



UTILIZAÇÃO DO ÓLEO DE MAMONA PARA ANÁLISE DE DESGASTE ATRAVÉS DO ENSAIO BALL-ON-FLAT

Midian Luz Silva, midi.luz@gmail.com¹
Erickson Fabiano Moura Sousa Silva, efmssilva@uesc.br¹
Suzane de Brito Silva, suzanebritos@gmail.com¹
Pedro Silva Buente, pedrobuente@gmail.com¹
Werviles Douglas Brito Santos, werviles@gmail.com¹
Kevin Sacramento Vivas Neres, kevinsacramento@gmail.com¹
Darlean Santos Oliveira, darlean.oliveira@gmail.com¹

¹Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil.

Resumo. O estudo da tribologia é muito importante, pois através dele é possível encontrar medidas eficazes para o controle do atrito, e assim, alcançar uma longa vida útil dos equipamentos e motores. Neste contexto, o uso de óleo lubrificante é uma solução muito eficaz para evitar o atrito e o desgaste. Atualmente, os lubrificantes mais utilizados são provenientes do petróleo, que possui algumas limitações, como não ser uma fonte renovável, nem ser biodegradável. Partindo deste ponto de vista, a utilização de lubrificantes oriundos dos vegetais é muito promissora, já que a matéria prima dos biolubrificantes se encontram no ambiente em larga escala e os seus resíduos não contaminam o ambiente. Sendo assim, o estudo do óleo de mamona como lubrificante é importante, pois além das vantagens ambientais, ele possui características promissoras direcionadas a lubrificação. Os experimentos referentes a este estudo foram feitos através do tribômetro, pelo ensaio BALL-ON-FLAT, o objetivo foi comparar os resultados usando o óleo mineral 15W40 com o óleo de mamona, verificando o índice de viscosidade (IV), a profundidade dos desgastes, o coeficiente de atrito e a perda de massa, para essa última foi observado um percentual de 1% para o óleo mineral e 3% para o óleo de mamona aplicando uma força de 60N. Pelos dados obtidos, o óleo de mamona tem um grande potencial para ser usado como óleo lubrificante substituindo o óleo mineral.

Palavras chave: Tribologia, Óleo vegetal, Óleo de mamona, Biodegradável.

1. INTRODUÇÃO

O movimento de uma superfície sobre a outra é fundamental para o funcionamento de muitos mecanismos, tanto artificiais como naturais. A tribologia, pode ser definida como o ramo da “ciência e tecnologia de superfícies interativas em movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionadas” (Jost, 1990), o que inclui o atrito, desgaste e lubrificação. No mundo atual são desenvolvidas máquinas cada vez mais modernas, e os avanços na tribologia sustentaram grande parte do progresso da engenharia mundial, o perfeito funcionamento desses equipamentos dependem diretamente do atrito. Assim, um atrito não controlado pode causar desgaste e danificar o equipamento, o que gera prejuízos econômicos.

Apesar da existência do petróleo ter mais de 300 milhões de anos, sua descoberta apenas ocorreu em meados de 1859, nos Estados Unidos por Edwin L. Drake. A priori, o petróleo foi usado na medicina, e só depois passou a ser utilizado como lubrificante (Stoeterau, 2014). O aumento na demanda da utilização do petróleo teve seu marco na Revolução Industrial, uma vez que devido as novas máquinas e transportes, foi despertado um maior interesse para a tribologia; pois uma lubrificação eficiente, além de diminuir o desgaste, facilitava o movimento. (Hoffmann; Schiavi, 2015).

Na atualidade, com o aumento da demanda por petróleo e a crescente preocupação com a utilização de produtos sustentáveis, deixa evidente a necessidade de novos lubrificantes. Isso porque com a grande quantidade de máquinas exigem um enorme volume de óleos lubrificantes, desta forma esse excesso de produtos oriundos do petróleo pode gerar, além da escassez desta matéria prima, problemas ambientais (MME, 2007). Pensando nestes problemas, torna-se preciso a implantação de medidas alternativas com outra originalidade a ser utilizada no ramo da lubrificação.

