



ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE A SECO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE, POLIAMIDA E POLITETRAFLUOROETILENO DESLIZANDO CONTRA AÇO AISI O1

Diego Hernán Giraldo Vásquez

Autor correspondente. Universidade de São Paulo. Av. Mello Moraes Rego 2231, Cidade Universitária 05508-900, São Paulo, (SP), Brasil. E-mail: diego.piedrahita@poli.usp.br

Carlos Henrique Da Silva

Universidade de São Paulo. Av. Mello Morães Rego 2231, Cidade Universitária 05508-900, São Paulo, (SP), Brasil. E-mail: carloshs@usp.br

Juan Manuel Vélez

Universidade Nacional de Colômbia Sede Medellín. Autopista Norte x Calle 64, Medellín, Colômbia. E-mail: jmvelez@unalmed.edu.co

Amilton Sinatora

Universidade de São Paulo. Av. Mello Morães Rego 2231, Cidade Universitária 05508-900, São Paulo, (SP), Brasil. E-mail: sinatora@usp.br

Resumo. *O objetivo deste trabalho foi estudar e comparar a resistência ao desgaste por deslizamento sem lubrificação de três materiais termoplásticos: polietileno de alta densidade (HDPE), poliamida 6/12 (PA) e politetrafluoroetileno (PTFE), com base nas relações entre estrutura e propriedades mecânicas e nas teorias de mecanismos de desgaste por deslizamento dos polímeros. Nos ensaios de desgaste utilizou-se um tribômetro do tipo pino-contra-disco, na configuração de pinos de polímero e discos de aço ferramentas AISI O1. As variáveis dos ensaios foram a rugosidade do contra-corpo e a distância de deslizamento, mantendo-se constantes os parâmetros de velocidade, carga e meio ambiente.*

Com os resultados de perda de massa foi possível determinar para cada tribossistema os coeficientes de desgaste segundo a equação de ARCHARD. Para estabelecer esses coeficientes foi usado um modelo estatístico de regressão linear, verificando quatro hipóteses estatísticas que permitiram avaliar a confiabilidade no modelo.

A revisão bibliográfica indicou que os fenômenos referentes ao desgaste de materiais poliméricos podem ser divididos em interfaciais e coesivos. As imagens das superfícies desgastadas sugerem que tanto mecanismos adesivos quanto coesivos atuaram nos tribossistemas estudados e estão manifestados na presença de polímero aderido ao contra-corpo de aço e na presença de “debris” com formato acicular próximo à pista de contato.

Palavras chaves: *polímeros, desgaste por deslizamento a seco, mecanismos de desgaste de plásticos.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais poliméricos em componentes mecânicos teve um acelerado desenvolvimento nas duas últimas décadas. Algumas das aplicações mais interessantes destes materiais são a fabricação de componentes de máquinas como selos hidráulicos, mancais de deslizamento e mecanismos de precisão.

Dentre os vários campos de atuação do engenheiro mecânico a seleção de materiais ocupa um lugar de importância. Sabe-se que para efetuar uma correta seleção de material, é necessário ter conhecimentos suficientes de suas propriedades mecânicas. No entanto, na maioria das situações onde o engenheiro opta por usar um material polimérico esta prática não se realiza adequadamente devido à falta de profundidade no conhecimento do seu comportamento mecânico.

Não é necessário que o engenheiro mecânico conheça a fundo o comportamento reológico dos polímeros ou suas características físico-químicas, porém, é preciso que se faça uma correta interpretação das propriedades destes materiais para otimizar seu funcionamento. Dados sobre as propriedades dos materiais poliméricos geralmente são apresentados em formas de tabelas e/ou catálogos de fabricantes, e é bem reconhecida a importância do uso adequado e da interpretação destas informações para a seleção do material mais adequado.

Uma das situações nas quais é fundamental conhecer e aplicar corretamente as propriedades dos materiais poliméricos é aquela na qual os corpos em contato apresentam desgaste pelo contato durante o funcionamento. Este problema é de interesse para a tribologia, ciência que estuda os fenômenos relacionados com a interação entre superfícies sólidas em contato durante movimento relativo (Hutchings, 1992). Uma das situações tribológicas mais comuns são aquelas chamadas de deslizamento a seco, nas quais os corpos em contato apresentam deslizamento relativo sem a presença de um lubrificante.

