



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

ANÁLISE ENTRE DOIS LUBRIFICANTES VEGETAIS ADITIVADOS E UM MINERAL-COMPARAÇÃO DOS DESGASTES ATRAVÉS DE UM EQUIPAMENTO PIN-ON-DISK

Aparecido Carlos Gonçalves ^{*1}, Alejandro de Jesús Ramírez García ²

^{*1} Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade do Estado de São Paulo – UNESP
Av. Brasil, 56, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil
cido@dem.feis.unesp.br

² Department of chemical and biochemical engineering, Durango Institute of Technology, Mexico.

RESUMO

Lubrificantes líquidos e graxas baseadas em óleos vegetais eram comuns antes da existência do óleo mineral. A descoberta do petróleo resultou em vários tipos de lubrificantes, baseados no óleo mineral, com qualidades superiores e preços menores que os vegetais. É de conhecimento de todos que os lubrificantes de origem mineral podem causar danos permanentes ao meio ambiente, pois os mesmos não são biodegradáveis e possuem um certo grau de toxicidade. Por isto, nas duas últimas décadas, a preocupação com o uso de lubrificantes a base de petróleo e seus impactos no meio ambiente tem sido grande. Lubrificantes vegetais estão sendo amplamente estudados, novamente, no intuito de substituir os lubrificantes de origem mineral para satisfazer regulamentações ambientais e conservação da natureza, uma vez que eles são biodegradáveis [1,2]. Este trabalho apresenta uma contribuição para estes estudos. Dois óleos de origens vegetais (soja e girassol) foram analisados e comparados com um lubrificante mineral básico (ISO 32) de viscosidade aproximada aos vegetais analisados. Dois tipos de aditivos foram acrescentados aos três lubrificantes na concentração de 2% em massa. Após misturas dos óleos com aditivos estes foram ensaiados em um equipamento Pin-on-disk. Após o desgaste dos Pinos sobre os discos os Lubrificantes foram ensaiados através de: Separador Rotativo de Partículas (RPD), Monitor Automático de Partículas, Espectrômetro de Raio X e microscópio bicromático. Os resultados apontaram a possibilidade de substituição do lubrificante mineral por um vegetal corretamente aditivado.

Palavras Chaves: *Biolubrificante, pin on disk, desgaste, atrito.*

1. INTRODUÇÃO

Os óleos lubrificantes minerais apresentam certas características próprias que lhes são conferidas pela sua composição química (resultante do petróleo bruto), pelo tipo de refino, tratamentos adicionais realizados e pelos aditivos utilizados [1]

Estes lubrificantes, após utilização, tornam-se grandes preocupações pois são grandes fontes de poluição, por não serem biodegradáveis e possuírem uma alta toxicidade. Se descartados no meio ambiente de forma incorreta, podem acarretar sérios danos ambientais. Com esses pensamentos a



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

escolha por produtos ambientalmente corretos é uma preocupação que faz parte do dia-a-dia de empresas que procuram o desenvolvimento sustentável, minimizando sempre que possível às agressões ambientais. A fim de minimizar esses impactos, pesquisadores se empenham no desenvolvimento de novos lubrificantes a base de óleos vegetais (biolubrificantes), que possuam as mesmas características tribológicas de um óleo de base mineral ou sintético, para que futuramente além de diminuir a dependência do petróleo para a fabricação de lubrificantes, estaremos de certa forma preservando o meio ambiente [2].

Este trabalho contribui para o estudo de lubrificantes alternativos. Para isto, dois óleos de origem vegetais foram aditivados, analisados e comparados com um lubrificante mineral básico (ISO 32) de viscosidade aproximada aos vegetais analisados.

Após misturas dos óleos com aditivos estes foram ensaiados em um equipamento Pin-on-disk e analisados em equipamentos apropriados.

2. PESQUISAS NA ÁREA DE BIOLUBRIFICANTES

Lubrificantes verdes ou EFL (Environmentally friendly Lubricant) são lubrificantes renováveis e normalmente feitos de óleos vegetais (como girassol, canola, milho, coco, palma, amendoim ou soja) ou ésteres sintéticos, Polialquilenos Glicóis (PAGs) ou ainda óleo a base de petróleo hidrotratado severamente [3].

A presença de ácidos de cadeias longas nos óleos vegetais tem aumentado o interesse destes como uma fonte alternativa aos lubrificantes comerciais baseados no óleo mineral [4].