Esse estudo tem como objetivo conhecer as características do óleo de mamona como óleo lubrificante visando uma possível substituição dos óleos derivados do petróleo, alcançando assim, uma maior sustentabilidade. Os testes serão feitos no tribômetro, através do ensaio BALL-ON-FLAT, estabelecendo uma comparação com os óleos lubrificantes mais utilizados atualmente, expondo as melhores características do óleo de vegetal e suas vantagens.

2. TRIBOLOGIA

A tribologia estuda principalmente a força de atrito, ou força de contato, e é definida como uma ação entre duas superfícies, promovendo uma resistência, e assim dificultando uma movimentação (Hutchings, 1992). Essa resistência ao movimento pode resultar em um desgaste, que pode ser definido como a remoção de material da superfície que interagem com outra superfície através do movimento relativo.

O conceito de lubrificação é muito importante a ser estudado no campo da tribologia, ele pode ser definido como a separação de duas superfícies que se movimentam por óleo ou graxa, permitindo deslizamento suave (Kumar; Sethuramiah, 2015). Sendo assim, a utilização dos óleos lubrificantes é de extrema importância para o funcionamento, rendimento e para aumentar a vida útil dos equipamentos e motores.

Para escolher o óleo lubrificante, dependendo da necessidade, várias características são relevantes, porém as mais importantes para esse respectivo trabalho é a viscosidade e o índice de viscosidade (IV).

A viscosidade nos óleos lubrificantes “fornece uma medida da resistência de um fluido ao fluxo de cisalhamento, e pode ser definida como a tensão de cisalhamento em um plano dentro do fluido, por unidade de gradiente de velocidade normal a esse plano” (Hutchings; shipway,2017). Em outras palavras a viscosidade é a medida de resistência de um fluido para se movimentar, sendo assim, é o comportamento da viscosidade que define a aplicação do óleo lubrificante. Outra consideração que é importante é a influência da temperatura na viscosidade do óleo, o lubrificante ao ser aquecido pode sofrer alterações, essa relação entre temperatura e viscosidade é denominado índice de viscosidade (IV) (Hodges, 1996).

2.1. Categorias dos óleos lubrificantes

Os óleos lubrificantes podem ser classificados de acordo com a sua origem, esse trabalho é um estudo do óleo mineral e vegetal.

O óleo lubrificante mineral é extraído do petróleo através do processo de destilação e então são acrescentados aditivos para adicionar características. Em relação a composição, o óleo mineral é uma mistura de hidrocarbonetos e são caracterizados por geralmente possuírem uma boa viscosidade (Hodges, 1996). Já os óleos vegetais são derivados dos caules, flores, frutos, folhas das plantas e em sua maioria da semente. Os óleos lubrificantes vegetais, também conhecidos com biolubrificantes, são misturas, em proporções variadas, de triglicerídeos. Possuem propriedades diferentes dependendo da composição e do ácido graxos nas moléculas de triglicérides. Por serem a base de vegetais são rapidamente biodegradáveis, diminuindo os riscos e não sendo tóxico para o ambiente e seres humanos (Karak, 2012).

2.2. Óleo de mamona: Uma alternativa de lubrificante biodegradável

Com equipamentos cada vez mais modernos, a necessidade de utilização de óleos lubrificantes é cada vez maior, essa grande utilização gera consequências ao meio ambiente, uma vez que os óleos mais utilizados são os derivados do petróleo, esse modelo óleo se destaca negativamente por não ser consumido totalmente durante o seu uso, necessitando assim ser descartados (MME,2007).

Entre as consequências do descarte dos óleos, encontra-se o fato que, geralmente, os óleos lubrificantes são tóxicos e a presença de alguns aditivos aumenta os riscos de contaminação. Além disso, eles não são biodegradáveis, ou seja, não se decompõe com facilidade. Sendo assim, se descartado indevidamente no meio ambiente, permanecerá lá por muito tempo. Gerando problemas específicos dependendo do local de descarte, um exemplo disso é o solo, que ao receber óleo mineral se tornará infértil (Bart; Cavallaro; Gucciardi, 2012).

