



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GGH/31

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO 1-GGH**

**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**AValiação de Composições de PTFE Visando à Aplicação em Sistema de Vedação de Vapor de Óleo de Mancais de Unidade Geradora**

**Adriano Rodrigues da Silva(\*)**  
COPEL-GeT  
**Luiz Alberto Jorge Procopiak**  
COPEL-GeT

**Rodrigo Paludo**  
Institutos LACTEC  
**Renato de Arruda Pentead**  
Institutos LACTEC

**Carlos Henrique da Silva**  
UTFPR  
**Marilda Munaro**  
Institutos LACTEC

**RESUMO**

O presente trabalho discute o comportamento tribológico do politetrafluoretileno (PTFE) e de compósitos com matriz deste material, que possam futuramente ser utilizados em sistemas de vedação de vapor de óleo de unidades geradoras de usinas hidrelétricas. Foram realizados ensaios de atrito, do tipo esfera contra disco, onde os materiais ensaiados, no formato de placas finas, deslizavam contra esferas de carboneto de tungstênio, com carga e distância percorrida constantes e em três velocidades tangenciais diferentes. Foram realizadas medições do coeficiente de atrito cinético, da temperatura na região do contato e do desgaste dos compósitos. Tais procedimentos experimentais auxiliam a análise das características e do desempenho dos materiais estudados em aplicações tribológicas. Nos ensaios observou-se que os parâmetros de coeficiente de atrito e de temperatura são influenciados pela velocidade tangencial. A temperatura no contato se eleva com o aumento da velocidade para todos os materiais estudados e o coeficiente de atrito cinético apresentou o mesmo comportamento somente para o PTFE sem carga, ficando com valores médios inalterados para os demais materiais. Com relação ao desgaste, foi verificado que os materiais adicionados ao PTFE, para a formação dos compósitos, melhoraram significativamente a resistência ao desgaste deste polímero, sendo que o que apresentou melhor desempenho (PTFE + fibras de carbono + poliéster aromático) apresentou desgaste 4 vezes menor do que o polímero puro. Os mesmos ensaios também foram realizados após envelhecimento em óleo mineral utilizado em mancais de unidades geradoras de usinas. Com relação ao envelhecimento térmico destes materiais observou-se significativa alteração no comportamento tribológico, principalmente no coeficiente de atrito cinético, devido a permeação do óleo na superfície dos materiais, sendo que o material que contém carbono e grafite apresentou os menores valores de coeficiente de atrito, por ter absorvido uma maior quantidade de óleo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Palavras-Chave: Atrito; Desgaste; PTFE; Temperatura; Mancais de Deslizamento.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As unidades geradoras de energia elétrica têm suas partes girantes apoiadas em mancais de escora ou mancais guia. Para redução de atrito, nestes mancais são aplicadas grandes quantidades de óleo lubrificantes que, por ação de calor e turbilhonamento, podem ser vaporizados e aspirados para o interior do gerador.

O óleo aspirado entra em contato com a superfície do gerador e condensa voltando à fase líquida. Este óleo pode causar três efeitos nocivos: a) danos na isolação elétrica, provocados pela interação do lubrificante sobre os vernizes isolantes; b) danos ao meio ambiente oriundos, do lançamento de alíquotas de lubrificantes nos rios, por transporte do óleo pelos canais de fuga, c) acidentes de trabalho por escorregamento e quedas.

(\*) Rua José Izidoro Biazzetto, n° 158 – sala 222 - Bloco A – CEP 81.200-240 Curitiba, PR, – Brasil  
Tel: (+55 41) 3331-3534 – Email: adriano.rsilva@copel.com

Os sistemas de vedação (labirintos) atualmente instalados nas unidades geradoras e que objetivam reter os vazamentos de vapor de óleo têm desempenho pífio, pois são, em geral, materiais rígidos que para não danificarem o eixo da unidade geradora, não trabalham em contato com as partes girantes. Ou seja, existe folga entre a parte girante e a parte fixa da máquina, impossibilitando vedação contra vazamentos. Este problema atinge usinas hidrelétricas em geral. Assim, tornou-se necessário iniciar um trabalho de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com objetivo de reduzir ou eliminar o vazamento de vapor de óleo das unidades geradoras das usinas hidrelétricas.

O fator que dificulta a solução do problema é a elevada velocidade tangencial com que os equipamentos trabalham. No caso específico de uma usina da Copel, Usina Governador Bento Munhoz da Rocha Netto, esta velocidade chega a 27 m/s em regime permanente e pode chegar a 37 m/s em rejeições de carga.

Dentre as tentativas de soluções aplicadas nas usinas da Copel, a que tem apresentado melhor desempenho é uma que corresponde a um sistema de vedação composto por um compósito de matriz polimérica (Politetrafluoretileno – PTFE) em contato com o eixo e sistema de injeção e extração de ar para remoção dos vapores do óleo do mancal, como mostra a Figura 1. Contudo, este sistema apresenta limitações de aplicabilidade para Unidades Geradoras de Médio porte, que possuam velocidades tangenciais próximas a 16 m/s.

