

duras mais rombudas e resistentes mecanicamente, resultando em quantidades apreciáveis de material removido.

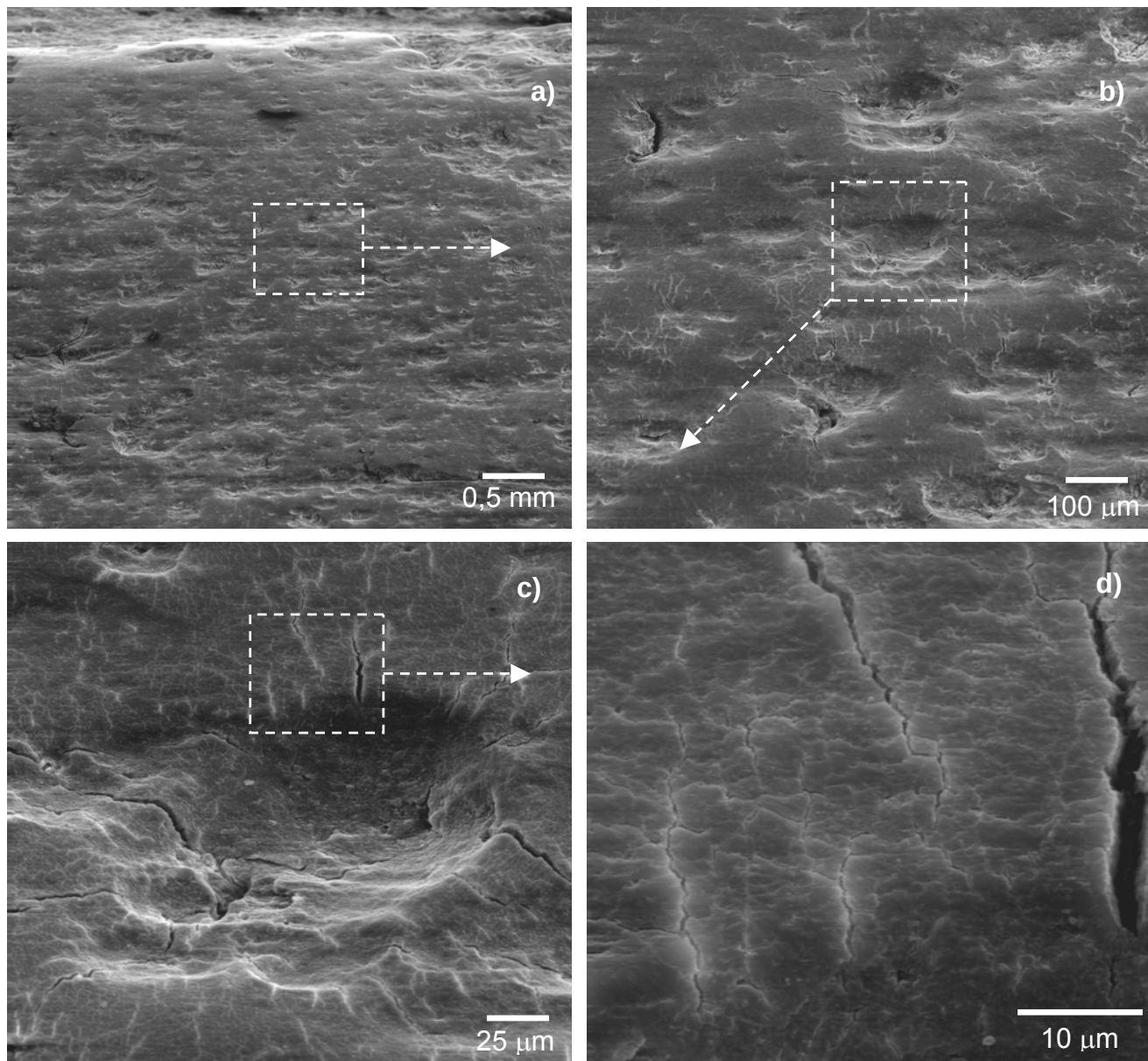


Figura 2.24 – Calha, PU, região sem riscos, a) vista geral, b) c) e d) detalhes, FRANCO, (2002).