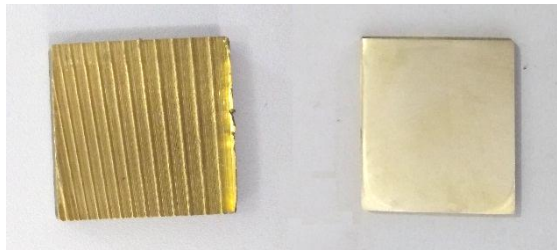
Outra vantagem dos biolubrificantes é que suas matérias primas são encontradas em larga escala no ambiente, pois são oriundos de plantas. Baseado nas vantagens de utilizar um óleo vegetal, esse artigo visa fazer um estudo mais aprofundado do óleo de mamona. Para indústria o óleo de mamona pode ser muito aproveitado porque possui o ácido ricinoléico em sua estrutura, isso resulta em uma taxa de viscosidade relevante, além de uma alta capacidade de aderência a superfícies úmida (Karak, 2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O material escolhido do corpo de prova foi o latão, antes do experimento ele passou por um processo de polimento com o objetivo de tornar o material mais liso, diminuindo assim, o coeficiente de atrito inicial. Foram utilizadas lixas com granulações de 220, 320, 600 e 1200.

No total foram 5 corpos de prova utilizados para os experimentos. A figura a seguir mostra o corpo de prova antes e depois do processo de preparação para o experimento:

Figura 1. Corpo de prova antes e depois do lixamento e polimento (Próprio autor, 2019)



O procedimento com as lixas foi realizado em todos os 5 corpos de prova. Após esse procedimento foi utilizado o rugosímetro, que é responsável por medir a rugosidade na superfície. Esta pode ser definida como as saliências e reentrâncias encontrado na superfície do material. Após a calibração do instrumento, foi medido a rugosidade em 3 pontos distintos por 3 vezes, nos 5 corpos de prova. Foi encontrado um valor médio de 0,044 μm , com base nesse valor e pela NBR 6405, observa-se que a rugosidade das amostras está classificada como super polimento. Sendo assim, essa rugosidade não influenciou o desgaste no experimento.

Foi utilizado também o viscosímetro, ele foi responsável por medir a viscosidade do óleo de mamona nas temperaturas de 40°C e depois de 100°C, com o objetivo de calcular o índice de viscosidade. Foi utilizado o viscosímetro Saybolt para realizar os experimentos, este equipamento determina a viscosidade colocando como base o tempo para óleo escoar, como é possível observar na figura seguinte:

Figura 2. Experimento para encontrar a viscosidade do óleo de mamona (Próprio autor, 2019)



Em seguida foi utilizado a tabela de conversão do Viscosímetro Universal Saybolt, transformando o tempo para viscosidade equivalente em cSt., utilizando a norma ASTM D 2161, os dados obtidos foram os seguintes:

Tabela 1. Tempo e viscosidade cinemática do óleo de mamona (Próprio autor, 2019)

	40°C		100°C	
	Tempo (s)	Viscosidade (cSt)	Tempo (s)	Viscosidade (cSt)
Experimento 1	1045,93	225,7	87,38	17,34
Experimento 2	1076,44	232,25	89,00	17,34
Experimento 3	1100,07	237,5	86,82	17,34

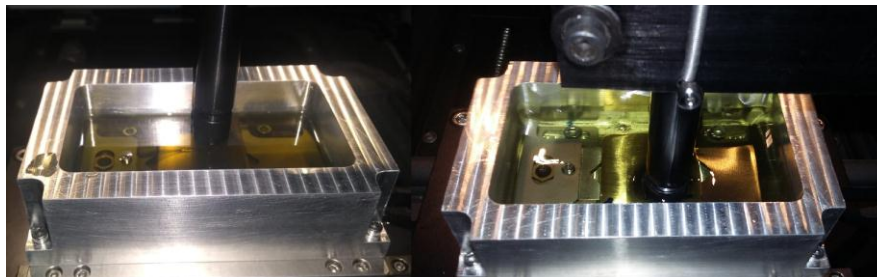
Aplicando a média na equação do índice de viscosidade proporcional na equação 1 encontramos o índice de viscosidade do óleo de mamona:

$$PVI = \frac{2,611(\text{Viscosidade a } 100^{\circ}\text{C})100}{\text{Viscosidade a } 40^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

O ensaio BALL-ON-FLAT foi realizado no tribômetro. O instrumento é responsável por realizar a interação entre as superfícies, realizando o desgaste. Foram feitos experimentos com o óleo mineral e com o óleo de mamona, para cada óleo foram feitos 2 tipos diferentes de experimento, um com uma força de 30N e outro com 60 N e ambas a uma temperatura de 40°C. Foi medido 45 ml de óleo para cada experimento, os corpos de prova foram presos ao tribômetro dentro do recipiente de alumínio com o óleo.