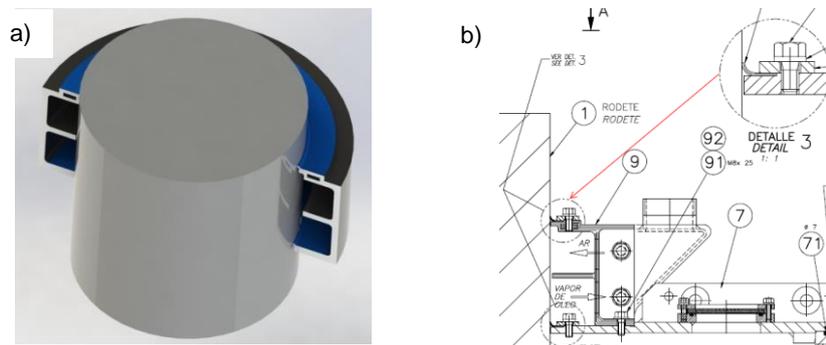


Figura 1 – Sistema de vedação com material em contato com o eixo. a) Desenho esquemático; b) Detalhe em corte.

Para velocidades superiores a esta, ainda não se encontrou solução efetiva, pois devido à alta velocidade tangencial, na ordem de 30 m/s, os materiais normalmente utilizados em vedações não suportam o atrito gerado. Assim, torna-se necessário estudar o comportamento de materiais com boas propriedades tribológicas, que venham a ser uma opção para futuros sistemas de vedação submetidos ao contato com eixos girando a elevadas velocidades tangenciais.

Neste trabalho serão apresentados resultados tribológicos obtidos para compósitos poliméricos de PTFE, procurando identificar o melhor material para aplicação como sistemas de vedação de vapor de óleo de usinas hidrelétricas. Este trabalho faz parte do Projeto PD 6491-0267/2012 intitulado "DESENVOLVIMENTO DE NOVO MÉTODO DE VEDAÇÃO DE MANCAIS PARA ELIMINAÇÃO OU MITIGAÇÃO DE VAZAMENTOS E/OU VAPORIZAÇÃO DO ÓLEO UTILIZADO COMO LUBRIFICANTE" da COPEL Geração e Transmissão dentro do Programa de P&D regulado pela ANEEL.

## 2.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados, comparativamente, quatro materiais comerciais, laminados, denominados como amostras A, B, C e D, sendo um deles o termoplástico Politetrafluoretileno (PTFE) e os demais compósitos com matriz deste polímero. As composições químicas informadas nas fichas técnicas dos respectivos fabricantes estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química das amostras

Material	Concentração (%)			
	A	B	C	D
Politetrafluoretileno (PTFE)	100	80	90	75
Fibra de Carbono (fibra curta)	0	0	5	0
Fibra de Vidro (fibra curta)	0	15	0	0
Poliéster Aromático	0	0	5	0
Bissulfeto de	0	5	0	0

Molibdênio (MoS <sub>2</sub> )				
Carbono (negro de fumo)	0	0	0	23
Grafite	0	0	0	2

Os materiais estudados foram ensaiados em duas condições distintas: 1- materiais novos (antes do envelhecimento em óleo); 2 – materiais após terem sido submetidos ao envelhecimento em óleo mineral. Foram realizadas medições do coeficiente de atrito cinético (COF), da temperatura na superfície e do desgaste para avaliar o comportamento tribológico deles.

### 2.1 Envelhecimento em óleo

Para compreender os efeitos do envelhecimento dos compostos nas propriedades dos materiais as amostras foram submetidas ao envelhecimento em óleo lubrificante. O envelhecimento foi feito em estufa do fabricante Marconi, com circulação forçada de ar. As amostras ficaram totalmente imersas em óleo Texaco Regal R&O 68 pelo período de 168 horas, na temperatura de 105° C. O óleo corresponde ao mesmo óleo utilizado nos mancais das unidades geradoras da UHE GBM.

### 2.2 Ensaio de tribologia

Para a medição do coeficiente de atrito cinético foi utilizado um tribômetro do tipo esfera contra disco, modelo UMT2 de fabricação CETR/Bruker, do Laboratório de Superfícies e Contato (LASC)). Os ensaios foram realizados seguindo orientações da norma ASTM G99-2010.

Foram realizados ensaios com 3 níveis de velocidade de deslizamento 2, 4 e 6 m/s, carga de 4 N e distância de deslizamento de 2000 metros. Para cada condição de ensaio foram realizadas 3 repetições. Esferas de Carbetto de Tungstênio (metal duro) foram utilizadas como pino e os materiais poliméricos em formato de disco.

Para o cálculo dos COFs foram realizadas médias aritméticas dos 3 ensaios, após período de *running-in*.

