

IDENTIFICAÇÃO DE MECANISMOS DE DESGASTE VIA EMISSÃO ACÚSTICA DURANTE O RISCAMENTO DE POLÍMEROS

Marco Aurélio Moura Suriani, LTAD, marcoausuriani@gmail.com

Sinésio Domingues Franco, LTAD, sdfranco@ufu.br

Elias Bitencourt Teodoro, LAV, teodoro@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho tem como objetivo estudar as potencialidades do método da Emissão Acústica na condução de estudos em tribologia de polímeros ou, mais especificamente, caracterizar acusticamente o surgimento de trincas em polímeros. Deseja-se saber até que ponto é possível detectar o surgimento de trincas nestes materiais usando apenas o sinal no domínio do tempo e, se possível, indicar seu conteúdo no domínio da frequência. Assim, ensaios de riscamento foram realizados em um macroesclerômetro, usando diferentes penetradores cônicos. Os resultados obtidos permitiram concluir que penetradores cônicos com pequenos ângulos de ponta levam o material a um comportamento frágil e quebradiço, enquanto que ângulos maiores permitem um comportamento dúctil e sem perda de material. Além disso, o sinal RMS se mostrou plenamente capaz de indicar a presença de mecanismos de desgaste durante o riscamento. Por fim, conclui-se que a frequência dos sinais acústicos de trincas em polímeros não passa de 150 kHz.

Palavras chave: Desgaste, Polímeros, Esclerometria, Emissão Acústica, FFT

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A extração de petróleo é uma atividade vista como estratégica atualmente no Brasil. Devido à importância deste insumo na atividade econômica mundial e à grande quantidade de desafios técnicos que o setor de extração proporciona, muitos investimentos têm sido feitos em pesquisas nessa área. Um dos pontos críticos da extração do petróleo brasileiro ocorre no contato entre os dutos flexíveis e os enrijecedores nas plataformas de extração *offshore*. A função dos dutos flexíveis é transportar petróleo do fundo mar até as plataformas e a dos enrijecedores é impedir a sobreflexão dos primeiros, efeito inevitável devido à presença de correntes marítimas. A interação entre os componentes, entretanto, leva a uma condição de contato deslizante e, conseqüentemente, ao desgaste de suas superfícies.

O Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste vem se dedicando a estudar o desgaste entre esses dois componentes, estudo esse que se torna mais difícil na medida em que os materiais em contato são poliméricos. Dentre as atividades desenvolvidas atualmente no laboratório, iniciou-se recentemente uma tentativa de realizar o monitoramento do desgaste via Emissão Acústica (EA). Como uma das descobertas feitas em estudos anteriores é a ocorrência de fadiga na superfície de contato do enrijecedor com o duto flexível (Franco, 2006), foi proposto o estudo do surgimento de trincas em materiais poliméricos e de sua caracterização acústica, através de ensaios de riscamento em polímeros.

Existem na literatura muitos trabalhos sobre o comportamento acústico de metais durante ensaios esclerométricos. Contudo, em se tratando de polímeros, a literatura é bem escassa. O objetivo deste trabalho é estudar a aplicabilidade da Emissão Acústica na detecção de trincas em ensaios de riscamento de polímeros. Para tanto, serão realizados ensaios de riscamento com dois indentadores diferentes: um que não é capaz de gerar trincas e outro que gera trincas, e verificar se o sinal adquirido da EA é capaz de detectar variações tanto no domínio no tempo quanto no da frequência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como um dos mecanismos de desgaste presentes na superfície do enrijecedor quando em contato deslizante contra o duto flexível é a fadiga superficial, com a conseqüente propagação de trincas, buscou-se realizar experimentos que também acarretassem no surgimento deste mecanismo a fim de poder estudá-lo com o mínimo possível de influência de outros mecanismos. Diversos trabalhos mostram que ensaios de esclerometria retilínea geram trincas na superfície dos materiais avaliados, sejam metálicos ou sejam poliméricos.

