

DESEMPENHO TRIBOLÓGICO DE NANOLUBRIFICANTES ADITIVADOS COM NANOPARTÍCULAS DE ÍNDIO (In).

E.H.V. Sousa, eduardo.sousa@ifal.edu.br¹
F.A.O. Fontes, franciscofontes@uol.com.br³
E.E.B. Almeida, evertelvis@gmail.com^{1,2}

¹Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Coruripe, AL, Brasil,

²Estácio FIR – Recife, PE, Brasil.

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Natal, RN, Brasil.

Resumo: A indústria térmica mundial procura diminuir o tamanho dos sistemas térmicos, para torna-los mais eficientes e econômicos com isso gera calorosas discussões a cerca da utilização de sistemas e mecanismos de refrigeração onde o consumo de energias limpas e eficientes se faça viável no modelo atual. Tal cenário leva a um quadro em que o incentivo a alternativas levem aos fabricantes destes equipamentos a desenvolverem sistemas compactos e econômicos. Os componentes mecânicos do compressor possuem movimentos relativos que geram incrementos nos níveis de atrito, implicando na perda de material por desgaste. O objetivo deste trabalho foi estudar as características de nanolubrificantes (NL) aditivado com nanopartículas (NPs) de índio (In), para poder contribuir com a redução significativa do tamanho, peso e custos dos sistemas de transferência de calor. Para estes fins, após a aquisição das NPs de In, foram preparados três nanolubrificantes (NLs) distintos, adicionando-se 0,3 g/L aos óleos de compressores de refrigeração herméticos o ISO68, ISO32, e o Poliolester (POE). Após o processo de preparação foi mensurados os valores relativos às suas propriedades tribológicas, através dos ensaios pino contra disco e HFFF (High Frequency Reciprocating Rig), para comprovar as propriedades requisitadas. Os NLs compostos por In foram viáveis, não se fazendo necessária a utilização de tensoativos para melhorar a sua estabilidade, pois apresentaram resultados satisfatórios nos ensaios realizados, mostrando-se com propriedades de lubrificantes de extrema pressão (EP), diminuindo significativamente o coeficiente de atrito. Assim, torna-se viável a utilização NLs gerados a partir de NP de In na lubrificação de compressores herméticos de refrigeração.

Palavras-chave: NPs de In, tribologia, pino contra disco e HFRR.

1. INTRODUÇÃO.

Visando sobrepujar estas limitações ou agregando as principais vantagens dos nanocompósitos e nanofluidos (NF) os quais tem sido extensivamente aplicado nas indústrias. O objetivo deste trabalho é a produção e a caracterização de um óleo de refrigeração existente no mercado aditivando-o com NPs de para obtenção de um NL que tenha uma maior resistência ao atrito, melhor aderência, melhorando seu desempenho tribológico em regime de lubrificação limite.

Para oferecer outras características de desempenho e proteção, são adicionados às bases lubrificantes alguns componentes químicos que são chamados de aditivos. Alguns tipos de agentes EP são o enxofre, o chumbo, o cloro e o fósforo. Os aditivos de EP impedem as condições de adesão causadas pelo contato metal-metal diretamente entre as partes sob altas cargas (Xue et. al., 1997). Contudo, estes aditivos estão tendo restrições quanto ao seu uso devido aos seus impactos ambientais.

O atrito é a resistência ao movimento entre duas superfícies em contato com movimento relativo, ou na iminência de movimento. Para o primeiro caso, o atrito é conhecido como atrito cinético e para o segundo, como atrito estático. O atrito estático é superior ao cinético.

As leis básicas do atrito são:

1. A força de atrito entre dois corpos é proporcional à força normal atuante entre elas (a constante de proporcionalidade é o coeficiente de atrito (Eq. 1);

$$\mu = F/W \quad (1)$$

Onde:

(μ)=O coeficiente de fricção da magnitude da força de atrito

(F)=Mede a magnitude da força de atrito desenvolvida entre superfícies em contato.

(W) = Um determinado carregamento e em movimento relativo.

2. A força de atrito é independente da área aparente de contato entre dois corpos;

3. A força de atrito é independente da velocidade.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS:

Os NLs, idealmente, encaixam-se na categoria de coloides, porém, devido à grande dificuldade de estabilização dos mesmos, geralmente são tratados como suspensões. Portanto, torna-se de extrema importância um bom conhecimento das técnicas de preparação e estabilização dos mesmos. Por serem sólidas tendem a decantar e não permanecerem suspensas no fluido.