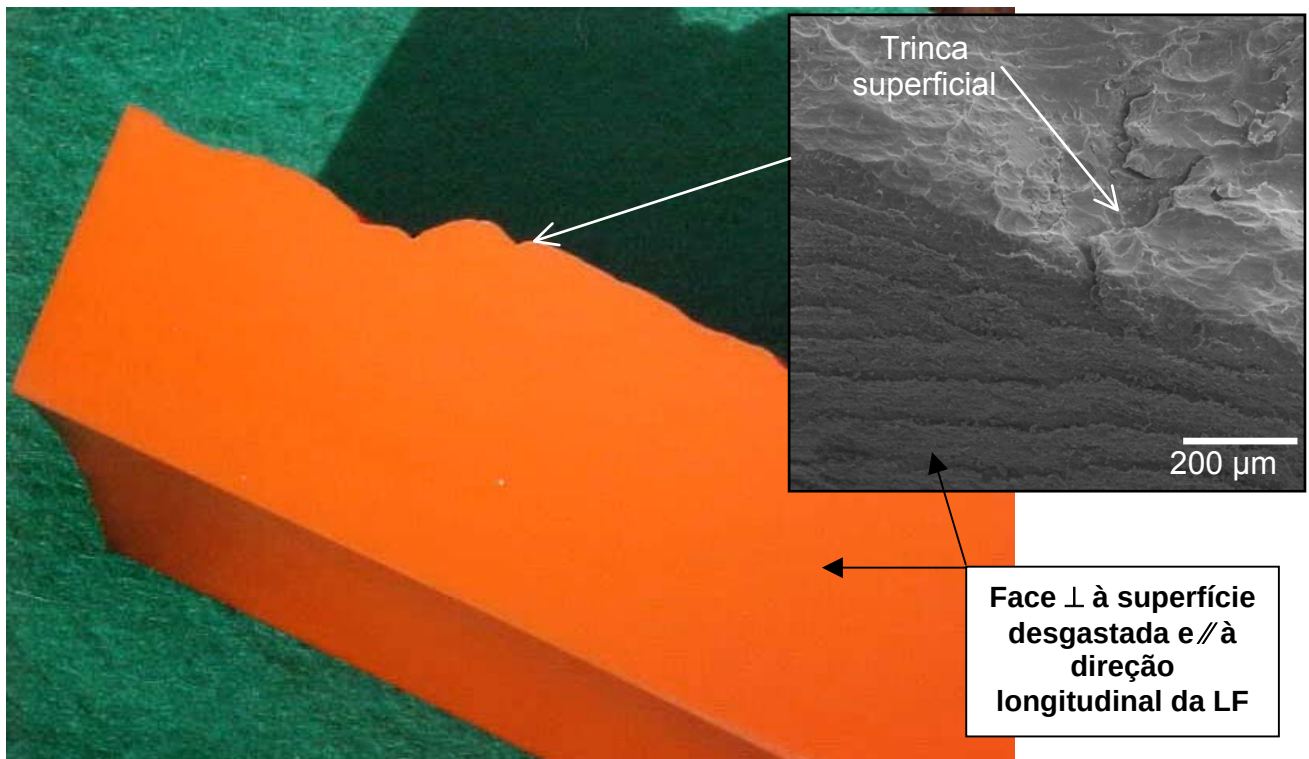


Figura 2.25 - Seção longitudinal mostrando que as microtrincas observadas na superfície desgastada estão confinadas à região sub-superficial, FRANCO, (2002).