#### 2.2.1 Medição da temperatura no contato

Para a medição da temperatura da superfície dos discos durante os ensaios de desgaste, foi utilizado um termovisor modelo Flir ThermoCam E45. Para a apresentação dos resultados foi considerada a temperatura máxima de uma área demarcada na região do contato. Foram realizadas, em média, 7 (sete) aquisições de temperaturas durante cada ensaio de desgaste. Os tempos de aquisição foram espaçados de forma a se obter uma curva de comportamento da temperatura na superfície, em função da distância percorrida no ensaio.

#### 2.2.2 Medição do desgaste

O parâmetro utilizado para quantificar os desgastes foi à perda de massa. Esta quantificação foi obtida através do cálculo das perdas de massas das amostras, obtidas com as pesagens das mesmas antes e após os ensaios. Para tal, foi utilizada uma balança Shimadzu - AUY 220, com precisão de 0,1 mg. Antes de cada pesagem, as amostras foram armazenadas dentro de um dessecador pelo período de 24 horas, para eliminar eventual umidade absorvida.

#### 2.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a análise das regiões desgastadas, foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando equipamento da marca Tescan, modelo VEGA 3.

## 3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para o comportamento dos coeficientes de atrito em função da distância percorrida nos ensaios de tribologia apresentaram a presença do transiente inicial (*running-in*) e estado permanente (*steady-state*), conforme comentado por Hutchings (1992). Assim, para o cálculo dos coeficientes de atrito médios, considerou-se somente a região do estado permanente. Para isso, estabeleceu-se que a média fosse calculada após uma determinada distância percorrida pelo ensaio. Para o cálculo das médias foi considerado o intervalo de 1000 metros até 2000 metros.

Os valores de coeficiente de atrito dinâmico entre os quatro materiais e as esferas de Carboneto de Tungstênio, para as diferentes velocidades tangenciais, antes e após o envelhecimento em óleo, estão apresentados na Figura 2.

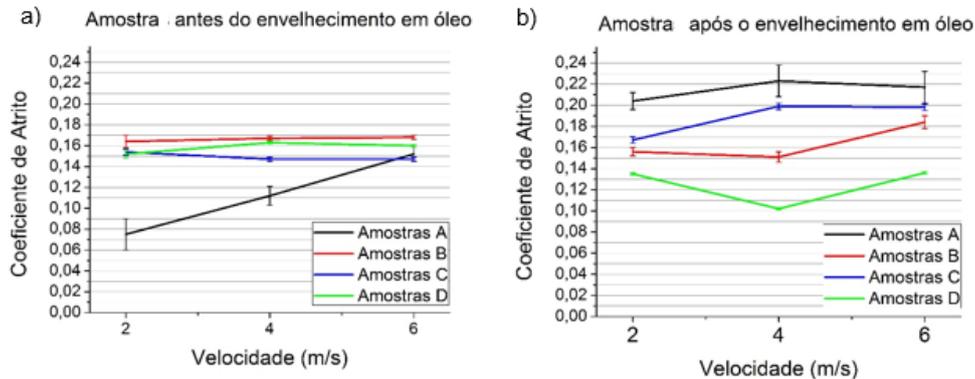


Figura 2 – Coeficientes de atrito cinético para cada velocidade. a) Antes do envelhecimento em óleo. b) Após o envelhecimento em óleo.

Os resultados para a condição antes do envelhecimento mostram que a amostra A apresentou os menores valores de coeficiente de atrito dinâmico (COF), no entanto, os valores aumentaram com o aumento da velocidade de deslizamento. Para o caso desta amostra, o aumento do COF em função do aumento da velocidade tangencial pode estar associado com o aumento da temperatura, pois como será visto na Figura 3, a amostra A apresentou aumento da temperatura no contato em função do aumento da velocidade tangencial. Segundo Silva (2006), um aumento na temperatura leva a uma redução gradual no módulo de elasticidade e na resistência ao cisalhamento, com um conseqüente aumento da área real de contato, aumentando a adesão entre os corpos.

A amostra B não apresentou alteração significativa do COF com o aumento da velocidade tangencial, enquanto que a amostra C apresentou pequena redução. Já a amostra D apresentou pequeno aumento do COF com a variação da velocidade tangencial de 2 m/s para 4 m/s e permaneceu praticamente constante de 4 m/s para 6 m/s.

Para a condição após o envelhecimento em óleo nota-se que a amostra A não apresentou o mesmo comportamento do que no caso anterior, sendo que o COF aumentou quanto a velocidade passou de 2 m/s para 4 m/s e depois reduziu quando passou de 4 m/s para 6 m/s. Além disso, os valores do COF não foram tão baixos como os encontrados anteriormente. A amostra B teve comportamento similar para as velocidades tangenciais de 2 m/s e 4 m/s e aumento para 6 m/s. A amostra C apresentou aumento no COF com o aumento da velocidade tangencial de 2 m/s para 4 m/s e permaneceu constante de 4 m/s para 6 m/s. A amostra D apresentou os menores coeficientes de atrito, sendo o menor valor encontrado para a velocidade de 4 m/s.