Normalmente usados para se determinar a carga crítica suportada por revestimentos em metais (Araújo, 2008), eles também podem ser usados para determinar o comportamento de polímeros diante de um riscamento, se dúctil ou frágil, como demonstrado por Briscoe *et al.* (1996). Briscoe chegou à conclusão de que o comportamento frágil de um material não depende apenas de suas propriedades, mas também do indentador utilizado no riscamento, de modo que quanto menor o ângulo da ponta de indentadores cônicos, maior a tendência de se comportar de maneira frágil.

Um ponto importante na análise dos riscamentos é a inspeção visual, que pode ser realizada através de imagens de microscópio. Sinha e Lim (2006) realizou um estudo de riscamento de polímeros e correlacionou os dados de forças normal e tangencial e de velocidade com suas respectivas imagens em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Feita essa análise, o desafio seguinte é a caracterização acústica, tanto no domínio do tempo quanto no da frequência, destes riscamentos. O método usado é o da Emissão Acústica, definida pela Norma ASTM E1316-07 como

sendo "a classe de fenômenos nos quais ondas transientes de tensão elástica são geradas pela liberação rápida de energia a partir de fontes dentro do material." Em outras palavras, é de se esperar que os eventos tribológicos presentes durante riscamentos gerem emissões acústicas. Tanto a intensidade de tais emissões quanto seu espectro de frequência são fortemente dependentes dos parâmetros do risco (materiais, carga, velocidade, geometria das amostras, etc.), o que torna o método atrativo quando se deseja caracterizar eventos tribológicos como o desgaste em tempo real. Trabalhos como o de Araújo (2008) e Piotrkowski *et al.* (2005), por exemplo, se preocupam em correlacionar os resultados dos riscamentos em superfícies metálicas com a emissão acústica gerada pelos mecanismos de desgaste presentes, mas nenhum trabalhou com polímeros.

O estudo do comportamento acústico de materiais sob a condição de riscamento condiz com o esforço da comunidade científica em discriminar os diversos mecanismos de desgaste que podem ocorrer na interação entre duas superfícies através do método da Emissão Acústica. Usando este método, Hase *et al.* (2012) distinguiram adesão de abrasão em pares metálicos com o uso da FFT, enquanto que Kalogiannakis *et al.* (2008) distinguiram falhas na matriz de falhas nas fibras de materiais compósitos com o auxílio de Waveletes.

3. METODOLOGIA

Dois ensaios de riscamento foram realizados em uma amostra de Poliestireno (PS). Foram utilizados dois penetradores com pontas de diamante de formato cônico e ângulos de 120° e 40° para efetuar os riscos. Os riscos foram efetuados com um comprimento de 10 mm, a uma velocidade constante de 100 µm/s, enquanto que a força normal variou de zero a 120 N. O equipamento de teste usado é exibido na Fig. (1) e é denominado de macroesclerômetro. Em seguida, os riscos foram registrados usando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), depois de terem suas superfícies devidamente limpas e metalizadas, para que se pudesse analisar os mecanismos de desgaste.

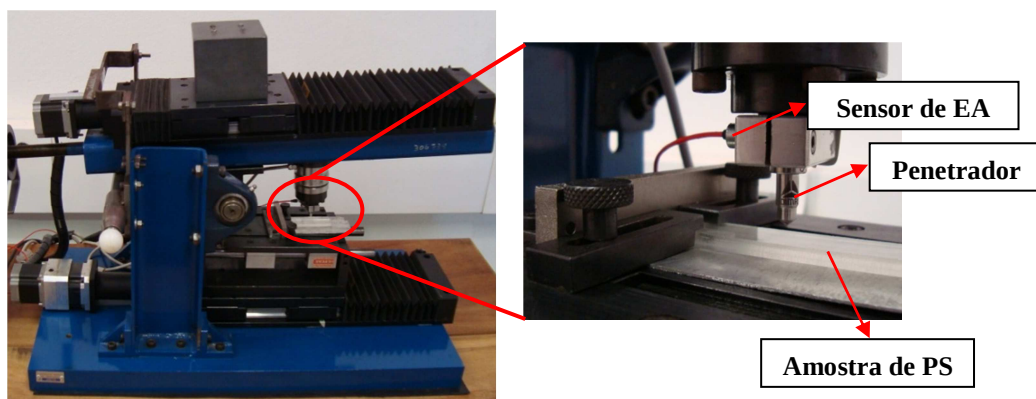


Figura 1. Vista geral do Macroesclerômetro (à esquerda) e ênfase na região do riscamento (à direita).