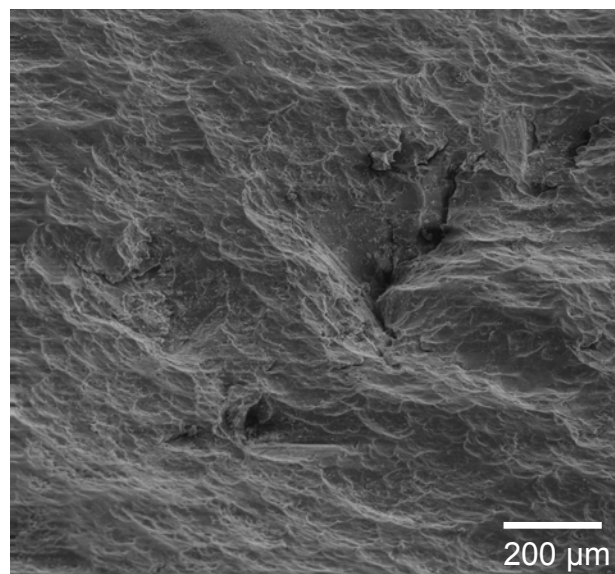


Figura 2.26 – Evento gerado muito provavelmente pela indentação de asperidades duras contra o PU, FRANCO, (2002).