Quando comparado com o óleo sintético e mineral, estes óleos vegetais têm algumas vantagens como maior lubricidade e viscosidade, menor volatilidade, maior detergência e dispersão. Com melhores propriedades de biodegradabilidade e de toxicidade, estes lubrificantes tem grande potencial para serem utilizados na indústria [5]. Lovell et al utilizaram um equipamento pin-on-disk para ensaiar um lubrificante verde com pó de ácido bórico em várias concentrações e tamanhos de partículas.

Há variantes interessantes em óleos vegetais, como óleo de rícino e jojoba. Óleo de rícino é um triglicerídeo, porém os ácidos graxos são predominantemente ácido Ricinoleico e hidroxil monoinsaturado, tendo uma cadeia de 18 carbonos [6]. Azadukas et al afirmam que a jojoba e o óleo de rícino têm propriedades muito boas em relação a outros óleos vegetais.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

O desempenho do óleo de palma em termos de atrito, desgaste, viscosidade, degradação e emissão de gases e comparados com lubrificantes minerais comerciais em motores dois tempos a gasolina, seguido por testes em equipamento Four Ball foram analisados por Masjuki et al [7]. Os resultados apontaram que o lubrificante de palma exibiu melhores desempenhos em termos de desgaste, enquanto o óleo mineral mostrou melhor performance em termos de atrito. O estudo também mostrou que o óleo de palma foi mais efetivo na redução da emissão de CO e hidrocarbonos.

LOVELL et al, 2006, investigaram a performance de uma mistura de óleo de canola e pó de ácido bórico. Eles adicionaram 5% de pó de ácido bórico, com 100 µm de tamanho médio de partícula, como aditivos em óleo de canola e empregaram este lubrificante em conformação de metal. Os ensaios indicaram que a mistura teve performance superior ao ácido bórico puro, ao óleo de canola puro e ao lubrificante mineral utilizado na conformação [8].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Dois óleos de origens vegetais (soja e girassol) foram analisados e comparados com um lubrificante mineral básico (ISO 32) de viscosidade aproximada aos vegetais analisados.

Dois tipos de aditivos foram acrescentados aos três lubrificantes na concentração de 2% em massa. A tabela 1 apresenta todas as amostras analisadas.

Tabela 1 Denominação das amostras ensaiadas.

Amostra	Descrição
A-0	Lubrificante mineral básico ISO 32
A-1	ISO 32 + LIOVAC 3355 ^R
A-2	ISO 32 + Ácido Bórico
B-0	Óleo de Soja
B-1	Óleo de Soja + LIOVAC 3355
B-2	Óleo de Soja + Ácido Bórico
C-0	Óleo de Girassol
C-1	Óleo de Girassol + LIOVAC 3355
C-2	Óleo de Girassol + Ácido Bórico

Liovac 3355 – Aditivo comercial da empresa MIRACEMA-NUODEX – Aditivo anticorrosivo.

O aditivo Liovac 3355 é um aditivo comercial da marca MIRACEMA-NUODEX. Trata-se de um aditivo antidesgaste a base de Zn e Ba, P e S. O ácido Bórico utilizado teve tamanho de partícula média de aproximadamente 150 µm.

Após as misturas dos óleos com aditivos estes foram ensaiados em um equipamento Pin-on-disk. O pino utilizado foi de aço ABNT 1020 e o disco de aço ABNT 1040

Todas as análises foram realizadas com o disco a velocidade constante de 0,49455 m/s e a uma carga de 5 kg aplicada ao pino. As rotações foram monitoradas através de um tacômetro da marca Oppama modelo Pet - 2000 DX. A duração de cada ensaio pin-on-disk foi de aproximadamente 54 horas , que correspondem a um percurso médio de 40 km.

Entre um ensaio e outro foi efetuada a limpeza do recipiente que contém o lubrificante com querosene desodorizada PA.

Após o desgaste dos Pinos sobre os discos os Lubrificantes foram ensaiados através de: Separador Rotativo de Partículas (RPD), Monitor Automático de Partículas, microscópio bicromático e Espectrômetro de Raio X. Os pinos e discos foram pesados antes e após cada ensaio de desgaste.