Os sinais de Emissão Acústica foram adquiridos através de um sistema composto pelo sensor Micro30 da Physical Acoustics em conjunto com o Pré-Amplificador 2/4/6 e com a Placa de Aquisição de dados PCI-2, ambos do mesmo fabricante. Cada riscamento teve sua atividade acústica monitorada pelo sistema de aquisição usando uma taxa de aquisição de 1 MHz, tempo total de amostragem de 102,4 s e uma pré-amplificação de 60 dB. A resposta em frequência de cada modelo de sensor é única e influencia diretamente o resultado das medições.

O método de análise foi a produção de gráficos relacionando as forças normal e tangencial com a posição do penetrador, ambos sobrepostos ao gráfico do valor RMS. Em seguida, estes gráficos foram comparados com as imagens em MEV dos riscos. Posteriormente, foi usada a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para caracterizar acusticamente os picos de Emissão Acústica que surgiram durante o ensaio. Os gráficos aqui apresentados são os do Power Spectrum Density (PSD) da FFT.

Foram escolhidos cinco trechos distintos de 2048 pontos de cada um dos sinais adquiridos, calculada suas FFT e feita a média entre seus PSD. O PSD de um sinal com 2048 pontos e adquirido a 1 MHz possui uma resolução em frequência de aproximadamente 0,49 kHz e uma frequência máxima de 500 Hz. No caso do ensaio com trincas, foram escolhidos trechos nos quais estavam presentes *bursts* de emissão acústica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura (2) exhibe as forças normal e tangencial envolvidas em cada um dos dois ensaios realizados, respectivamente, para os ângulos de 120° e de 40°, bem como o sinal RMS de cada um dos ensaios. É visível como a força tangencial é menor no risco com o penetrador com ângulo de 120°. Pode-se facilmente notar também como o risco com esse indetador apresentou um nível de Emissão Acústica insignificante quando comparado ao risco do indetador com ponta de 40°.

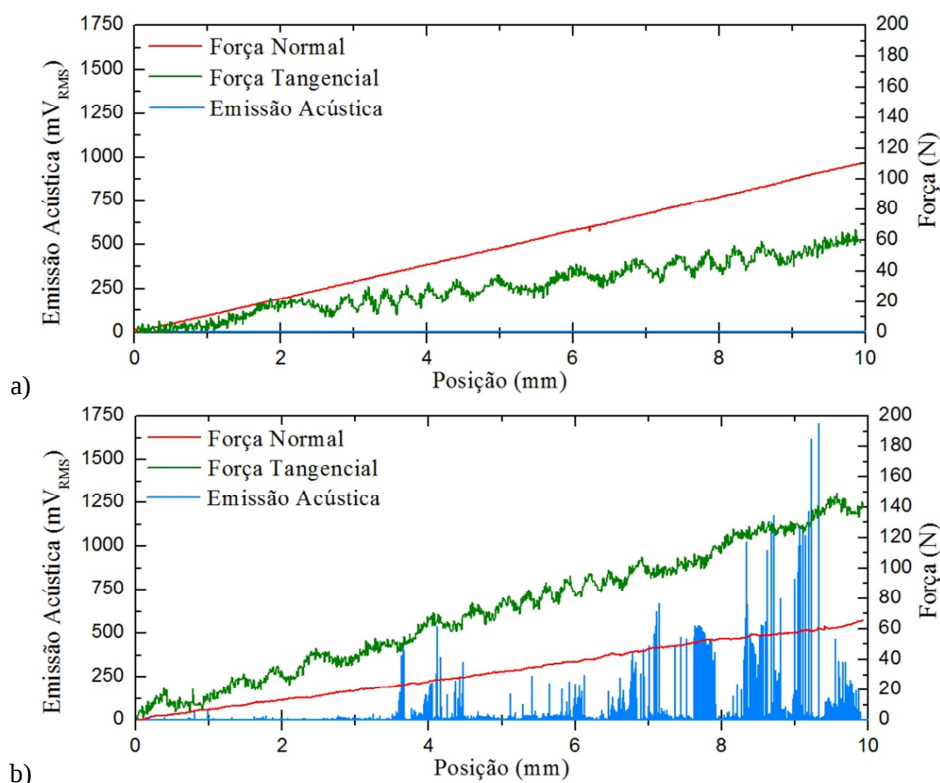


Figura 2. Força e Emissão Acústica em ensaios de riscamento com indentadores de (a) 120° e de (b) 40°.