Para cada força foram repetidos 3 experimentos, cada um com uma duração de 60 minutos. O Primeiro experimento foi feito com o óleo vegetal e depois com o óleo mineral. Além disso, foi utilizado uma frequência de 8 Hz e o *Stroke length* de 14 mm.

Figura 3. Experimento com o óleo mineral e com o óleo de mamona, respectivamente (Próprio autor, 2019)



Foi utilizado também a balança analítica, que é responsável por uma precisão mais rigorosa, com este equipamento foi medido a massa das amostras por 3 vezes antes e depois de cada experimento. Essa quantidade de medição é necessária devido à grande precisão do equipamento, em que até pequenas partículas de poeira podem resultar em valores diferentes nas ultimas casas decimais.

4. RESULTADOS

O óleo de mamona foi comparado com o óleo mineral, já que é o mais utilizado atualmente, verificando a sua funcionalidade. O primeiro dado a ser comparado foi o índice de viscosidade, através da equação 1 encontramos que o índice de viscosidade do óleo de mamona é de aproximadamente 81,31, já o índice de viscosidade do óleo mineral 15W40 informado pelo fabricante é de 137, ou seja, o óleo mineral é quase o dobro do óleo vegetal. Esse índice de viscosidade é o que determina a estabilidade do óleo em relação a temperatura, dessa forma ao ser aquecido até 40°C, o óleo mineral se mantém mais estável, variando menos a sua viscosidade.

Em relação aos experimentos realizados no tribômetro, o corpo de prova utilizando o óleo de mamona teve uma perda de massa de aproximadamente 1,4 % depois do experimento aplicando uma força de 30N, como é possível observar na tabela 2:

Tabela 2. Massas dos corpos de prova para os experimentos com óleo de mamona aplicando uma força de 30N (Próprio autor, 2019)

	Corpo de prova 1		Corpo de prova 2		Corpo de prova 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Medição 1 (g)	46,986	46,980	47,006	47,000	46,677	46,669
Medição 2 (g)	46,986	46,980	47,006	47,000	46,678	46,669
Medição 3 (g)	46,986	46,980	47,006	47,000	46,677	46,669
Média (g)	46,986	46,980	47,006	47,000	46,677	46,669
Desgaste (g)	0,006		0,006		0,008	

A tabela 3 está fornecendo dados relacionados ao experimento com o óleo mineral aplicando uma força de 30N a sua perda de massa em porcentagem foi em torno de 0,4%.

Tabela 3. Massas dos corpos de prova para os experimentos com óleo mineral aplicando uma força de 30N (Próprio autor, 2019)

	Corpo de prova 1		Corpo de prova 2		Corpo de prova 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Medição 1 (g)	46,651	46,649	46,649	46,647	47,559	47,558
Medição 2 (g)	46,651	46,649	46,649	46,647	47,559	47,558
Medição 3 (g)	46,651	46,649	46,649	46,647	47,559	47,558
Média (g)	46,651	46,649	46,649	46,647	47,559	47,558
Desgaste (g)	0,002		0,002		0,001	

Com base na tabela 2 e 3, os experimentos com o corpo de prova utilizando óleo de mamona para uma força de 30N tiveram desgastes com um valor médio de aproximadamente 0,007g, já para o óleo mineral a média foi aproximadamente

0,002g, sendo o desgaste do óleo de mamona cerca de 3,5 vezes maior que o óleo mineral. Apesar de ser uma diferença considerável, o resultado ainda é promissor, levando em consideração que o óleo de mamona não tem aditivos em sua composição, diferente do óleo mineral utilizado. É possível observar também que os valores do terceiro experimento para o óleo mineral e vegetal não foram tão próximos, mas como são resultados experimentais, é normal certas divergências de resultados, essas diferenças podem ser explicadas por fatores como a incertezas na temperatura do óleo no momento da realização do experimento (foi aproximadamente 40°C), resíduos de sujeira ou mesmo de partículas de experimentos anteriores.

Para uma força de 60N para o corpo de prova utilizando o óleo de mamona, a perda de massa foi aproximadamente 3,0%, como é possível observar na tabela 4.