No entanto, com esta tendência de decantação das NPs quando o fluido é preparado pelo método de dois passos e um posterior tratamento de estabilização torna-se necessário. Hwang *et al* (2008) analisou os principais métodos mecânicos de estabilização e seus parâmetros ajustáveis (Quadro 1).

Quadro 1. Principais métodos mecânicos de estabilização.

MÉTODO	Parâmetros ajustáveis
Aagitador magnético	Velocidade de revolução e tempo de revolução
Banho ultrassônico	Tempo de sonificação e frequência de sonificação
Homogeneizador de alta pressão	Número de passes

2.1. Pino contra disco.

O ensaio com configuração Pino sobre Disco mede o atrito e as propriedades de desgaste em deslizamento de superfícies secas ou lubrificadas de materiais e revestimentos. Um tribômetro Pino contra Disco opera no seguinte princípio: um plano, pino ou esfera é carregado sobre uma amostra de ensaio com uma massa conhecida com precisão. Durante o ensaio a aplicação de torque adequado, realizados conforme norma ASTM G99-95a - 05, *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*. O braço elástico altamente rígido garante um ponto de contato quase fixo. Atrito dinâmico é determinado durante o ensaio medindo a deflexão do braço elástico por medição direta da alteração no torque, tendo desta forma um contato conforme. A carga normal, velocidade de rotação, e o diâmetro da trilha de desgaste são parâmetros controlados e repetidos em todos os ensaios, conforme pode ser observado através das Fig. 1.

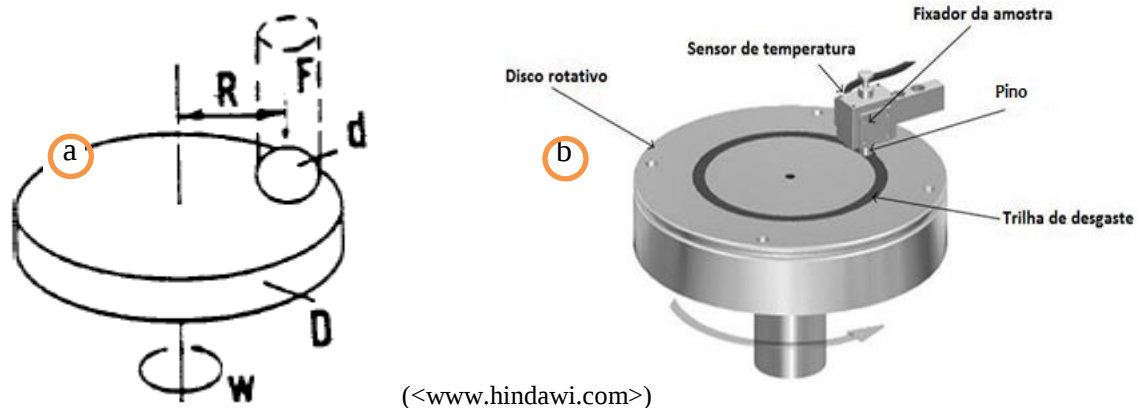


Fig 1: Esquema do sistema pino sobre disco; (a) sistema de forças envolvidas; (b) parâmetros envolvidos no ensaio.

O ensaio possibilita mensurar o efeito do atrito local, o que é de interesse quando existem medições relativas às simulações. Além disso, os parâmetros de influência tais como a temperatura, os gases do ambiente podem ser controlados.

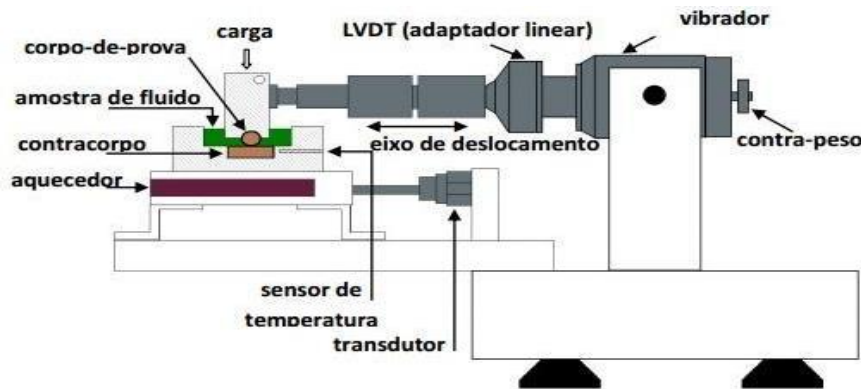
2.2. HFRR - High Frequency Reciprocating Rig.