Tais resultados são facilmente explicáveis pelas imagens no microscópio da Fig. (3). No caso do penetrador de 120°, nota-se claramente que houve apenas sulcamento simples, sem nenhum outro mecanismo tribológico. O risco teve um aspecto limpo e sem irregularidades, resultando numa baixa força de atrito e com quase nenhuma emissão acústica. Em contrapartida, o risco feito pelo penetrador de 40° apresentou diversas formas de degradação e um aspecto grosseiro. Em imagens com ampliação maior, pôde-se detectar trincas, que refletiram em uma alta força de atrito e em picos de emissão acústica na faixa de 250 a 1750 mV_{RMS}. Isso demonstra que o sinal RMS é plenamente capaz de identificar a ocorrência de mecanismos de desgaste. O comportamento frágil no penetrador com menor ângulo está de acordo com o apresentado por Briscoe *et al.* (1996), e faz sentido uma vez que os esforços sobre a superfície do polímero estão mais concentrados em uma região pequena. O aspecto dos riscos em polímeros usando penetradores cônicos foram similares aos encontrados em Sinha e Lim (2006).

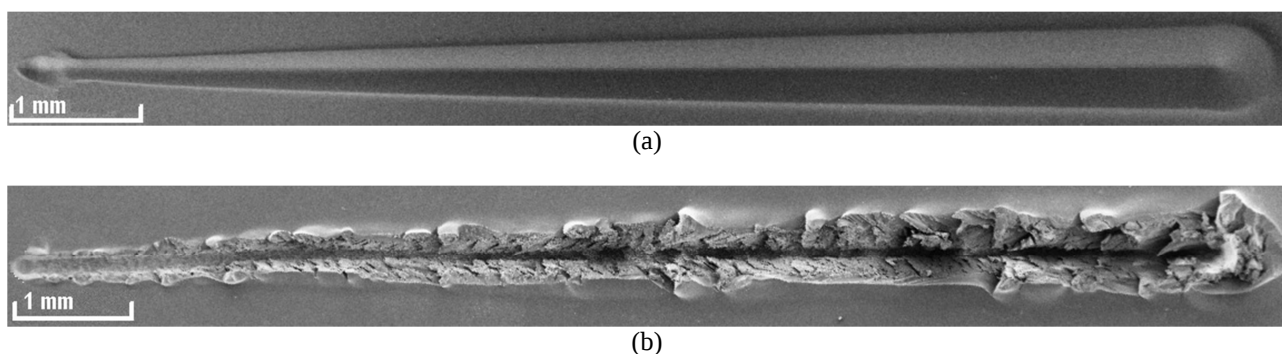


Figura 3. Imagens em MEV dos ensaios de riscamento do PS com indentadores de (a) 120° e (b) 40°.

A avaliação do espectro de frequências foi feita através da análise da média entre os PSDs de cinco *bursts* de emissão acústica que ocorreram ao longo do trecho do risco entre 7,5 e 8 mm. O mesmo foi feito para cinco trechos do sinal acústico do risco com penetrador de 120°. Os resultados são apresentados na Fig. (4), e mostram claramente como o espectro no caso sem trincas é desprezível quando comparado ao outro caso, forçando inclusive o uso de escalas diferentes. Nota-se que no caso do penetrador de 40° surgiram diversos picos entre as frequências de 13 e 50 kHz, além de um em 85 kHz e outro em 132 kHz, sendo que o maior deles foi em baixa frequência (13,2 kHz), o que era esperado tendo em vista o alto amortecimento que materiais poliméricos apresentam.

