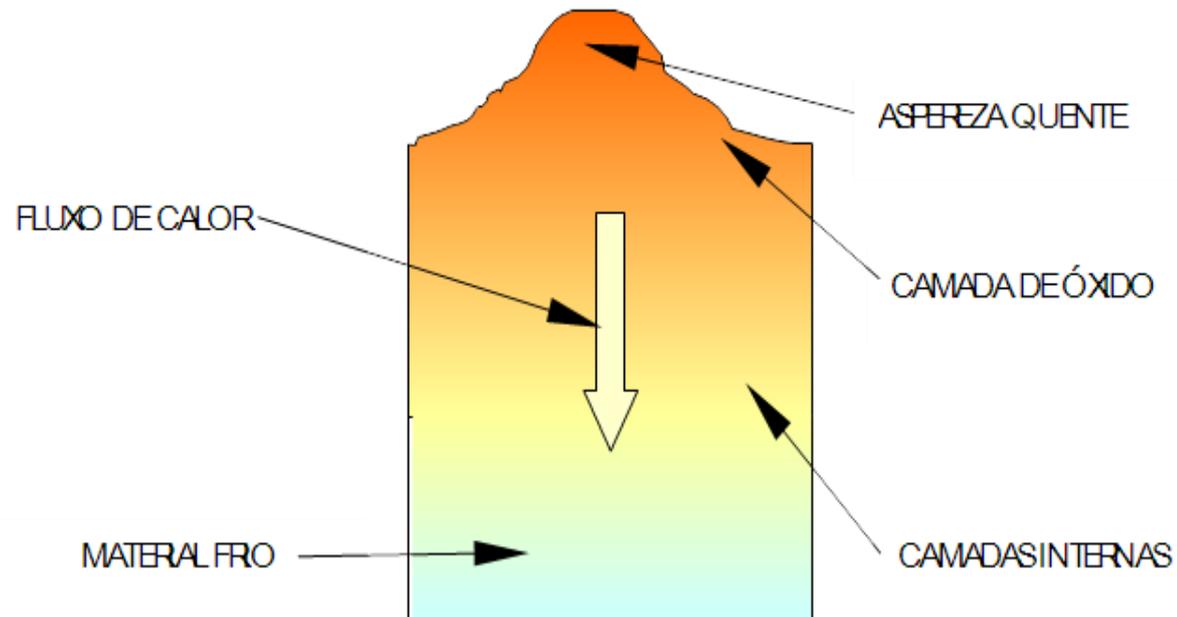
P = pressão

U = velocidade de escorregamento



Desgaste Dominante por Oxidação

Algumas vezes o calor gerado em uma áspera, ou pico, aquecido provoca um fluxo de calor o suficientemente alto, na direção ao material de base das camadas interiores frias, que as vezes pode levar a formação de martensita, o que leva a um repentino aumento de dureza na superfície.





Desgaste Dominante por Oxidação

Algumas vezes o calor gerado em uma áspera, ou pico, aquecido provoca um fluxo de calor o suficientemente alto, na direção ao material de base das camadas interiores frias, que as vezes pode levar a formação de martensita, o que leva a um repentino aumento de dureza na superfície.



Projetando para desgaste

Sempre que houver a necessidade de desenvolver projetos onde haja movimento relativo entre dois componentes, deve-se considerar o problema de desgaste.

É impraticável pretender dispor de uma tabela de coeficientes de desgaste que fornecesse valores para todos os pares de materiais sólidos conhecidos, sob todas as possíveis condições de contato (ver curva de Stribeck)



Projetando para desgaste

Uma primeira abordagem consiste em listar valores de coeficientes de desgaste para um número limitado de combinações de materiais, sob um número limitado de condições de testes.

Depois procurar encontrar uma condição de ensaio que seja o mais aproximado o possível da condição real que se apresente.

A American Society of Mechanical Engineering (ASME, 1980), apresenta algumas destas tabelas



Projetando para desgaste

Coeficiente de desgaste segundo Holm – 1946

Par de Materiais	Ambiente	Coeficiente de desgaste K
Aço em Aço	Desconhecido	126×10^{-4}
Ferro em Ferro	Ar seco	90
Ferro em Ferro	Ar seco a 200C	270
Ferro em Ferro	Ar damp	0,6
Ferro em Estanho (white metal)	Ar seco	1,2
Ferro em Estanho (white metal)	Ar Damp	1,0
Aço em ferro fundido	Lubrificado	0,6
Ferro em Ferro	Lubrificado	0,2



Projetando para desgaste

Coeficiente de desgaste segundo Archard – 1953

Superfícies Não lubrificadas	
Par de Materiais	K (para transferir)
Cadmio em Cadmio	57×10^{-4}
Zinco em Zinco	530
Prata em Prata	40
Cobre em Cobre	110
Platina em Platina	130
Aço mole em Aço mole (mild steel)	150
Aço inoxidável em Aço inoxidável	70
Cadmio em Aço mole (mild steel)	0,3
Cobre em Aço mole (mild steel)	5
Platina em Aço mole (mild steel)	5
Aço mole em Cobre	1,7
Platina em Prata	0,3



Projetando para desgaste

Coeficientes de desgaste segundo Hirst (1957)

Par de Materiais	Coeficiente de desgaste K
Aço baixo carbono em Aço baixo carbono	70×10^{-4}
Bronze 60/40 em aço ferramenta	6
Teflon em aço ferramenta	0,25
Bronze 70/30 em aço ferramenta	1,7
Plástico Lucite ^â em aço ferramenta	0,07
Baquelite moldada em aço ferramenta	0,024
Prata em aço ferramenta	0,6
Cobre Berílio em aço ferramenta	0,37
Aço ferramenta em aço ferramenta	1,3
Stellite #1 em aço ferramenta	0,55
Aço inoxidável ferrítico em aço ferramenta	0,17
Baquelite Laminada em aço ferramenta	0,0067
Metal duro em aço ferramenta	0,04
Polietileno em aço ferramenta	0,0013
Metal duro em Metal duro	0,01



Projetando para desgaste

Uma segunda abordagem consiste em classificar todos os materiais possíveis e condições de escorregamento em um número limitado de categorias.

Neste caso deve-se primeiramente encontrar a categoria que mais se aproxime da aplicação em questão, para então, obter um valor correspondente.



Projetando para desgaste

A vantagem desta abordagem é que aumenta muito a probabilidade de se encontrar um coeficiente de desgaste que sirva a aplicação em questão.

Outra vantagem em ter uma tabela sistemática é que se torna mais fácil avaliar os efeitos produzidos com mudanças nas condições de escorregamento, por ex. pela mudança de um dos materiais ou pelo uso de lubrificante.



Projetando para desgaste

Coeficientes de desgaste segundo Rabinowicz – 1958

Condição	Metais em Metais		Não Metais em Metais
	Favorável	Não favorável	
Limpo	$1,7 \times 10^{-3}$	$6,7 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-6}$
Com lubrificação pobre	$6,7 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-6}$
Com Lubrificação média	$3,3 \times 10^{-6}$	$3,3 \times 10^{-6}$	$1,7 \times 10^{-6}$
Com lubrificação excelente	$3,3 \times 10^{-7}$	$3,3 \times 10^{-7}$	$3,3 \times 10^{-7}$



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FIM DA AULA