A lubricidade é um termo qualitativo que descreve a habilidade de um fluido afetar o atrito entre superfícies sob carga e com movimento relativo, bem como o desgaste nessas superfícies. Ela é avaliada pela escara do desgaste, em μm , produzida em um corpo de prova esférico animada com deslizamento alternado contra um plano estacionário (ASTM D6079-04) de sobre uma superfície plana fixa. No plano laboratorial, embebida do fluido lubrificante em análise, onde as características geométricas e físicas dos corpos de prova para cada fluido foi realizado 3 determinações,

segundo as condições adequadas, verificando também a repetitividade dos dados, coeficiente de atrito, percentual de filme interfacial, temperatura e diâmetro da escara de desgaste (WSD), possuindo deslizamento alternado, totalizando 54.000 ciclos. Esta condição de ensaio foi selecionada de modo a tentar reproduzir a condição de lubrificação limite, onde se tem elevada carga e baixa frequência de deslizamento.

O óleo puro e as amostras de NLs foram analisados do ponto de vista de sua propriedade de lubricidade na bancada de ensaio tribológico em Sonda de Movimento Alternado sob Alta Frequência, o HFRR (*High Frequency Reciprocating Rig*). Neste experimento os dois fluidos foram verificados através do coeficiente de atrito e área média do diâmetro de desgaste do corpo de prova.

Na Figura 2 verifica-se um desenho esquemático do ensaio HFRR, ocorre então o movimento relativo ao iniciar o ensaio.



Fonte: Farias (2011)

Figura 2: Esquema do equipamento HFRR

Os ensaios de HFRR são regidos de acordo com a norma ASTM D 6079-04, após o ensaio foi mensurada a escara de desgaste da esfera com auxílio de um microscópio ótico com aumento de 100x.

O coeficiente de atrito e consequentemente o tamanho da escara o qual é dado pela média aritmética dos diâmetros maior (x) e menor (y) da elipse da escara é o número que descreve o desgaste da esfera, a quem se associa o grau de lubricidade do óleo lubrificante sendo este chamado de WSD (*Wear Scar Diameter*) pela norma ASTM D 6079 (2004) conforme pode ser observado através da tab. 1. Os valores WSD elevados indicam um maior desgaste da esfera e, portanto, um fluido de baixa lubricidade e vice-versa Joaquim (2007).

Tabela 3.5 – Condições de ensaio – Norma ASTM D 6079-04

Volume do fluido (mL)	$2 \pm 0,20$
Comprimento do golpe (mm)	$1 \pm 0,02$
Frequência (Hz)	20 ± 1
Temperatura do Fluido (°C)	50 ± 2
Umidade Relativa (%)	>30
Carga aplicada (N)	$9,8 \pm 0,1$
Duração do ensaio (min)	$45 \pm 0,1$
Área superficial (cm ²)	6 ± 1

Pode-se inferir da definição da ASTM que quanto maior a lubricidade, menor a escara do desgaste, assegurando eficácia ao filme lubrificante em sua ação de separação das superfícies sob movimento relativo.

Durante o contato de duas superfícies as quais deslizam uma sobre a outra, impostas a estas uma carga, a interação entre as asperezas superficiais são responsáveis em gerar as forças de contato que se opõem ao movimento (conhecidas como forças de atrito), que têm parte de suas energias dissipadas na forma de calor, ruído e desgaste dos materiais envolvidos. Se entre as superfícies houver um fluido ou material servindo de interface entre o contato das superfícies e agindo de modo a diminuir estas forças de atrito, diz-se que o deslizamento é lubrificado (Hutchings *apud* Joaquim, 2007).