A Fig. (1) mostra esquematicamente o comportamento da perda de massa de um dado material em função da distância percorrida ou tempo de deslizamento. No período denominado de desgaste estacionário pode ser usada a equação de desgaste de ARCHARD (Archard, 1953; Hutchings, 1992), a qual estabelece uma relação entre algumas variáveis do tribossistema com uma constante de desgaste K . O modelo de desgaste de ARCHARD está expresso na equação (1):

$$V = \frac{K.P.s}{H} \quad (1)$$

onde V é o volume de material removido [mm^3], K é o coeficiente de desgaste, P é a carga normal à superfície [N]; s é a distância de deslizamento [mm] e H é a dureza do material menor [N/mm^2].

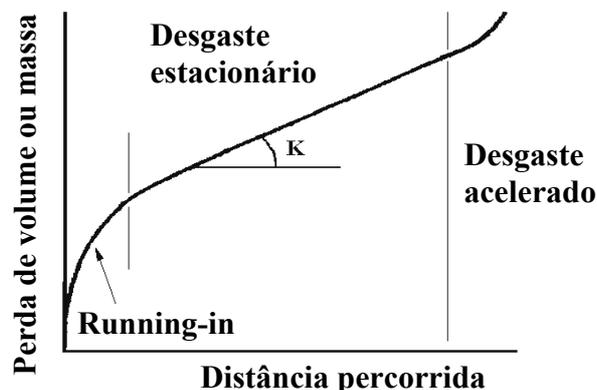


Figura 1. Variação da perda de massa em função da distância de deslizamento [Hutchings, 1992].

Uma informação importante para o engenheiro é o valor de K para o sistema tribológico de interesse, pois assim ele poderá calcular com maior precisão a vida útil dos componentes mecânicos. O valor de K também permite comparar a resistência ao desgaste entre tribosistemas, e pode ser usado como um critério de seleção de materiais.

Devido à já mencionada crescente demanda de peças fabricadas em materiais plásticos, é importante conhecer a resistência ao desgaste e as propriedades tribológicas dos materiais poliméricos. Estudos com esse mesmo objetivo (Bowden e Tabor, 1964; Vaziri *et al.*, 1988; Da Silva *et al.*, 1998) têm obtido informações importantes sobre o comportamento tribológico destes materiais, fato este que tem produzido melhores desempenhos das peças plásticas.

O objetivo deste trabalho é comparar a resistência ao desgaste e conhecer algumas características do comportamento tribológico de alguns materiais poliméricos, variando a distância percorrida e a rugosidade do contra-corpo. Com a medição da perda de massa e a observação das superfícies de desgaste, procura-se discutir alguns critérios importantes para o entendimento dos fenômenos presentes e sua posterior aplicação em situações específicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Dentre os polímeros de grande aplicação na indústria atual, foram escolhidos o polietileno de alta densidade (HDPE), a poliamida 6/12 (PA) e o politetrafluoroetileno (PTFE). A Tabela (1) apresenta algumas propriedades e/ou características destes materiais.

Tabela 1. Propriedades dos materiais termoplásticos estudados [Plásticos Industriales, 2000].

	MATERIAL		
	Polietileno	Politetrafluoroetileno	Poliamida
Nome comercial	POLITRON®	TEFLON®	DURALON NYLON®
Nomenclatura	HDPE	PTFE	PA 6,12
Unidade monomérica	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	$-\text{N}-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_{6 \text{ vezes}} -\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_{4 \text{ vezes}} -\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$
Densidade (Kg/m ³)	0,95	2,18	1,15
Cristalinidade (%)	70-80	50-70	30-40
Temperatura de fusão T _m (°C)	135	327	227
Resistência à tração (MPa)	28	24-31	76-96
Alongamento na ruptura (%)	> 600	200-400	30-120
Módulo elástico (MPa)	952	400-550	3700
Resist. impacto Izod (N.mm)	9.8	16.3	6.5
Dureza	60 HRr	55-59 Shore D	110 HRr
Temp. transição vítrea-T _g (°C)	-90	-110	57

Como contra-corpo do sistema tribológico foi escolhido um aço, devido à ocorrência do contato polímero-metal ser mais comum na indústria do que o contato polímero-polímero. Os discos para os ensaios foram feitos de aço ferramentas AISI O1, temperado e revenido, com 45 HRC de dureza.