Os testes realizados foram os seguintes:

3.1 Depositador Rotativo de Partículas (RPD)

Após os ensaios de desgastes, foram feitos o RPD (Rotary particle depositor). Este ensaio extrai partículas presentes na amostra de óleo pela ação de forças magnéticas, centrífugas e gravitacionais. As partículas são depositadas sobre uma lâmina de vidro formando três anéis concêntricos. Durante esta deposição ocorre a separação das partículas em relação ao seu tamanho, na qual partículas maiores se depositam no anel interno, médias no anel intermediário e partículas pequenas no anel externo.

As lâminas de vidro foram observadas em um microscópio óptico para verificar a forma, tamanho, concentração e composição das partículas presentes. Nesse projeto foi utilizado o microscópio da marca OLYMPUS, modelo BX 41denominado ferrosópio, onde as amostras foram fotografadas com aumentos de 100 vezes.

3.2 Monitor de Partículas Ferrosas (PQA)

Este aparelho trata-se de magnetômetro com duas bobinas organizadas de forma que a bobina de amostra (sensor) e a bobina de referência estão em equilíbrio quando não há nenhuma amostra no sensor. O sistema é projetado para assegurar cuidadosamente que estas bobinas respondam igualmente as mudanças na temperatura ambiente. Quando uma amostra de óleo que contém partículas ferromagnéticas é colocada no sensor (bobina de amostra), o equilíbrio entre as bobinas é alterado.

Posteriormente ao processo de calibração e configuração, dá-se início as medidas, onde amostras de 2 ml foram colocadas em um recipiente plástico apropriado através de uma pipeta, e, assim, alojadas no carrossel de amostras do equipamento. Depois de efetuadas as medidas, cada pote foi entregue a uma calha de disposição. Foram realizadas 5 medidas e foi tomada a média.

3.3 Espectrômetro de Raio X

O espectrômetro de Raio-X é um aparelho que utiliza a refração de ondas energéticas de raio-X para obtenção da quantificação e espécie das partículas presentes na amostra. Este aparelho em



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

específico permite a obtenção de resultados para 19 elementos da tabela periódica. Para isso o aparelho lança em cada amostra três faixas de energia, de acordo com cada faixa e com a quantidade de energia obtida de volta no aparelho, o mesmo faz a medição para obtenção do elemento químico e quantidade do mesmo na amostra.

Através do aparelho de raio-X da marca Oxford do modelo “X-supreme”, encontrou-se as três faixas de energia e quais elementos se encontram em tais faixas, assim como seus valores energéticos. Para o ensaio de espectrometria de raio X foram colocados 13 ml de amostras, retiradas do pin on disk. Foram analisados três elementos de interesse na pesquisa (S, Fe, P,Zn).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As massas finais do disco e pino estão na Tabela 2. A figura 1 apresenta os resultados das perdas totais em massa.

Tabela 2 Resultados dos Ensaio Pin-on-disk

Amostra	Massa inicial do disco(g)	Masa inicial do pino (g)	Massa final do disco(g)	Massa final do pino (g)	Diferença de Massa do disco (g)	Diferença de massa do pino (g)	Perda total de massa (g)
A0	266.94	7.86	266.90	7.82	0.04	0.04	0.08
A1	266.90	7.82	266.88	7.81	0.02	0.01	0.03
A2	266.88	7.80	266.86	7.80	0.02	0	0.02
B0	266.86	7.80	266.84	7.79	0.02	0.01	0.03
B1	266.84	7.79	266.83	7.79	0.01	0	0.01
B2	266.83	7.79	266.80	7.78	0.03	0.01	0.04
C0	266.80	7.78	266.79	7.77	0.01	0.01	0.02
C1	266.79	7.77	266.79	7.77	0	0	0
C2	266.79	7.77	266.75	7.75	0.04	0.02	0.06