Um indicador importante para comparar as características de lubrificação dos óleos selecionados puro e os aditivos com NPs de In. As forças de atrito desenvolvidas entre o disco e a esfera é utilizada em um software específico da máquina de ensaio HFRR para estimar o coeficiente de atrito Sabareesh *et al.*(2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

3.1 – Resultado através do ensaio HFRR.

No ensaio de lubricidade HFRR os resultados obtidos, temperatura (a), percentual de filme interfacial (b), coeficiente de atrito (c) e diâmetro da escara de desgaste (d), os quais foram obtidos durante o ensaio para os valores apresentados dos desgastes nos corpos de prova ensaiados.

Baseado nos resultados obtidos com os seguintes parâmetros: Tempo de ensaio = 45 min, frequência = 20 HZ, temperatura 50°C, carga = 9,8 N. Os resultados encontrados em relação ao desgaste médio do corpo de prova esférico para o óleo puro e as duas outras amostras estudadas com as NPs são apresentados na tab. 1.

Tab. 1 – Resultados experimentais referentes aos desgastes apresentados pelo corpo de prova esférico no ensaio de lubricidade tipo HFRR.

Direção do Desgaste	Valores médios WSD (μm)
Óleo ISO68 puro	403
Óleo ISO68 + In	160
Óleo ISO32 puro	252
Óleo ISO32 + In	216
POE	298
POE + In	187,5

Na figura 3 são indicadas as escaras comparando a taxa de desgaste obtida pelos pares tribológicos esfera disco lubrificadas com o óleo ISO68 puro e ISO68 + In descritos após ensaios de lubricidade HFRR.

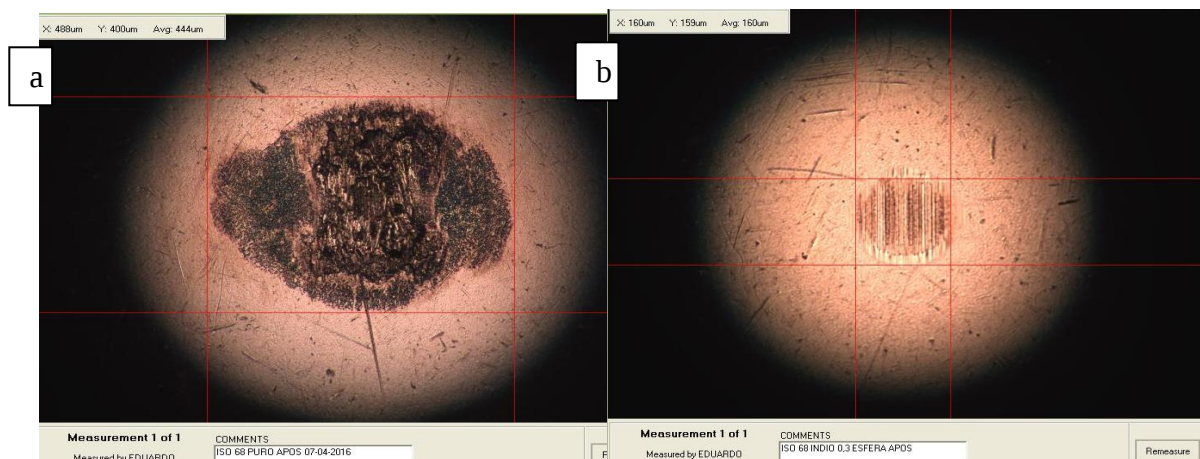


Fig. 3: Escara. (a) óleos ISO68; (b) óleo ISO68+In

Na figura 4 são indicadas as escaras comparando a taxa de desgaste obtida pelos pares tribológicos esfera-disco lubrificadas com os óleo ISO32 puro e ISO68 + In descritos após ensaios de lubricidade HFRR.