Devido à elevada dureza dos aços quando comparada com a dos plásticos, os mecanismos de desgaste mais importantes ocorrem nos pinos poliméricos e, portanto, considerou-se apenas a dureza e a rugosidade dos discos como parâmetros relevantes do contra-corpo.

2.2. Ensaio de Desgaste por Deslizamento a Seco

Para a determinação das propriedades tribológicas dos plásticos deslizando sobre aço ferramentas utilizou-se um tribômetro tipo pino-contra-disco na configuração de pinos de polímero e discos de aço. Os ensaios de desgaste foram realizados segundo as recomendações da Norma ASTM G-99 (1990),.

O ensaio de desgaste consiste em aplicar uma carga sobre um pino colocado perpendicularmente a um disco. O pino permanece fixo enquanto o disco gira, produzindo deslizamento relativo na área de contato entre ambos elementos, formando uma trajetória circular na superfície do disco; um esquema do ensaio é mostrado na Fig. (2). Os pinos de superfície plana foram usinados até um diâmetro de 6 mm. As superfícies discos de aço ferramentas, com dimensões de 5 mm de espessura e 180 mm de diâmetro, foram retificadas.

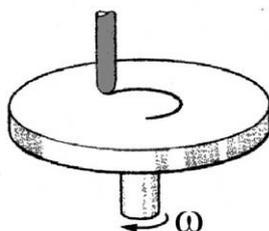


Figura 2. Esquema do ensaio de desgaste tipo pino-contra-disco .

Os pinos de cada material percorreram quatro distâncias diferentes deslizando contra superfícies com dois níveis de rugosidade. Foram realizadas quatro repetições para otimizar o nível de confiança segundo os resultados obtidos do projeto de experimentos (Barker, 1994). Os parâmetros dos ensaios de desgaste estão apresentados na Tabela (2).

Tabela 2. Parâmetros dos ensaios de desgaste.

Parâmetros	Valores
Carga normal	1,7 [Kg]
Velocidade de deslizamento	1 [m/s]
Rugosidade Ra dos discos	0,14 [μm] 0,84 [μm]
Distâncias percorridas	(PA e HDPE) 20, 40, 60 e 80 [Km] (PTFE) 250, 500, 750 e 1000 [m]

A rugosidade dos discos foi medida com um rugosímetro MITUTOYO SJ-201 e o parâmetro de rugosidade utilizado como base de comparação foi o Ra. Os valores de rugosidade Ra apresentados na Tabela (2) são as médias de cinco medições em cada superfície.

Para a obtenção das imagens das superfícies de desgaste foi usado um microscópio estereoscópico LEICA GZ6 acoplado a uma câmera digital. A magnitude de ampliação das imagens mostradas foi 5 vezes.

2.2. Estimação dos Coeficientes de Desgaste

A Equação (2) é uma modificação da Eq. (1), para calcular o coeficiente de desgaste usando diretamente as variáveis do tribossistema estudado.

$$K^* = \frac{bH}{\rho P} \quad (2)$$

A Equação (2) pode ser usada para calcular K^* , o coeficiente de desgaste comparativo entre os materiais, em cada tribossistema. Nessa equação b é a inclinação das curvas de perda de massa contra distância de deslizamento; ρ é a densidade do material; P é a carga aplicada.

K^* deveria ser adimensional para efeitos de comparação com outros trabalhos, mas a dureza dos plásticos ensaiados está em unidades de Rockwell R e a não há um método confiável fazer uma conversão a N/m^2 . É por isto que a unidade usada para K^* é $HRr.m^2N^{-1}$.

Para a estimação de K^* foi usada uma análise de regressão linear (Barker, 1994; Montgomery *et. al*, 1996) para cada tribossistema estudado. A análise estabeleceu a validade do modelo linear usando quatro hipóteses estatísticas: normalidade e independência do erro, heterocedasticidade, e linearidade do modelo. Esta análise permitiu comprovar que a dependência da perda de massa com a distância percorrida pode ser explicada mediante um modelo linear, com 95% de confiança. O método estatístico usado foi uma prova de bondade de ajuste dos dados, que usa um teste de hipótese que analisa a parte do erro que pode ser atribuído à falta de ajuste do modelo linear.

3. RESULTADOS

3.1. Perda de massa

Na Figura (3) estão apresentadas as curvas de perda de massa obtidas nos ensaios.