O comportamento da amostra D pode estar associado a maior absorção de óleo, pelo fato deste material ser poroso, como será visto na seção Figura 6.

Maiores COFs significam maior energia perdida em forma de atrito, o que não é desejável para aplicações em sistemas mecânicos. Porém, como o objetivo deste estudo é indicar um material que possa ser utilizado em vedações, é necessário considerar não só o COF, mas também, com mesmo ou até maior grau de importância, o desgaste, tendo em vista a necessidade de durabilidade de componentes mecânicos.

Com esses resultados foi possível verificar que, apesar da amostra A ter valores de COF menores inicialmente este parâmetro aumentou com a velocidade, o que pode ser um problema para aplicação desse material em altas velocidades. Ainda, quando envelhecido em óleo a amostra A teve o maior COF, indicando que a temperatura e o contato com o óleo pioram o desempenho tribológico deste material. As demais amostras não tiveram grandes alterações, sendo que os melhores desempenhos foram para as amostras C e D.

Como para cada condição de ensaio de trilografia nas amostras (velocidade tangencial e material) foram realizados três ensaios de deslizamento, para efeitos de comparação de resultados, foi considerada a maior temperatura medida para cada caso e calculada a média aritmética dos três valores, os resultados da medida de temperatura da superfície estão apresentados na Figura 3. Para todos os casos, a temperatura da superfície na região do desgaste aumentou com o aumento da velocidade tangencial de deslizamento. As maiores temperaturas, considerando para todas as condições ensaiadas, foi para a amostra A na velocidade de 6 m/s, tanto para antes e após o envelhecimento em óleo. As menores temperaturas obtidas, antes do envelhecimento em óleo, ocorreram para a amostra C, atingindo 27,1° C para 2 m/s. Para a condição após o envelhecimento, a amostra que teve a menores temperaturas foi a D, com valores na ordem de 28,4° C, também para 2 m/s.

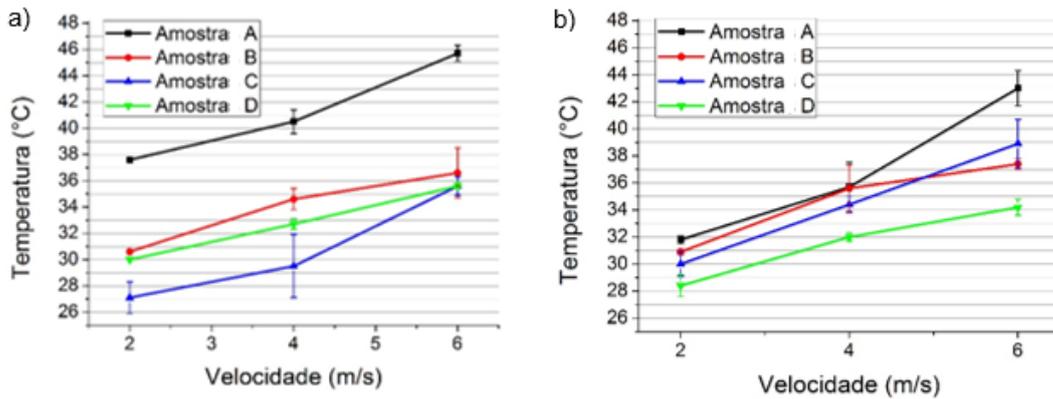


Figura 3 – Variação da temperatura em função da velocidade. a) antes do envelhecimento em óleo; b) após o envelhecimento em óleo.

O aumento da temperatura normalmente é seguido de uma redução de propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade, com conseqüente aumento do atrito (SILVA, 2006) o que foi observado claramente na amostra A. Assim, para a condição antes do envelhecimento, o material C é o mais indicado para utilização em velocidades de 2 m/s e 4 m/s e os materiais B, C e D para a velocidade de 6 m/s.

Para a condição após o envelhecimento em óleo, o material D é o mais indicado, para todas as velocidades testadas, pois atingiu as menores temperaturas superficiais, dentre os materiais estudados.

Na Figura 4 são apresentados os resultados das medições de desgaste mássico, para as amostras antes do envelhecimento em óleo. Verifica-se que o material A (PTFE) apresentou o pior desempenho no desgaste, enquanto que o material C (PTFE + fibras de carbono + poliéster aromático) apresentou o melhor, tendo perdido até 4 vezes menos material que aquele. Este maior desgaste da amostra A também foi observado por Farias *et. al.* (2007), por Song *et. al.* (2016) e por Khoddamzadeh *et. al.* (2009) em testes de desgastes comparativos entre o PTFE e compósitos com matriz deste material. Segundo Conte e Igartua (2012), o aumento da condutividade térmica e da difusividade do PTFE, através da adição de outros materiais, melhora a resistência ao desgaste por adesão.