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

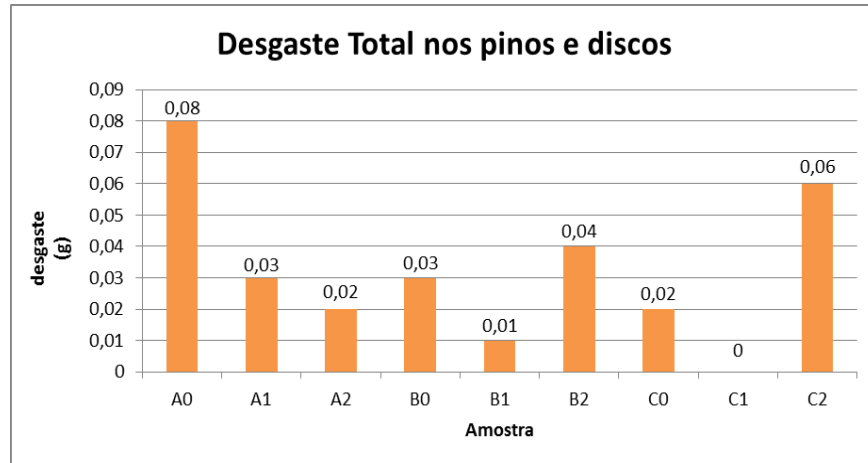


Figura 1 Desgastes totais dos Pinos e discos

Pela Figura 1 observa-se que a amostra de menor eficiência é a A0 (Lubrificante mineral básico ISO 32).

As amostras das séries 1 (aditivo LIOVAC aditivo-3355 ®) foram as que diminuíram, para todos os casos, o desgastes quando adicionados aos Lubrificantes. Para os lubrificantes de origem vegetal, o aditivo ácido bórico, (série 2) foi prejudicial, enquanto que para o Mineral básico este foi benéfico.

A Tabela 3 apresenta os resultados das medições efetuadas no aparelho PQA

Tabela 3 Valores de PQA

Amostra	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MEDIDA 4	MEDIDA 5	MÉDIA
A0	77	80	77	80	78	78.4
A1	16	16	14	16	17	15.8
A2	25	25	24	27	25	25.2
B0	24	23	23	23	22	23
B1	20	22	23	22	25	22.4
B2	34	31	31	33	31	32
C0	22	19	21	22	21	21
C1	21	24	22	21	21	21.8
C2	40	32	39	37	25	34.6

A Figura 2 apresenta os resultados em forma de gráfico para melhor visualização.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

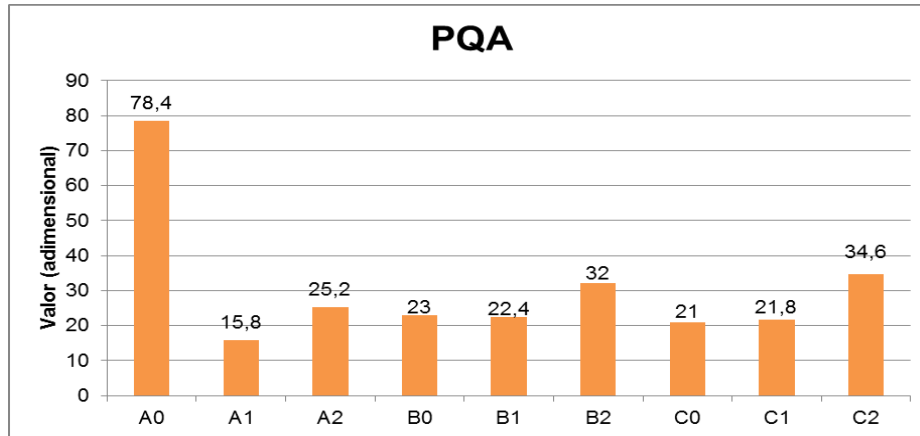


Figura 2 Valores de PQA em forma de gráfico

Como se observa a amostra A0 continua apresentando a maior quantidade de partículas, neste caso ferromagnética. O aditivo Liovac foi o mais benéfico para as amostras. O ácido bórico, na quantidade e tamanho de partícula utilizada, foi benéfico para o óleo mineral e prejudicial para os vegetais.

As figuras 3 a 6 apresentam os resultados do ensaio de Espectrometria de Raio X para alguns elementos.