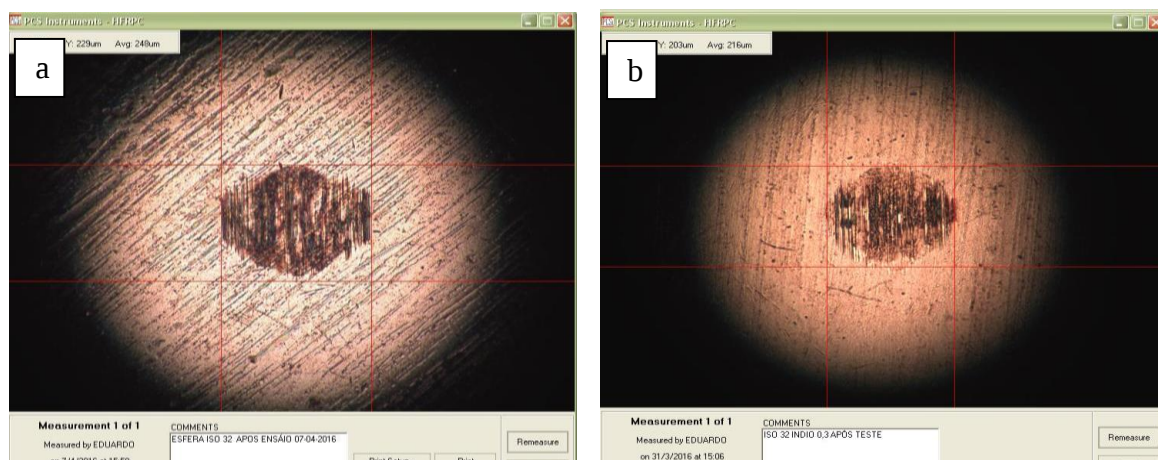


Fig. 4: – Escaras. (a) óleo ISO32; (b) óleo ISO32+In

Na figura 5 são indicadas as escaras comparando a taxa de desgaste obtida pelos pares tribológicos esfera-disco lubrificadas com os óleos POE puro e POE + In descritos após ensaios de lubricidade HFRR.

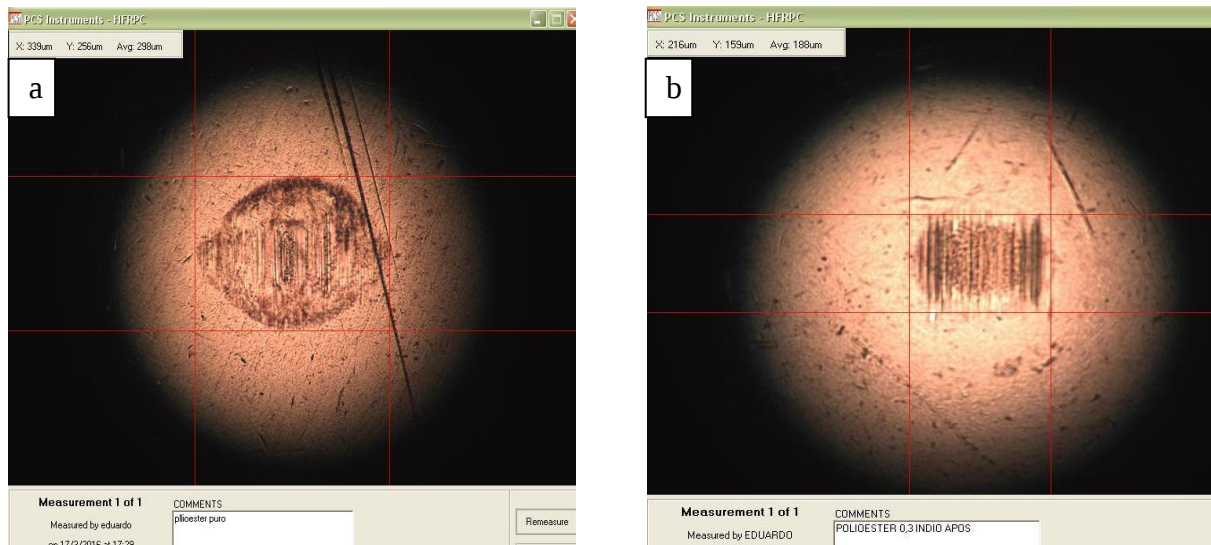


Fig. 5 – Escara de óleos (a)POE, (b) POE+In.

Os ensaios de lubricidade HFRR foram efetuados duas medições nas regiões desgastadas, isto é, na área de contato esfera-disco no sentido transversal e longitudinal. Desta forma, à escara formada, registra o perfil da profundidade e a largura da escara em cada disco.