O material A apresenta aumento do desgaste quando a velocidade tangencial de deslizamento passa de 2 m/s para 4 m/s e redução, voltando ao mesmo patamar dos 2 m/s, quando passa de 4 m/s para 6 m/s.

O comportamento do desgaste do material C pode ter relação com o coeficiente de atrito, tendo em vista que este material apresenta o COF menor do que os materiais B e D, conforme pode ser verificado na Figura 2. Ainda, o COF deste material diminuiu com o aumento da velocidade, podendo ter contribuído com a redução do desgaste com o aumento da velocidade.

O material B, também apresentou baixo desgaste para as velocidades tangenciais de 2 m/s e 6 m/s, porém o desgaste aumentou para a velocidade de 4 m/s. Conforme proposto por Bauri e Surappa (2008), a adição de fibras de carbono e de vidro melhoram a resistência ao desgaste do PTFE, devido a estes materiais atuarem no sentido de suportarem as cargas aplicadas ao compósito.

O material D apresentou desgaste praticamente constante para as velocidades de 2 m/s e de 4 m/s e pequena redução para 6 m/s. Como este material teve desempenho pior do que os materiais B e C, supõe-se que a influência do grafite como lubrificante sólido tenha sido menor do que a influência do MoS<sub>2</sub> e do poliéster aromático. Isto pode estar associado à relação de quantidade entre grafite e carbono (somente 2% de grafite para 23% de carbono) pois, Bauri e Surappa (2008) encontraram desgastes mais baixos para o composto contendo 75% PTFE + 18% de carbono + 7 % de grafite. Uma maior quantidade de grafite pode contribuir com a redução do desgaste.

Esperava-se que o material B tivesse um melhor desempenho do que o C, por ter uma maior quantidade de fibras em sua composição. Porém o material C apresentou o melhor desempenho. Isto pode ser influência da lubrificação sólida e enrijecimento promovido pelas grandes cadeias do poliéster aromático. Ou ainda, segundo Song *et. al.* (2016) e Bauri (2008), quando as fibras de vidro são removidas da matriz do compósito, por efeito do atrito, as mesmas tentem a atuar como partículas abrasivas, causando danos tanto no compósito quanto no contra corpo. Khoddamzadeh *et. al.* (2009) considera que quaisquer partículas de maior dureza possam causar desgaste por abrasão quando se soltam da matriz do compósito, elevando a taxa de desgaste. Como o material B possui mais fibras do que o C supõe-se que ele tenha apresentado maior desgaste por abrasão.

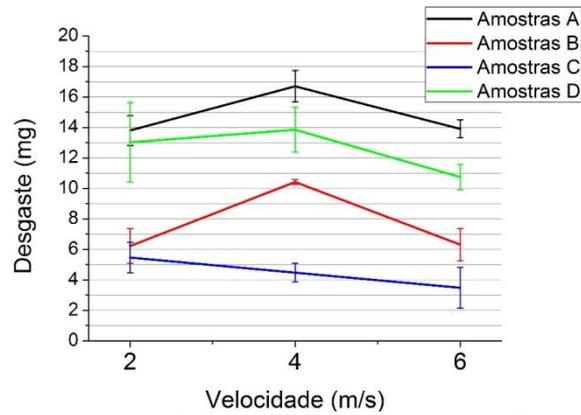


Figura 4 – Curvas de desgaste (mg) em função das velocidades ensaiadas. Observação: os pontos do gráfico foram conectados por retas apenas para facilitar a visualização.

Comparando-se os resultados da Figura 4 com os da Figura 2 (a), verifica-se que o desgaste pode não estar diretamente relacionado com o coeficiente de atrito. O material que apresentou o menor coeficiente de atrito foi o A, porém, este mesmo material foi o que apresentou o pior desgaste. Esta não relação entre taxa de desgaste e coeficiente de atrito também foi observada por Khoddamzadeh et. al. (2009).

Por outro lado, o desgaste parece estar associado com a temperatura, pois, como pode ser verificado na Figura 3 (a), o material A atingiu as maiores temperaturas superficiais entre os materiais estudados. Segundo Blau (2009), com o aumento da temperatura, tanto o material quanto o filme transferido passam a suportar menos carga, o que pode aumentar a taxa de desgaste.

A Figura 5 mostra exemplos da transferência de filme para a superfície do contra corpo (esferas) durante os ensaios de desgaste. É possível observar que o material A transfere material em forma de partículas enquanto que o filme transferido dos materiais B, C e D parecem se aglomerar nas esferas, formando uma espécie de cavacos. Para o material A, a fragmentação das partículas é maior do que os demais materiais. Segundo Song *et. al.* (2016), a redução da taxa de desgaste está associada a transferência de filme de forma contínua. Segundo Bauri e Surappa (2008), enchimentos, em geral, reduzem a fragmentação do PTFE em larga escala e, conseqüentemente, diminuem a taxa de desgaste.

Os filmes transferidos pelas amostras B, C e D tiveram comportamento mais contínuo que os da amostra A que por sua vez apresentou fragmentação do filme, resultando em um maior desgaste.