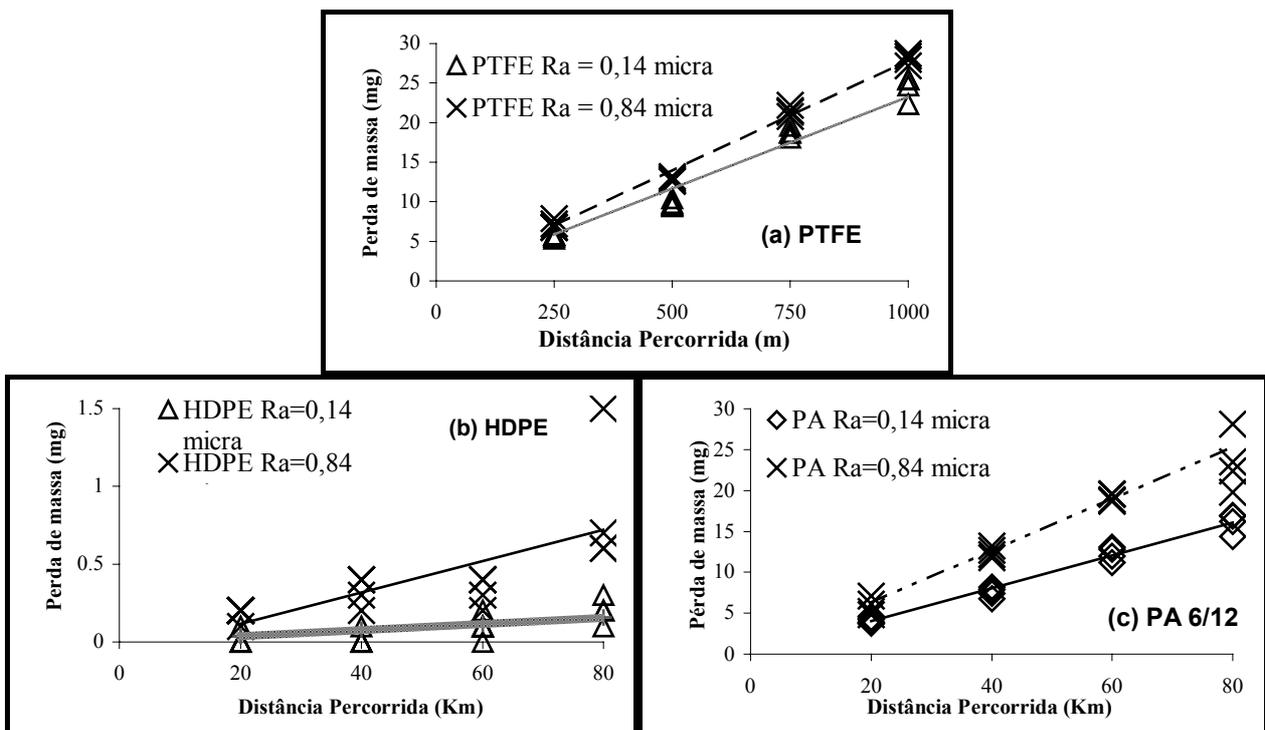


Figura 3. Perda de massa em função da distância percorrida (a) PTFE, (b) HDPE, (c) PA 6/12.

Na Tabela (3) estão apresentados as rugosidades dos discos e os valores de K^* obtidos.

Tabela 3. Coeficiente de desgaste K^* e rugosidade dos discos.

Material	Rugosidade R_a do disco (μm)	K^* ($\text{HRr.m}^2/\text{N}$)
HDPE	$0,14 \pm 0,02$	$7,42 \times 10^{-15}$
	$0,84 \pm 0,03$	$2,64 \times 10^{-14}$
PA	$0,14 \pm 0,02$	$1,15 \times 10^{-12}$
	$0,84 \pm 0,03$	$1,82 \times 10^{-12}$
PTFE	$0,14 \pm 0,02$	$3,07 \times 10^{-8}$
	$0,84 \pm 0,03$	$3,69 \times 10^{-8}$

3.2. Imagens das superfícies

Nas Figuras (6) e (7) são mostradas as imagens das superfícies dos discos antes dos ensaios de desgaste. As setas indicam o sentido dos riscos de acabamento provocados pela retífica.