Tabela 4. Massas dos corpos de prova para os experimentos com óleo de mamona aplicando uma força de 60N (Próprio autor, 2019)

	Corpo de prova 1		Corpo de prova 2		Corpo de prova 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Medição 1 (g)	47,016	47,006	47,000	46,986	46,669	46,651
Medição 2 (g)	47,016	47,006	47,000	46,986	46,669	46,651
Medição 3 (g)	47,016	47,006	47,000	46,986	46,669	46,651
Média (g)	47,016	47,006	47,000	46,986	46,669	46,651
Desgaste (g)	0,010		0,014		0,018	

Para o óleo mineral aplicando uma força de 60N a perda de massa foi de aproximadamente 1,0%, como é possível observar na tabela 5.

Tabela 5. Massas dos corpos de prova para os experimentos com óleo mineral aplicando uma força de 60N (Próprio autor, 2019)

	Corpo de prova 1		Corpo de prova 2		Corpo de prova 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Medição 1 (g)	47,571	47,566	47,566	47,562	48,163	48,159
Medição 2 (g)	47,570	47,566	47,566	47,561	48,163	48,159
Medição 3 (g)	47,571	47,566	47,566	47,561	48,163	48,159
Média (g)	47,571	47,566	47,566	47,561	48,163	48,159
Desgaste (g)	0,005		0,005		0,004	

Comparando a tabela 4 e 5, para uma força de 60N, utilizando a média dos desgastes do corpo de prova, temos 0,014g para o óleo de mamona e aproximadamente 0,005g para o óleo mineral, sendo assim o óleo vegetal desgasta cerca de 2,8 vezes mais que o óleo de mamona. Com base nos dados obtidos nesses experimentos, é possível observar que o óleo de mamona melhora seu comportamento quando aumenta a força aplicada, já que para 30N seu desgaste foi cerca de 3,5 vezes maior que o óleo de mamona.

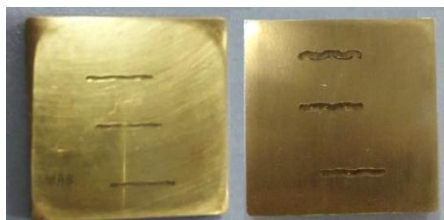
Na figura 4, temos a imagem dos corpos de prova depois dos experimentos utilizado o óleo de mamona.

Figura 4. Corpos de prova depois dos experimentos com óleo de mamona, desgaste superior 60N e inferior 30N (Próprio autor, 2019)



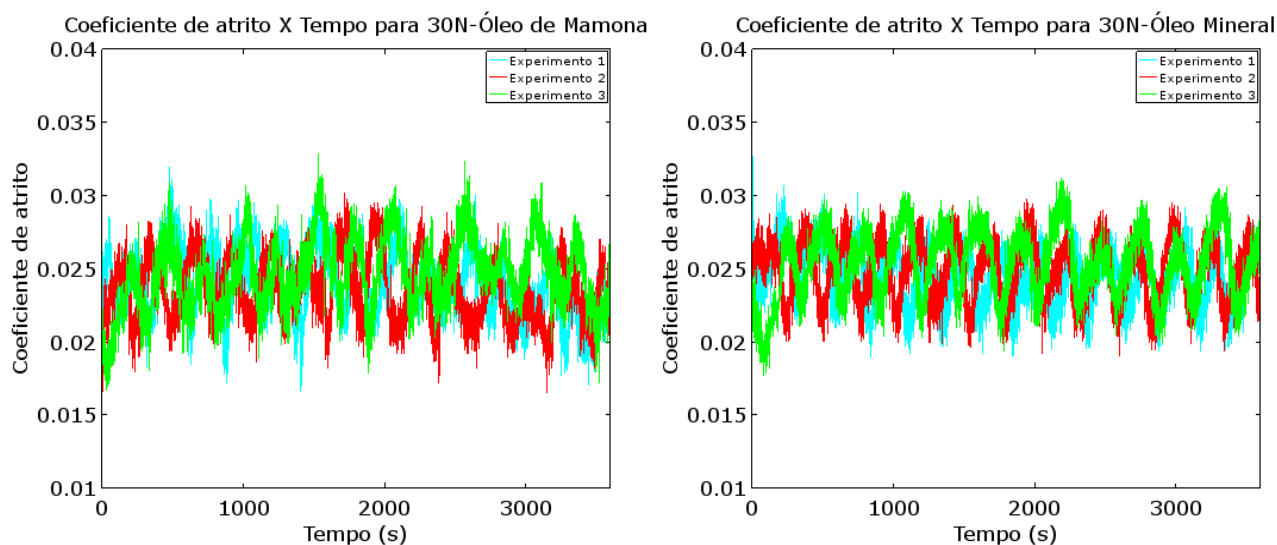
Na figura 5, é possível observar o corpo de prova depois dos experimentos utilizando o óleo mineral, comparando com a figura 4, apesar de com óleo mineral ter um desgaste menor, aparentemente os riscos estão bem semelhantes.