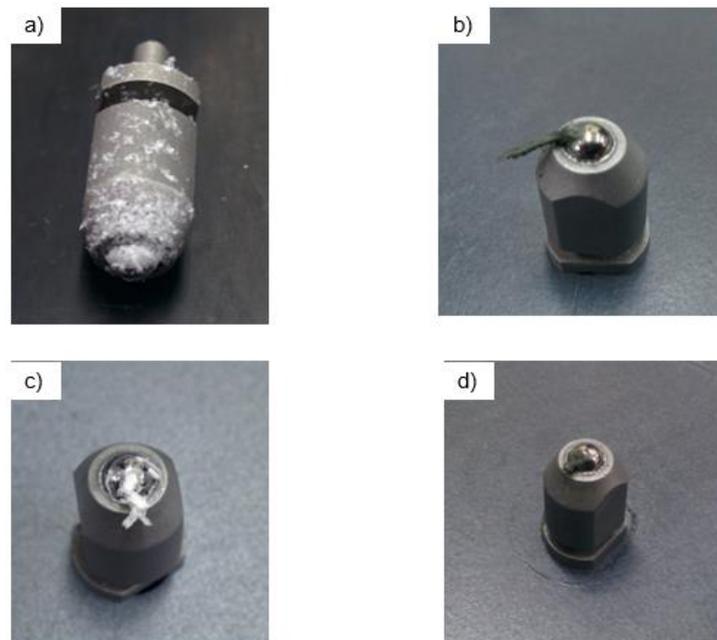


Figura 5 – Imagem do porta-esfera com partículas de desgaste após os ensaios de atrito. a) Amostra A; b) Amostra B; c) Amostra C; d) Amostra D.

Nas análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), Figura 6, foi possível observar desgaste abrasivo nas

amostras B e C, provenientes das fibras que foram arrancadas da matriz polimérica. Também foi possível verificar deformação plástica em todas as amostras. Segundo Blau (2009), o desgaste em polímeros acontece principalmente devido a adesão entre as superfícies e a deformação da superfície de menor dureza. Na amostra D foi verificado elevada presença de poros, o que pode prejudicar a resistência ao desgaste, mas, por outro lado, pode contribuir com a absorção de óleo, tendo em vista os menores valores de COF obtidos nos ensaios de atrito com as amostras após o envelhecimento em óleo.