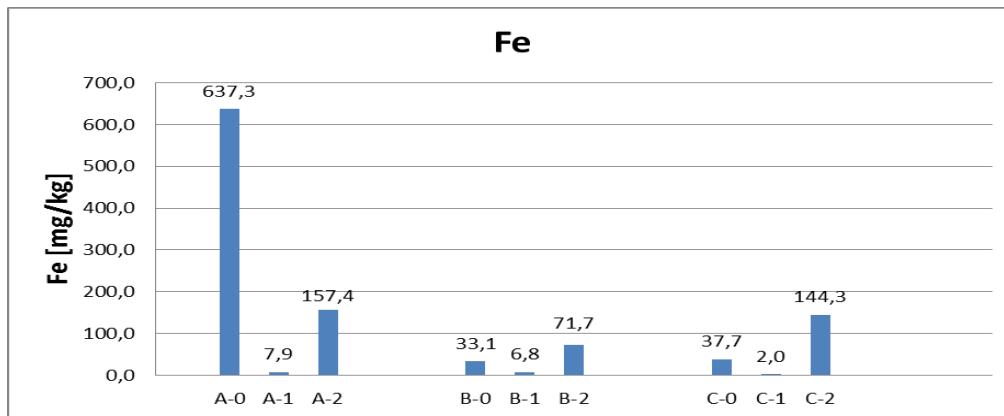


Figura 3 Concentração de Ferro nas amostras

Pela Figura 3 nota-se grande quantidade de Ferro, principalmente na amostra A-0. Também observa-se que o aditivo Liovac foi benéfico para todos os lubrificantes. Já o aditivo Ácido Bórico foi benéfico apenas para o lubrificante mineral.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