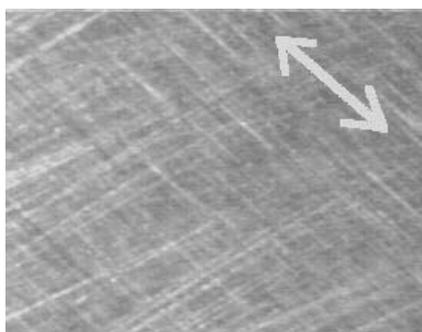


Fig. 6. Superfície do disco com $R_a=0,14\mu\text{m}$.

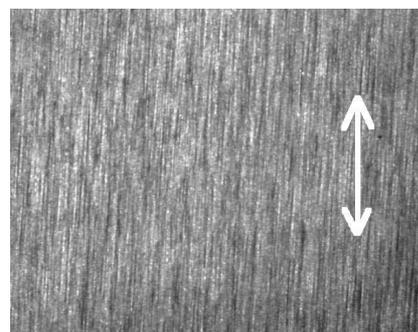


Fig. 7. Superfície do disco com $R_a=0,84\mu\text{m}$.

Nas Figuras (8), (9) e (10) são mostradas as imagens das superfícies dos discos com rugosidade $R_a = 0,14 \mu\text{m}$, após os ensaios de desgaste contra PTFE, HDPE e PA, respectivamente. As setas indicam o sentido do deslizamento.

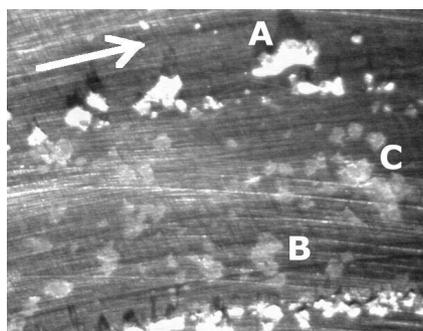


Figura 8. PTFE. Distância percorrida: 250 m

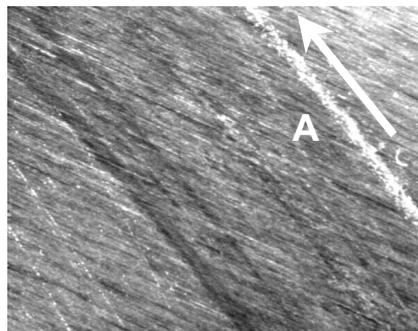


Figura 9. HDPE. Distância percorrida: 60 Km.

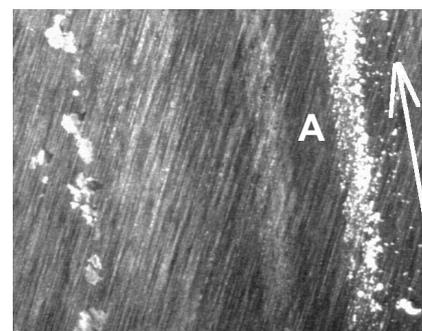


Figura 10. PA 6/12. Distância percorrida: 80 Km.

4. Discussão

4.1. Influência da rugosidade no K^*

Nos ensaios realizados com os três materiais poliméricos a taxa de desgaste se incrementou com o aumento da rugosidade do contra-corpo. Vaziri *et al.* (1988) obtiveram resultados semelhantes em

experiências realizadas com sete plásticos comerciais (entre eles o HDPE, o PA e o PTFE). Segundo Hutchings (1992), no caso do HDPE, o coeficiente de desgaste apresenta um mínimo quando o contra-corpo tem um acabamento polido ($R_a = 0,05 \mu\text{m}$) e aumenta com a rugosidade; este comportamento concorda com os resultados de K^* da Tab. (3).

O incremento no valor de K^* com a rugosidade pode ser atribuído a intensidade do mecanismo de desgaste coesivo (abrasão) o qual aumenta com para superfície mais rugosas, mesmo que a adesão também atue como mecanismo importante (Hutchings, 1992; Bowden e Tabor, 1964; Zum Gahr, 1987).

4.2. Influência das propriedades mecânicas no K^*

Devido à dureza do contra-corpo ser extremamente maior que a dos materiais poliméricos, pode-se admitir que as deformações geradas durante os ensaios ocorrem quase que totalmente nos pinos poliméricos.