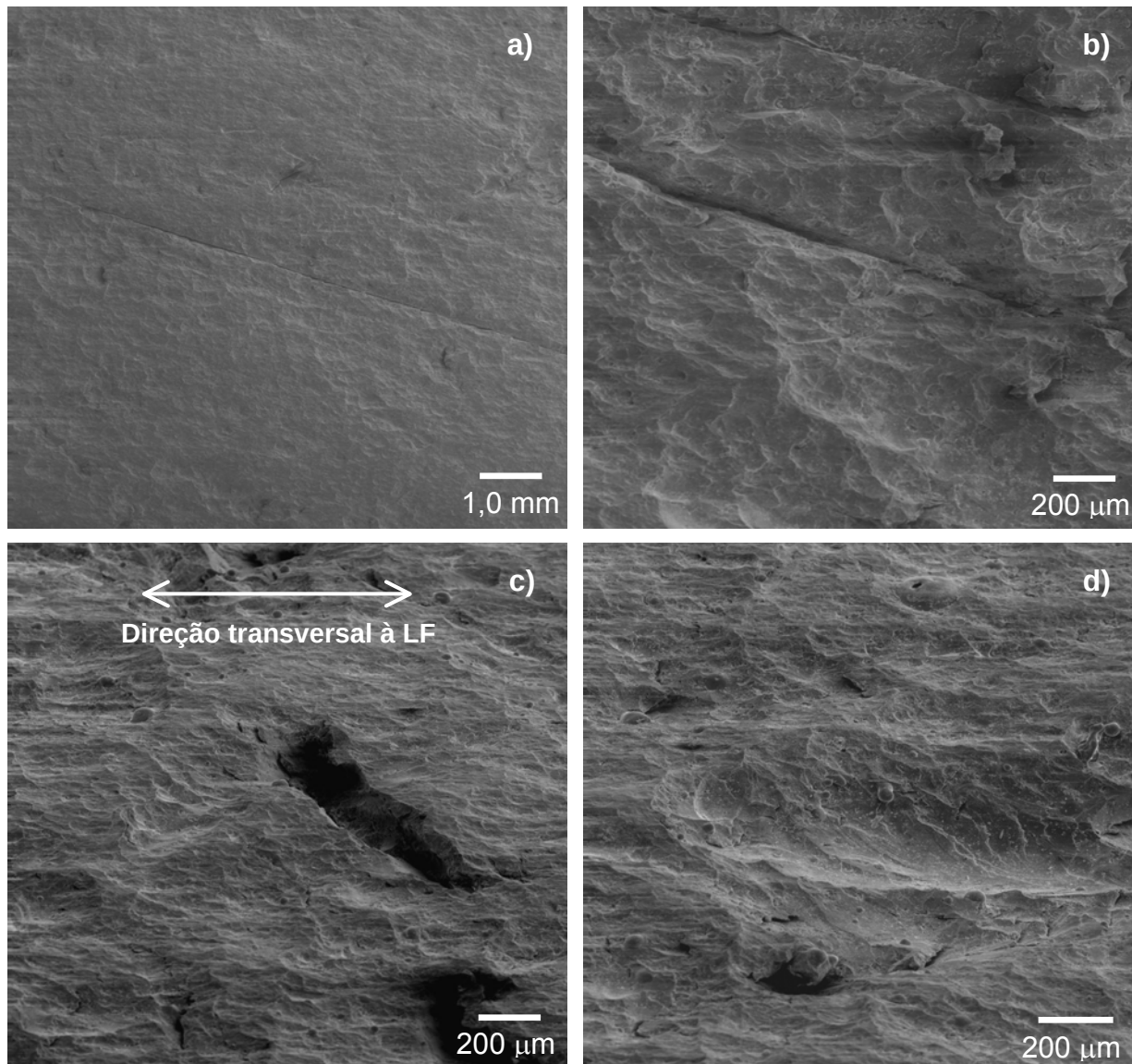


Figura 2.27 – Superfície do PU após 44 meses de uso, aspecto de cortes, FRANCO, (2002).

Anteriormente, a avaliação do desempenho destes materiais vem sendo feita, no Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia, através de duas abordagens: através de ensaios de desgaste abrasivo normatizados pela DIN 53.516 à temperatura de 4°C, (RAMOS NETO, 2003) e com ensaios de esclerometria pendular também a 4°C, ambos com o propósito de simular os eventos de desgaste que ocorrem no fundo do mar, (FRANCO, 2001), **figura 2.28**. A comparação dos resultados desses ensaios com amostras de material utilizado em campo revelam semelhança entre os mecanismos de desgaste. Desta forma,

pôde-se determinar os parâmetros de teste que reproduzem os mecanismos de desgaste abrasivo em águas profundas, (FRANCO, 2002 e PAES *et al.*, 2002).



a)



b)

Figura 2.28 – Equipamentos utilizados atualmente para avaliação do desgaste abrasivo em linhas flexíveis: a) Esclerômetro pendular e b) abrasômetro DIN 53.516.

Os ensaios de desgaste abrasivo via esclerometria pendular são conduzidos em pêndulos dotados de um penetrador, que percute na amostra gerando um risco. O princípio de funcionamento da técnica é apresentado na **figura 2.28a**. A energia específica de riscamento, dada pela relação entre a energia necessária para gerar um risco e a massa removida, é um parâmetro de rápida obtenção, e representativo da resistência à abrasão dos materiais para várias situações práticas (BRYGGMAN *et al.*, 1985). Além disso, uma boa correlação entre ensaios de desgaste abrasivos, inclusive no que concerne à morfologia da deformação, mecanismos de desgaste e formação dos fragmentos de desgaste foram detectadas em trabalhos anteriores (FRANCO e DE MELLO, 1992). Ou seja, através da esclerometria pendular é possível classificar diferentes materiais com relação ao desgaste abrasivo, com custos de ensaios relativamente baixos. A esclerometria pendular tem sido utilizada ainda para estudar os efeitos da profundidade de riscamento, da geometria do elemento riscante, de variáveis associadas ao material, dentre outros, sobre a energia específica de riscamento (LIU, 1996, BRYGGMAN *et al.*, 1979, SORDERBERG *et al.*, 1985).

Ensaios realizados por PAES *et al.* (2002) indicam que alguns materiais têm comportamentos diferentes para riscos grandes e pequenos, ou seja, para baixas profundidades de risco a relação da energia absorvida em deformações elásticas e aquela destinada à remoção de material (desgaste) é diferente em relação a grandes eventos. Embora a tensão do contato esteja nominalmente fixada, desde que o ângulo de ataque seja constante, os danos também variam extremamente com a profundidade. LAMY (1989) também encontrou resultados similares a

esta relação, usando um esclerômetro pendular com dispositivo onde a ação do pêndulo fornece naturalmente uma escala das profundidades e também das modalidades dos danos correspondentes.

PAES *et al.*, 2002 estudou diversos polímeros usando a técnica de esclerometria pendular. Como elementos riscantes foram utilizados penetradores piramidais confeccionados em metal duro (WC-Co) de base quadrada e extremidades truncadas ($0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$) com ângulos de ataque (40° , $52,5^\circ$, 60° , 75° e 95°).