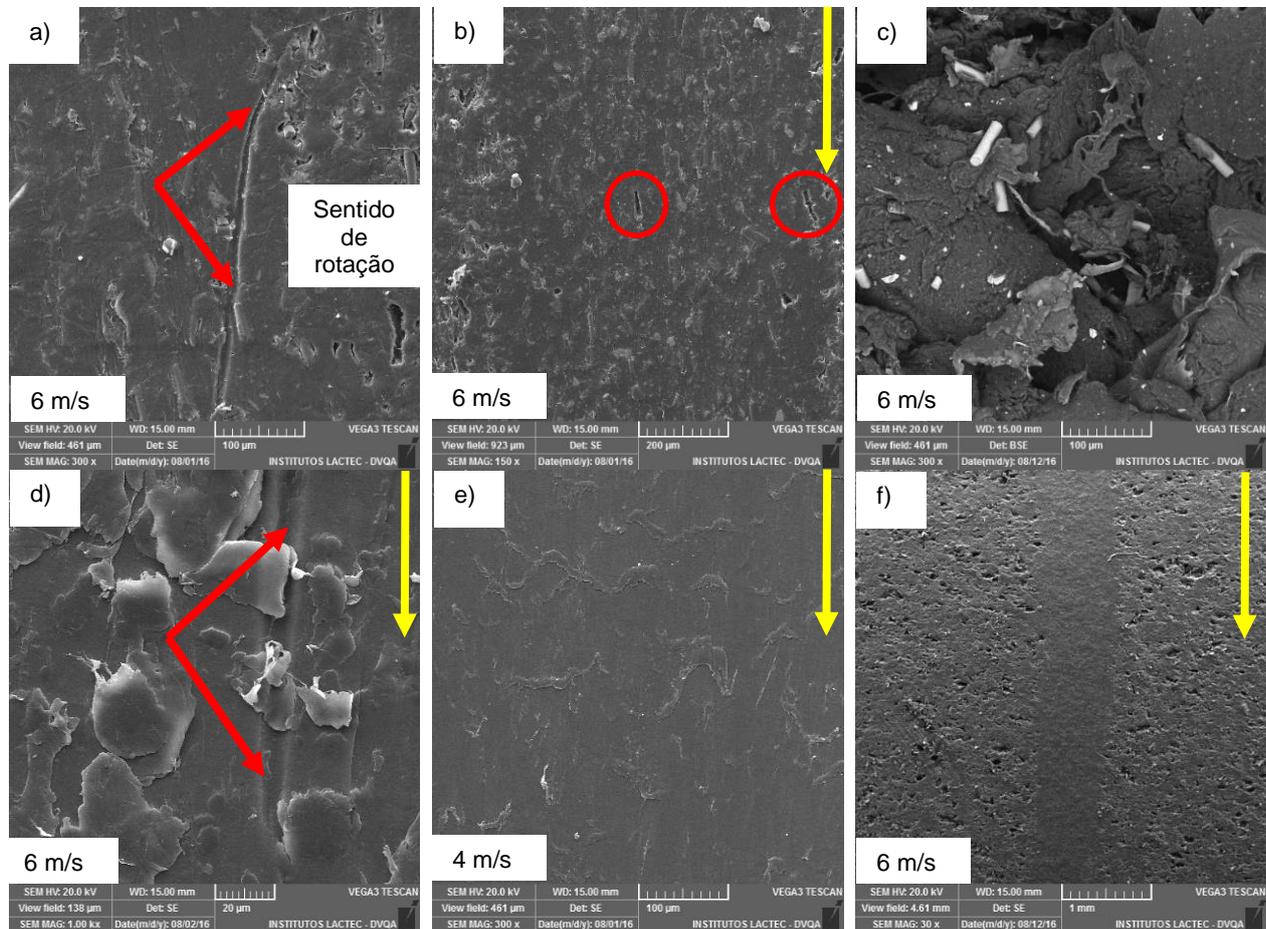


Figura 6 – Imagens da superfície de desgaste obtidas por MEV. a) e b) Amostra B (PTFE + Fibra de vidro +  $\text{MoS}_2$ ) com desgaste abrasivo na superfície; c) Partículas de desgaste da amostra b contendo fibras de vidro; d) Amostra C (PTFE + Fibra de carbono + poliéster aromático); e) Amostra A (PTFE) com deformação na superfície; f) Amostra D (PTFE + carbono + grafite) com elevada quantidade de poros na superfície.

A adição de fibras como elemento de reforço do PTFE tende a melhorar a resistência ao desgaste deste material. Porém, quando estas fibras se desprendem da matriz, provocam desgaste abrasivo dos corpos em contato. Desta forma, o compósito C se mostra uma opção para futuros sistemas de vedação, pois, com uma quantidade pequena de fibras de carbono (5% em volume) foi possível obter um desgaste menor do que o compósito B, que contém uma maior quantidade de fibras.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Dos ensaios realizados com o intuito de avaliar o comportamento tribológico do PTFE e de 3 compósitos com matriz deste polímero pode-se concluir:

- A temperatura na região do contato aumenta com o aumento da velocidade tangencial de deslizamento, para todos os materiais estudados;
- Nos ensaios de desgaste com o PTFE puro observou-se as maiores temperaturas superficiais dentre os materiais estudados. Isto pode estar ao fato de os elementos adicionados ao PTFE para formar os compósitos estudados aumentam a condutividade térmica do mesmo;

- O PTFE puro apresentou os menores valores do coeficiente de atrito cinético, porém foi o material que mais perdeu massa durante os ensaios de atrito. Assim, baixos coeficientes de atrito não necessariamente resultam em baixo desgaste;
- O material que contém carbono e grafite (material D) apresentou desgaste mais acentuado do que os materiais que contém fibras de vidro e de carbono, possivelmente porque a quantidade de grafite presente no compósito era muito pequena para atuar efetivamente como um lubrificante sólido;
- Com relação ao material mais indicado para a utilização sem lubrificação, o material C (90% PTFE + 5% fibra de carbono + 5% poliéster aromático) é o recomendado, pois foi o que apresentou o menor desgaste, independentemente da velocidade de deslizamento ensaiada. Já para a condição em contato com óleo lubrificante, apesar de não ter-se conseguido quantificar o desgaste, o material D (75% PTFE + 23% carbono + 2% grafite) é o mais indicado, pois apresentou o menor coeficiente de atrito cinético durante os ensaios realizados, possivelmente pelo fato de ser poroso e, assim, absorver uma considerável quantidade de óleo.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) HUTCHINGS, I. M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 1st. ed. London: Butterworth Heinemann, 1992.
- (2) SILVA, R. C. L. DA. Mecanismos de Desgaste de Poliuretano em Ensaios de Microabrasão. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.
- (3) N VALE, J. L. DO. Estudo do Comportamento Tribológico do Politetrafluoretileno em Deslizamento sem Lubrificação Contra Aço Inoxidável. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- (4) FARIAS, A. C. M. DE et al. DESGASTE DO PTFE COM E SEM CARGA EM ENSAIOS DE DESLIZAMENTO ROTATIVO COM AÇO AISI 1045. Nono Congresso Brasileiro de Polímeros, v. file:///D:, 2007.
- (5) SONG, F.; WANG, Q.; WANG, T. Effects of glass fiber and molybdenum disulfide on tribological behaviors and PV limit of chopped carbon fiber reinforced Polytetrafluoroethylene composites. Tri, 2016.
- (6) SONG, F.; WANG, Q.; WANG, T. Effects of glass fiber and molybdenum disulfide on tribological behaviors and PV limit of chopped carbon fiber reinforced Polytetrafluoroethylene composites. Tri, 2016.
- (7) CONTE, M.; IGARTUA, A. Study of PTFE composites tribological behavior. Wear, v. 296, n. 1–2, p. 568–574, 2012.
- (8) BAURI, R.; SURAPPA, M. K. Sliding wear behavior of PTFE composites. Wear, v. 265, n. 11–12, p. 1756–1766, 2008.
- (9) BLAU, P. J. Friction Science and Technology: From Concepts to Applications. 2nd. ed. New York: CRC Press, 2009.
- (10) SILVA, R. S.; Avaliação do Desempenho Tribológico de Composições de PTFE em Ensaio Tipo Esfera Disco. Dissertação de Mestrado Profissional, Institutos LACTEC, 2017.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