Ratner e Lancaster *apud* Hutchings (1992) mostraram que a resistência ao desgaste abrasivo possui uma forte correlação com a energia armazenada nos ensaios de tração (resiliência) dos materiais poliméricos, a qual está relacionada (Callister, 1996) com o produto da tensão de ruptura (σ_U) com a deformação na ruptura (ϵ_U).

Acredita-se que os polímeros que armazenam mais energia durante o processo de deslizamento resistem mais a ação abrasiva das asperezas do contra-corpo, já que um acúmulo maior de energia durante o contato faz com que o material tenda a se deformar elasticamente, enquanto que quando o contato é predominantemente plástico as asperezas provocam a ocorrência de micro-fraturas dúcteis, acentuando desta forma a remoção de material.

Aplicando a relação de Ratner-Lancaster para os polímeros ensaiados e organizando em ordem crescente de resistência à abrasão temos primeiramente o PTFE, depois a PA 6/12 e por último o HDPE. Como a resistência ao desgaste, expressa nos valores de K^* , obtidas nos ensaios de desgaste coincide com os valores de energia acumulada durante processos de deformação, pode-se dizer que o mecanismo de desgaste abrasivo possui papel fundamental nos fenômenos de desgaste presentes.

Segundo Hutchings (1992) e Zum Gahr (1988), se a deformação presente no material polimérico for preponderantemente plástica, o mecanismo de desgaste dominante é a abrasão e o fenômeno constitui-se em um processo coesivo, enquanto que as deformações elásticas são característica do desgaste adesivo e o mecanismo de desgaste é interfacial. Desta forma, materiais com maior módulo elástico tendem a se deformar elasticamente o que favorece o domínio do desgaste adesivo, para um mesmo nível de rugosidade. De acordo com a Tabela (1) os materiais poliméricos estudados apresentam valores crescentes de módulo de elasticidade na seguinte seqüência: 1° o PTFE, 2° o HDPE e por fim o PA 6/12.

Um aspecto muito importante quanto ao comportamento tribológico dos polímeros é a temperatura. Zum-Gahr (1988) relaciona o processo de desgaste com o estado viscoelástico dos polímeros. Nas situações tribológicas onde a temperatura de trabalho é abaixo (ou próxima) à temperatura de transição vítrea (T_g) as camadas superficiais dos polímeros tendem a apresentar micro-fraturas características de materiais frágeis, o que resulta geralmente em taxas de desgaste mais elevadas. Durante os ensaios de desgaste o HDPE e o PTFE estão sendo solicitados a deformações em temperaturas acima da T_g , apresentando desta forma um comportamento mais dúctil que a PA 6/12, que está trabalhando abaixo (ou próxima) à sua T_g e, conseqüentemente, apresentando um comportamento mais frágil.

Este comportamento mecânico diferenciado entre o HDPE e a PA 6/12 explica a maior resistência ao desgaste do HDPE pela sua maior capacidade de acumular energia elástica (Ratner-Lancaster) somado ao fato deste material estar sendo solicitado em uma temperatura superior à de transição vítrea, onde o comportamento mecânico corresponde ao de um material em estado borrachoso (*rubbery*).

4.3. Mecanismos de desgaste

Todos os ensaios de desgaste apresentaram a ocorrência de mecanismo de desgaste do tipo transferência de filme polimérico, evidenciados pela presença de camadas de polímeros aderidas à superfície dos discos, em quantidades aparentemente maiores no PTFE do que nos outros dois materiais. A transferência de filme polimérico ao disco de aço é o resultado de mecanismos de desgaste adesivos.

Na Fig. (8) pode-se observar filmes de transferência de PTFE assinalados com as letras B e C. No caso do HDPE e no PA 6/12, Figuras (9) e (10) respectivamente, os filmes aderidos apresentam aparência diferenciada ao do PTFE, com a camada formada apresentando um aspecto mais delgado e uniforme.

A presença de partículas de desgaste, com formato acicular, presente ao redor da trajetória da pista de contato (Fig. (8) letra A, Fig. (9) e Fig. (10)), indicam claramente que mecanismos de desgaste abrasivos estiveram atuantes durante a realização dos ensaios.

5. CONCLUSÕES

Ensaio realizados com rugosidade do contra-corpo mais elevada conduziram a um aumento na taxa de desgaste para todos os pares tribológicos estudados. Este fato se deve ao crescimento na intensidade de dano dos mecanismos de desgaste abrasivos.