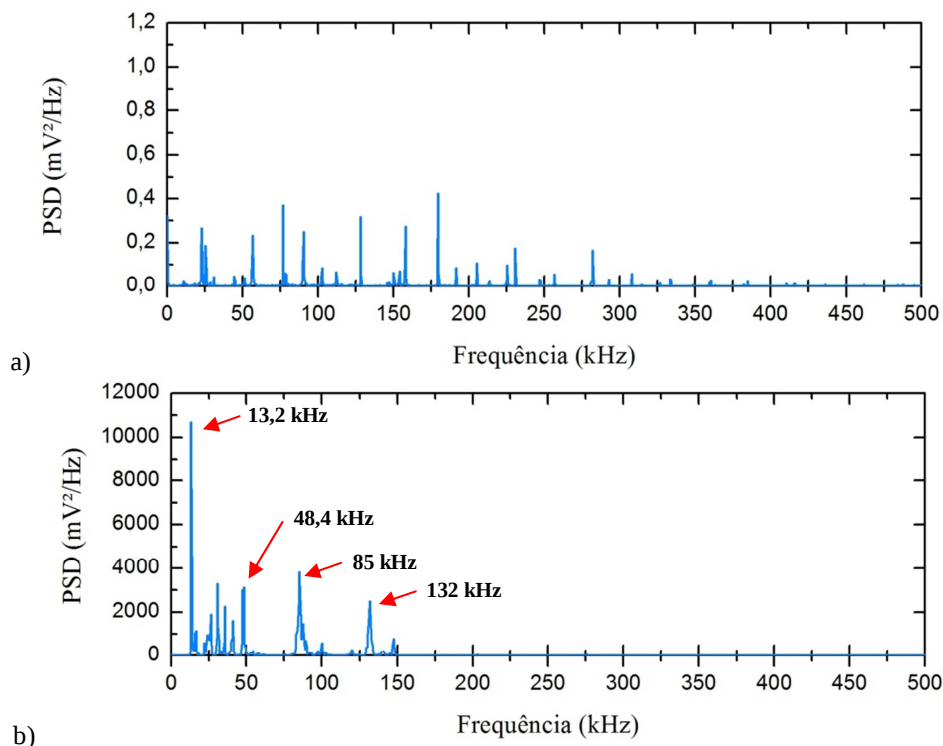


Figura 4. PSD médio em ensaios de riscamento do PS com indentadores de (a) 120° e de (b) 40°.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As conclusões tiradas deste experimento são: 1) o ângulo do penetrador cônico é fator um determinante nos mecanismos tribológicos em riscamento de polímeros, 2) o estudo do sinal de EA no tempo já é capaz de apontar a ocorrência de mecanismos de desgaste neste tipo de ensaio e 3) os mecanismos tribológicos de degradação presentes no riscamento de PS não geram eventos acústicos significativos além da frequência de 150 kHz quando se trabalha com o sensor utilizado. Ao que tudo indica, o método da Emissão Acústica será uma excelente ferramenta na análise de trincas em materiais poliméricos. Espera-se que diferentes penetradores e diferentes materiais levem a diferenças no espectro do sinal acústico de riscamentos de polímeros em investigações futuras.

6. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T., 2008, "Instrumentação e controle de um macroesclerômetro para análise de revestimentos tribológicos", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS), 2012, "E1316 - Standard Terminology for Nondestructive Examinations".
- BRISCOE, B. *et al.*, 1996, "Scratching maps for polymers", *Wear*, v. 200, p. 137–147.
- FRANCO, S. D., 2006, "Otimização de materiais para enrijecedores de linhas flexíveis", relatório interno do Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia.
- HASE, A., MISHINA, H., WADA, M., 2012, "Correlation between features of acoustic emission signals and mechanical wear mechanisms", *Wear*, v. 292-293, p. 144–150.
- KALOGIANNAKIS, G. *et al.*, 2008, "Identification of wear mechanisms of glass/polyester composites by means of acoustic emission", *Wear*, v. 264, p. 235–244.
- PIOTRKOWSKI, R. *et al.*, 2005, "Ti and Cr nitride coating/steel adherence assessed by acoustic emission wavelet analysis" *NDT & E International*, v. 38, n. 4, p. 260–267.
- SINHA, S., LIM, D., 2006, "Effects of normal load on single-pass scratching of polymer surfaces", *Wear*, v. 260, n. 7-8, p. 751–765.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.