- Adriano Rodrigues da Silva;

- Curitiba – PR, 1982;

- Engenheiro Mecânico – UTFPR (2009), Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia – Institutos LACTEC (2017);

- Atualmente é Engenheiro de Manutenção de Equipamentos Pleno da Copel Geração e Transmissão. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em projetos de máquinas; engenharia de manutenção de equipamentos; modernização de equipamentos; balanceamento de hidrogeradores e auxiliares mecânicos; monitoramento de equipamentos mecânicos; ensaios mecânicos em hidrogeradores; comissionamento de usinas.

- Marilda Munaro

- Santa Izabel do Oeste – PR;
- Formou-se em Química e recebeu o M. Sc. Licenciatura (2000) e Doutorado (2007) em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Paraná , Curitiba , Brasil;
- Pesquisadora sênior nos Institutos LACTEC . Suas áreas de interesse são materiais poliméricos e compósitos.

- Carlos Henrique da Silva;

- Santo André/SP, 1971;

- Graduação (Itajubá/MG – UNIFEI , 1994), Mestrado (São Paulo/SP – USP, 1998), Doutorado (São Paulo/SP – USP, 2003);

- Atualmente é professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico dentro do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Curitiba). Participa do grupo de pesquisa GrMaTS (Grupo de Materiais, Tribologia e Superfícies) e atua, principalmente, na área de tribologia de componentes mecânicos (Elementos de Máquinas) e no desenvolvimento e construção de tribômetros para o estudo do atrito (cinético e estático) e do desgaste (engrenagens e mancais de deslizamento).

- Luiz Alberto Jorge Procopiak;

- Rio Negro – PR, 1958;

- Engenheiro Mecânico – FEI (1982), Mestrado – UFSC (1996);

- Atualmente é Engenheiro Mecânico Consultor na COPEL Geração e Transmissão. Anteriormente atuou como Gerente e pesquisador no Departamento de Mecânica e Emissões dos Institutos LACTEC. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em aproveitamento de energia, atuando principalmente nos seguintes temas: cavitação, soldagem, turbina hidráulica e transformação de fase. Atua também como gestor de projetos de P&D, em especial no programa ANEEL. Atuou na área de energias renováveis, em especial eólica, solar-térmica e biomassa.

- Rodrigo Paludo;

- Nova Prata do Iguazu - PR, 1978;

- Graduação em Física – UNICS (2003), Especialista em Física e Matemática – FAFIPA (2005), Mestre em Engenharia – UFPR (2009);

- Atualmente leciona Física e atua como pesquisador dos Institutos LACTEC. Desde 2007 trabalha no desenvolvimento e coordenação de projetos de P&D nas áreas de energias Solar, Eólica e Hidráulica.

- Renato de Arruda Penteado Neto;

- Curitiba – PR, 1953;

- Engenheiro Eletricista – UFPR (1977), Mestre em Física – UFPR (1996), Doutor em Engenharia de Materiais – UFPR (2005);

- Atualmente é aluno de pós-doutorado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR. Atua nas áreas de Emissões Automotivas, Biocombustíveis e Gerenciamento de Projetos. É consultor ad hoc do CNPq. É líder do grupo de pesquisas certificado no CNPq, com o tema "Estudos sobre a emissão de poluentes e o desempenho mecânico de veículos e motores a combustão alimentados por combustíveis fósseis e biocombustíveis". Diretor da P&K Consultoria (Curitiba). Pesquisador aposentado dos Institutos Lactec, onde continua atuando como consultor na coordenação de projetos de pesquisa e em atividades correlatas. Professor de programas de pós-graduação. Membro titular do Colegiado do Curso de Mestrado profissional dos Institutos LACTEC e membro do Comitê Técnico Científico do Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (LACTEC - Curitiba). É Membro do Conselho Diretor da AEA, Associação Brasileira da Engenharia Automotiva.

## 7.0 - AGRADECIMENTOS

- COPEL Geração e Transmissão
- Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Institutos LACTEC
- P&D ANEEL