As **figuras 2.29** e **2.30** mostram resultados de ensaios de esclerometria pendular realizado pelo autor deste trabalho (PAES *et al.*, 2002) e expressam a energia específica de riscamento para dois materiais em diferentes profundidades de risco ou perda de massa. Podem-se definir perdas de volumes de até $20 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ como sendo eventos pequenos, e perdas maiores que esse valor como sendo eventos médios e grandes. Para materiais tais como borrachas e PU's, observou-se um aumento considerável da energia específica com a redução da perda de volume. Esse efeito é clássico e bastante conhecido em trabalhos envolvendo esclerometria pendular e usinagem, sendo conhecido como efeito de escala, (BRYGGMAN, *et al.*, 1979).

Para o Nylon 11, **figura 2.29**, não foram observadas grandes diferenças entre energias específicas para os vários tamanhos de eventos, mantendo-se um comportamento praticamente linear para baixos ângulos de ataque testados. Para ângulos de ataque maiores, notou-se uma pequena tendência de aumento da energia específica ao se caminhar em direção aos grandes eventos. Esse inesperado resultado não foi explicado nesse trabalho. Percebeu-se ainda que a energia específica de riscamento é reduzida na medida em que o ângulo de ataque é aumentado. Esse é um fenômeno bem conhecido e descrito por ZUM GAHR, (1988).

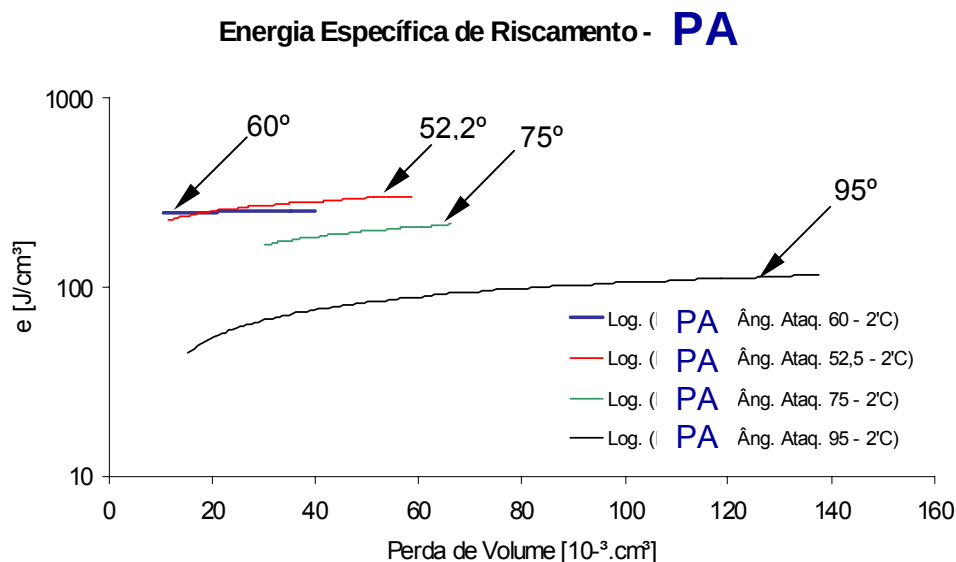


Figura 2.29 – Resultados de esclerometria pendular (energia específica em função do volume de material removido) para amostras de Poliamida (Nylon 11) utilizado em revestimento de linhas flexíveis, (PAES *et al.*, 2002). Ensaio realizado com amostras a 2°C.

Recentemente, BRISCOE *et al.*, 1999, analisaram os efeitos desse ângulo e da velocidade de riscamento de poli-metacrilato de metila (PMMA) e poliestireno (PS) sobre a energia específica de riscamento. Esses autores observaram, também, que quanto menor a velocidade de riscamento, tanto maior é a energia específica.

Para o Nylon 11, os mecanismos de desgaste predominantes foram microcorte e microsulcamento, diminuindo o microsulcamento à medida que se aumentava o ângulo de ataque, (PAES *et al.*, 2002). Para o PU-Ref, **figura 2.30**, observou-se uma diferença considerável entre energias específicas para tamanhos de eventos pequenos e grandes, principalmente em baixos ângulos de ataque (52.5° e 60°), podendo esse comportamento ser representado através de uma função de potência. Notou-se também, uma forte influência do ângulo de ataque sobre a energia específica de riscamento (escala logarítmica).