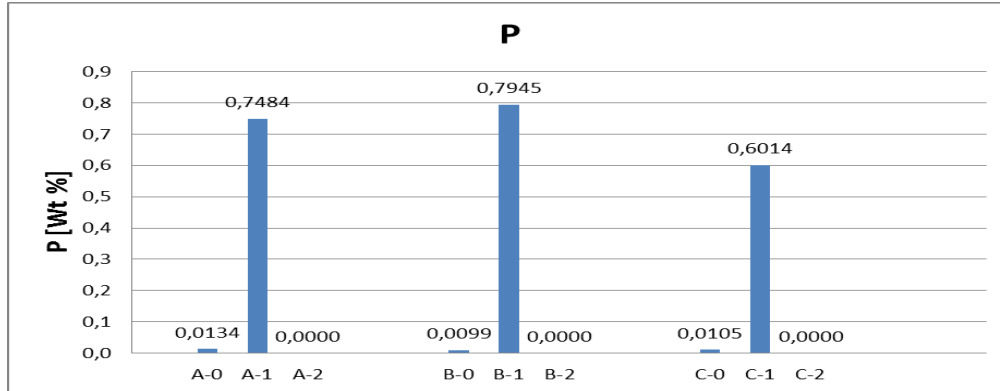


Figura 4 Concentração de Fósforo nas amostras

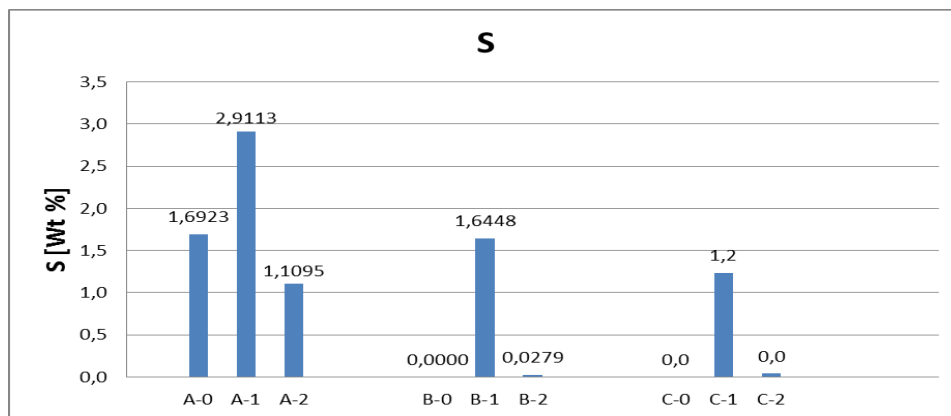


Figura 5 Concentração de Enxofre nas amostras

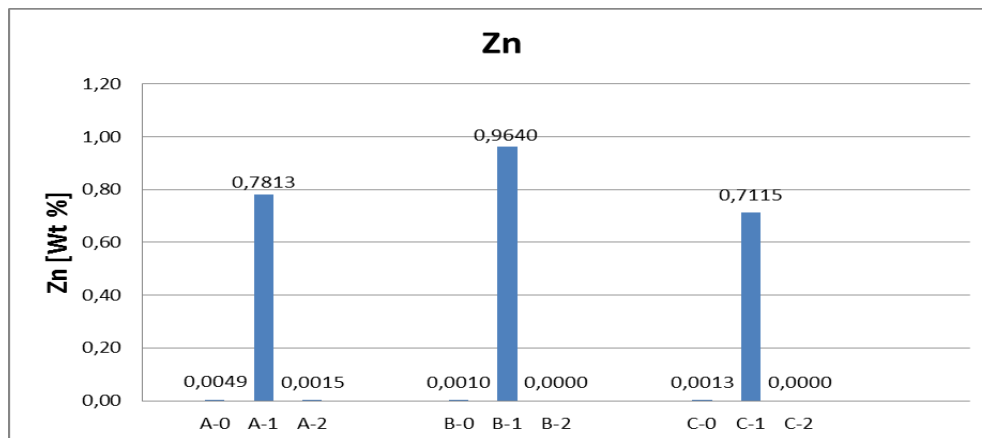


Figura 6 Concentração de Zinco nas amotras



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Os teores elevados de P, S e Zn nas amostras A-1, B-1 e C-1 estão evidentes nas Figuras 4 a Figura 6. Estes valores não representam desgaste de material e sim componentes presentes nos aditivos Liovac.

A Figura 7 apresenta as fotos das lâminas do RPD com aumento de 100X.