Utilizando a equação de ARCHARD como modelo de desgaste nos ensaios realizados, verifica-se que o HDPE apresenta um menor coeficiente de desgaste em comparação com a PA 6/12 e o PTFE.

Os valores de propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade e a alongamento ruptura, bem inferiores do PTFE em relação aos outros materiais poliméricos, justifica o pior desempenho deste material quanto à resistência ao desgaste em todas as condições de ensaio.

As condições de temperatura de ensaio foram determinantes para um desempenho superior do HDPE em relação a PA 6/12. Mesmo apresentando maiores valores de módulo de elasticidade que o HDPE, o que conduz a uma maior resistência ao desgaste abrasivo, o comportamento frágil da PA 6/12 na temperatura do ensaio conduziu a maiores valores de perda de massa.

Os mecanismos de desgaste presentes no deslizamento de HDPE, PTFE e PA 6/12 contra aço ferramenta foram tanto coesivos quanto interfaciais. No entanto não foi possível determinar exatamente em quais condições um mecanismo se sobrepunha ao outro.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ingeniería Mecánica da Universidad Nacional de Colômbia Sede Medellín, pela colaboração com a realização dos ensaios, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida no processo 132181/2001-0.

7. REFERÊNCIAS

- Archard, J. F., 1953, Contact and rubbing of flat surfaces, J. Appl. Phys., pp.º 981-988
- Askeland, Donald R., 1998, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición, Ed. International Thomson,.
- ASTM G99-90, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-On-Disk Apparatus.
- Barker, Thomas B., 1994, Quality by Experimental Design, Segunda Edición, Editorial Marcel Dekker Inc..
- Bowden, F. P., Tabor, D., 1964, The Friction and Lubrication of Solids, Part II. Oxford, Clarendon Press, pp. 215-241
- Callister, William D, 1996, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tomo II. Editorial Reverté, Barcelona (España), 788 p.
- Silva, Carlos H., Tanaka, Deniol K., Sinatora, Amilton, 1998, “Efeito da Carga e da Velocidade no Coeficiente de Atrito Dinâmico entre Polietileno de Alta Densidade e Aço Galvanizado”, IV Seminário de Desgaste, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- Hutchings, I.M., 1992, Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials, UK: Ed. Edward Arnold, 273 p.
- Montgomery, Douglas C., Runger, George C., 1996, Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería, Primera Edición en Español, Editorial Mcgraw Hill Book Company, 896 p.
- Plásticos Industriales, 2000, Catálogo de Produtos, Medellín, Colombia.
- Vaziri, M., Spurr, R. T., Stott F. H., 1988, “An Investigation of the Wear of Polymeric Materials”, Wear, No. 122., pp 329-342
- Zum Gahr, K-H., 1987, Microstructure and Wear of Materials, Tribology, Series 10 Netherlands: Ed. Elsevier Science Publishing Company Inc., 560 p.

8. DIREITOS AUTORIAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluído no seu trabalho.

COMPARATIVE STUDY OF DRY WEAR RESISTANCE OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE, POLYAMIDA AND POLYTETRAFLUORETHYLENE SLIDING AGAINST AISI O1 STEEL

Abstract. *A comparison between dry wear resistance and dry sliding wear of three representative thermoplastics was conducted: high density polyethylene (HDPE), polyamida 6/12 (PA) and polytetrafluoroethylene (PTFE). The problem was approached using two aspects: the relationship between polymer structure and mechanical propert; and the mechanism of dry sliding wear of plastics. Wear tests were conducted using a pin-on-disk tribometer, with pins of polymer and discs of AISI O1 tool steel. Variables of test were rugosity of counter face and sliding distance, while applied force, environment factors and sliding velocity were fixed*

Through wear losses results it was possible to determine the wear coefficients of Archard equation, for each tribosystem. To establish the coefficients, a statistic model of linear regression was used, and four statistics hypothesis were verified in order to evaluate the reliability of model.

A theoretical revision of mechanical properties of plastics and current theories upon its performance in dry sliding wear was made, establishing the differences between adhesive phenomena, and cohesive phenomena. Images of wear surfaces suggest that abrasive and adhesive mechanisms acts into the studied tribosystems. An evidence for this statement was the presence of plastic material adhered to the steel disk surface and debris of plastic material around the sliding track.

Key -words: *polymers, dry sliding wear, wear mechanisms of plastics*