3.2. Desempenho Através do ensaio de Pino contra disco.

O ensaio foi realizado com os discos de alumínio tendo 35mm de diâmetro por 7mm de espessura. Os discos foram ensaiados contra pino de ferro fundido de 6mm de diâmetro por 30mm de comprimento, a velocidade de deslizamento de 0,15 m/s (100 rpm), com uma carga normal ao pino de 20 N.

A duração do ensaio feito com o tempo de 15min realizando desta forma com os mesmos parâmetros em todas as amostras em todos os óleos aditivados com NPs e puros. Concluído os ensaios de cada disco, todos os dados foram digitados em uma planilha no Excel a fim de observar o comportamento das curvas de cada disco ensaiado.

O gráfico dos erros padrões das medias dos coeficientes de fricção (μ), demonstrado na fig. 6.

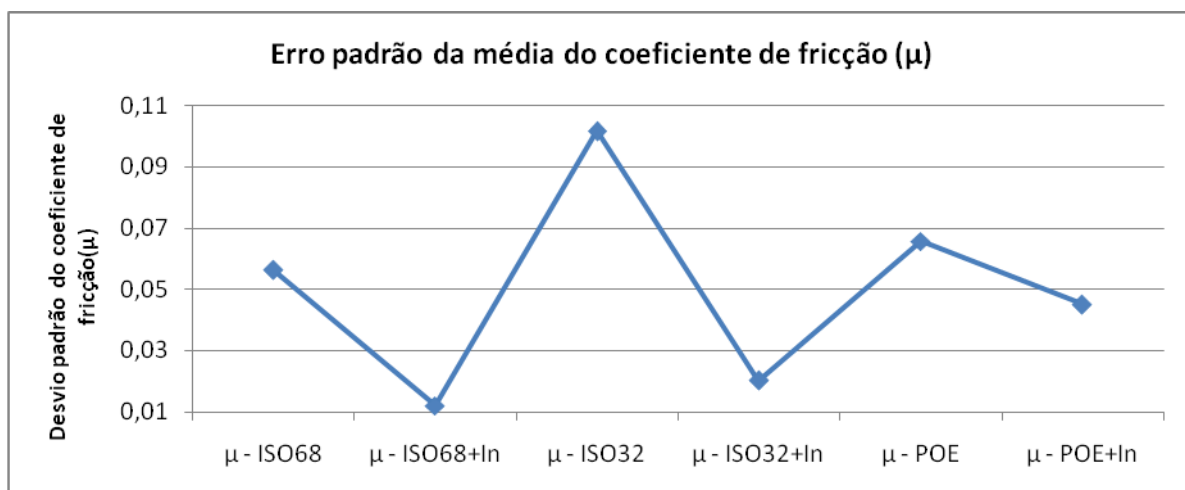


Fig. 6 – Erro padrão da média do coeficiente de fricção (μ).

4. CONCLUSÕES.

O desempenho tribológico da aditivação de In nos NFs é evidenciado ao compararmos o desgaste médio dos corpos de prova utilizados nos tribômetros em bancada de alta frequência e no ensaio de pino contra disco, que comprova em todos os óleos estudados a viabilidade da aditivação de In nos óleos de refrigeração.

Assim conclui-se que o NL composto por 0,3 g/L de In, em todos os óleos de refrigeração investigados são considerados viáveis em aplicações de lubrificação em componentes de sistemas térmicos e contribuem com o melhor desempenho destes sistemas.

Os NL estudados apresentou um grande potencial de minimizar o desgaste. Isto porque a aditivação das NP de In forma um lubrificante de EP extrema performance. Onde as concentrações em volume de NPs influem de forma significativa na lubricidade.

E com a interação dos NL com os fluidos refrigerantes, pode-se aliar ao aumento da vida útil dos sistemas de refrigeração, os tornando mais compactos e eficientes, tendo uma menor geração de calor, considerando que o desgaste resultante causará menos trabalho efetuado pelo compressor, ocasionando assim em uma menor perda de eficiência.