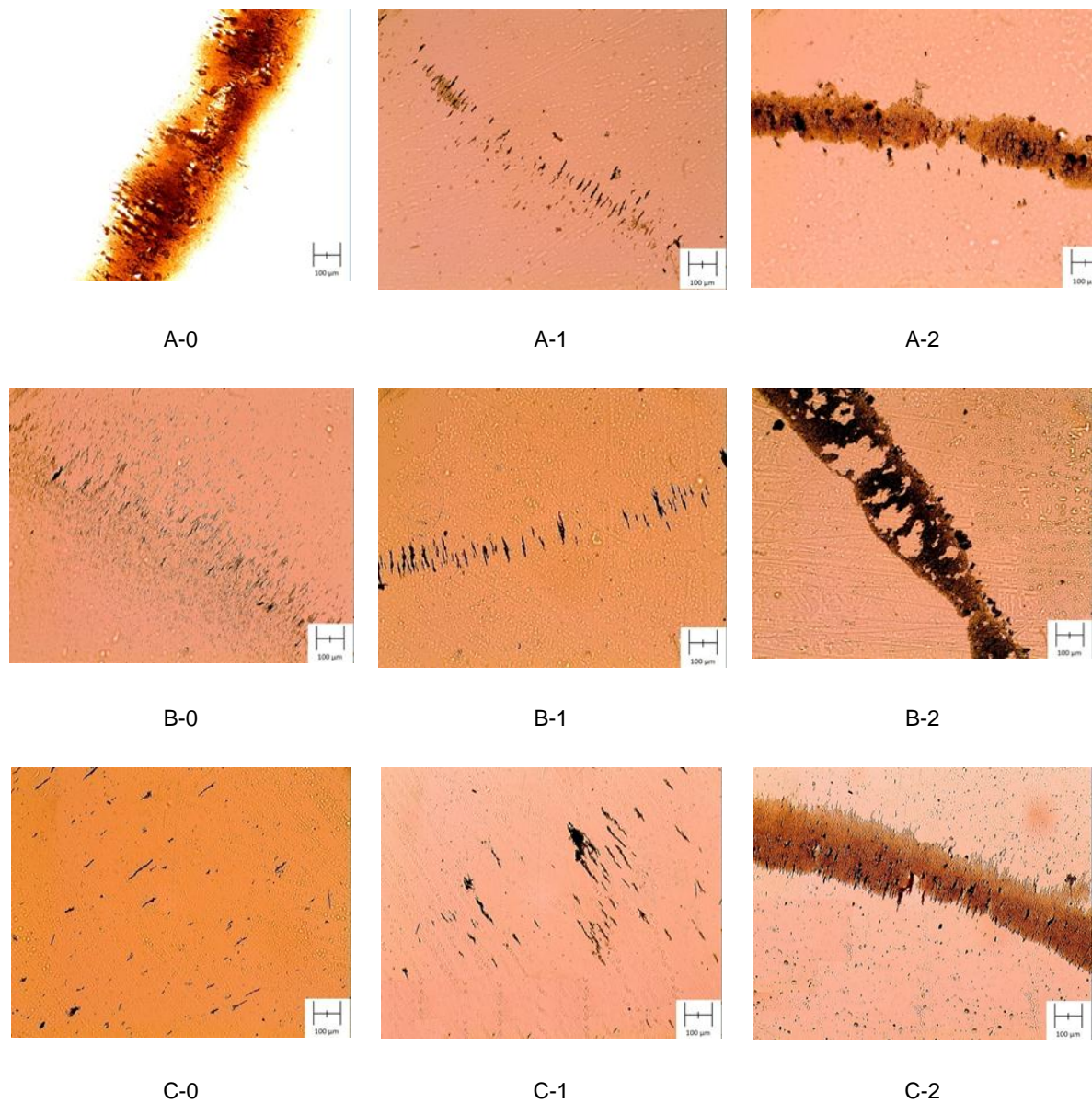


Figura 7 Lâminas do RPD com aumento de 100X



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

A figura tem uma estreita relação com as Figuras 1 a Figura 3 e Tabela 3. Elas indicam maior desgaste da amostra com lubrificante mineral puro e menores desgastes, relativos, para os lubrificantes aditivados com o Liovac.

5. CONCLUSÕES

Oleo vegetal é uma fonte renovável e, assim sendo, é uma boa alternativa ao lubrificante mineral. Esta alternativa está associada a utilização ambiental correta, não toxicidade e a sua natureza biodegradável. A sua estrutura faz com que estes óleos sejam excelentes alternativas aos lubrificantes industriais e dá lhes bom potencial para evitar problemas ambientais associados aos lubrificantes minerais, como contaminação do meio ambiente por vazamento acidental, gotejamentos ou geração de grandes quantidades de resíduos após inutilização do mesmo.

Os aditivos Liovac 3355 e Ácido Bórico foram eficientes, para o Lubrificante Mineral, na redução do desgaste das peças metálicas contendo Fe na sua composição majoritária. Isto é facilmente verificado pelos valores de Fe da espectrometria de raio X, pelos valores do índice PQ e pela ferrografia.

Ainda com relação aos valores dos índices PQ e teores de Fe do espectrômetro de Raio X, para o Lubrificante de origem vegetal soja o aditivo Liovac 3355 teve efeito positivo na redução do desgaste. Já o aditivo Ácido Bórico teve efeito negativo na redução do desgaste para os Lubrificantes Vegetais.

O fato do aditivo ácido bórico ter apresentado resultado negativo para os Lubrificantes Vegetais, não implica necessariamente que o mesmo deva ser descartado em próximos estudos. Alguns autores comprovaram a eficiência deste em outros tipos de lubrificantes vegetais através da variação do tamanho dos pós formadores destes ácidos. Lovell et al, 2006, por exemplo, utilizaram tamanhos variados de misturas de partículas de ácido bórico, inclusive nanopartículas, e obtiveram ótimos resultados com este tipo de aditivos em alguns casos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] A. C. Gonçalves, D. F. Lago, R. C. Cunha, Vibration and wear particles analysis in a test stand. *Industrial Lubrication and Tribology*, 209-216, 2007.
- [2] A. C. Gonçalves, J. B. Silva, Predictive maintenance of a reducer with contaminated oil under an excentrical load through vibration and oil analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* , 1-7, 2011.
- [3] B. Willson, Lubricants and Functional Fluids from Renewable Sources, *Industrial Lubrication and Tribology*, 50, 1, 6-15, 1998.
- [4] R. L. Goyan, R. E. Melley, P. A. Wissner W. C. Ong, Biodegradable Lubricantes, *Lubrication Engineering*, 54, 7, 10-17, 1988.
- [5] M. R. Lovell, M. Kabir, P. Menezes, C. Higgs, Influence of boric acid additive size on green lubricant performance. *The Royal Society, mathematical physical and engineering sciences*, 2006 .



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

[6] S. Azadaukas, J. M. Perez, D. J.Larru, Lubrication Properties of Castor Oil-Potential Basestock for Biodegradable Lubricant, Lubrication Engineering, 53, 12, 35-40, 1997.

[7] H. H. MASJUKI, M. A. MALEQUE, Wear, Performance and Emissions of a Two-Stroke Engine Running on Palm Oil Methyl Ester Blended Lubricant, Proc. Inst. Mech. Eng., Part J: Journal of Engineering Tribology, 210, 213-219, 1996.

[8] M. Lovell, C. F. Higgs, P. Deshmukh, A. Mobley, Increasing Formability in Sheet Metal Stamping Operations Using Environmentally Friendly Lubricants, J. Mater. Process. Technol., 1771-3, pp. 87-90, 2006.

Agradecimientos

Os autores agradecem o contínuo suporte financeiro da FAPESP no apoio a Projetos de Pesquisas e a Auxílio para participação em Eventos Científicos.