5. REFERÊNCIAS

- ASM HANDBOOK OF FRICTION, LUBRICATION, AND WEAR TECHNOLOGY, ASM. International Company of Information Materials. Vol. 18, 1992.
- _____. ASTM G99 – 95a (2000) Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. Disponível em: <http://www.astm.org/Standards/D99.htm>.
- _____. ASTM D6079 – 04 2011 Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR). Disponível em: <http://www.astm.org/Standards/D6079.htm>
- BAIR, S.; WINER, W.O. “The High Pressure Shear Stress Rheology of Liquid Lubricants”. ASME Journal of Tribology, vol. 114, 1992.
- Bhushan, B. Modern Tribology Handbook. Principles of Tribology. United States: CRC press LLC. Vol. 1, 2001.
- Cho, is., Jung, j.y. lubrication characteristics of a rotary compressor used for refrigeration and airconditioning systems (the influence of alternative refrigerants). journal of mechanical science and technology 24 (4) (2010) 851-856.
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Chandra Bose, A., 2010. Experimental investigations and determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid. Exp. Therm. FluidSci. 34, 210 - 216.
- Cheng L, Bandarra Filho EP, Thome Jr, Nanofluid Two-Phase Flow and Thermal Physics: A New Research Frontier of Nanotechnology and Its Challenges, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 8(7), pp: 3315-3332, Available at: <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=15334880&volume=8&issue=7&spage=3315>.
- Farias, A.C.M. Análise da lubricidade do biodiesel brasileiro de ésteres etílicos de soja e girassol. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, Brasil, 2011.
- Farias, D. F. Utilização da geometria disco-disco para investigação da capacidade de proteção ao desgaste de lubrificantes sob condições elastohidrodinâmicas. 2005, 116p. Dissertação (Engenharia Mecânica). – Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Rio de Janeiro, 2005.
- Hwang, H.S., Adhvaryu, A., Erhan, S.Z.. Preparation and properties of lubricant base oils epoxidized soybean oil and 2-ethylhexanol. J. Am. Oil Chem. Soc. Pennsylvania, v.80, p.811–815, 2003.
- Joaquim, C.R.O. Verificação do comportamento da lubricidade do óleo diesel veicular com adição de etanol. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- Sabareesh, R.K., Gobinath, N., Sajith, V., Das, S., Sobhan, C.B. Application of TiO₂ nanoparticles as a lubricant-additive for vapor compression refrigeration systems – An experimental investigation. International Journal of Refrigeration 35 (2012) 1989-1996.
- Xue, Q. W. Liu, Z. Zhang. Friction and wear properties of a surface mod-ified TiO₂ nanoparticle as an additive in liquid paraffin, Wear. China, v.213. p.29-32, 1997.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Alagoas o apoio e incentivo ao trabalho.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

STUDY OF THE VISCOSITY OF NANOFLUIDS ADDITIVATED WITH INDIAN NANOPARTICLES IN REFRIGERATION LUBRICATING OIL.

E.H.V. Sousa, eduardo.sousa@ifal.edu.br¹

F.A.O. Fontes, franciscofontes@uol.com.br³

E.E.B. Almeida, evertelvis@gmail.com^{1,2}

¹Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Coruripe, AL, Brasil,

²Estácio FIR – Recife, PE, Brasil.

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Natal, RN, Brasil.

Abstract: The global thermal industry seeks to reduce the size of thermal systems, to make them more efficient and economical with this generates warm discussions about the use of systems and mechanisms of refrigeration where the consumption of clean and efficient energies becomes viable in the current model. Such scenario leads to a framework in which the incentives to alternatives lead manufacturers of these equipment to develop compact and economical systems. The mechanical components of the compressor have relative movements that generate increases in the friction levels, implying loss of material due to wear. The objective of this work was to study the characteristics of nanolubrificantes (NL) added with indium (In) nanoparticles (NPs), in order to contribute to the significant reduction of the size, weight and costs of heat transfer systems. For these purposes, after the acquisition of In NPs, three distinct nano lubricants (NLs) were prepared, adding 0.3 g/L to hermetic refrigeration compressor oils ISO68, ISO32, and Polyether (POE). After the preparation process, the values related to its tribological properties were measured by pin-on-disk and HFFF (High Frequency Reciprocating Rig), to verify the required properties. The NLs comprised of In were viable, and it was not necessary to use surfactants to improve their stability, because they presented satisfactory results in the tests performed, showing with properties of extreme pressure lubricants (EP), significantly reducing the coefficient of friction. Thus, it becomes feasible to use NLs generated from NP of In in the lubrication of hermetic refrigeration compressors.

Keywords: NPs off In, tribology, Pin-on-Disk and HFRR.