Figura 5. Corpos de prova depois dos experimentos com óleo mineral, 30 N e 60, respectivamente (Próprio autor, 2019)



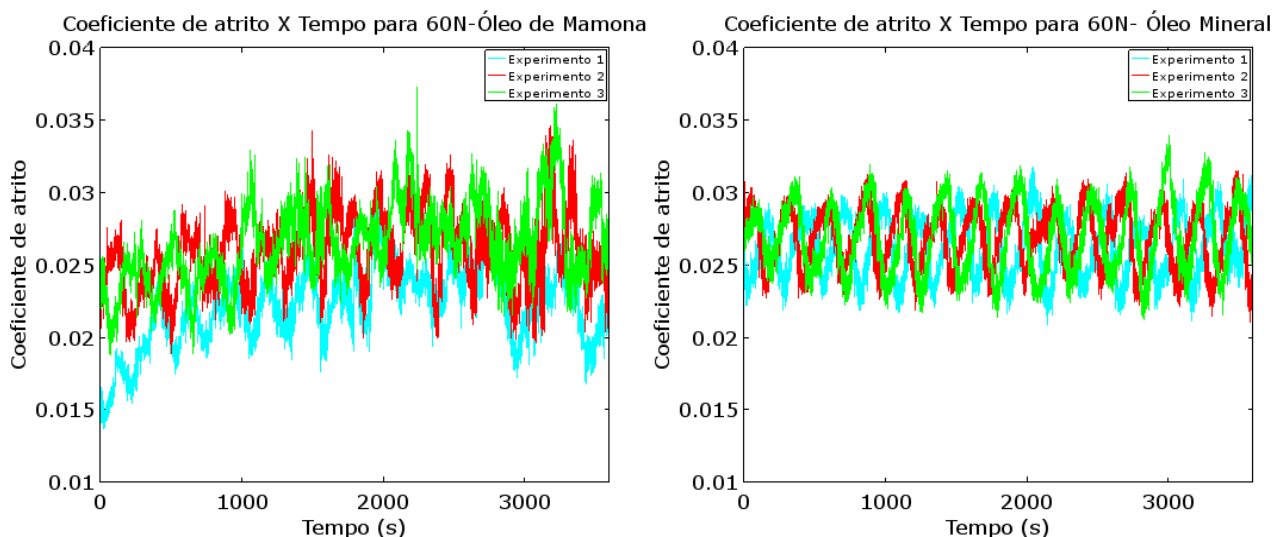
Com base nos resultados dos experimentos realizados no tribômetro e comparando os valores obtidos para o óleo mineral e vegetal é possível realizar algumas análises. Para uma força de 30N, o coeficiente de atrito do óleo de mamona médio é de 0,0240 e do óleo mineral de 0,0248. Apesar da média ser muito próxima, a variação do coeficiente para o óleo vegetal é um pouco maior, com um valor inicial menor e um valor final maior, partindo de aproximadamente 0,0166 a 0,0317, enquanto que para o óleo mineral o coeficiente variou em média de 0,0185 a 0,0312. Esses valores podem ser observados na figura abaixo:

Figura 6. Coeficiente de atrito aplicando uma força de 30N (Próprio autor, 2019)



Para uma força de 60N no gráfico do óleo de mamona, o coeficiente varia de aproximadamente 0,0171 a 0,0341, e tem uma média de 0,02482. Já com o óleo mineral a variação vai de aproximadamente 0,0212 a 0,0321 com uma média de 0,0266. Como é possível verificar na figura a seguir:

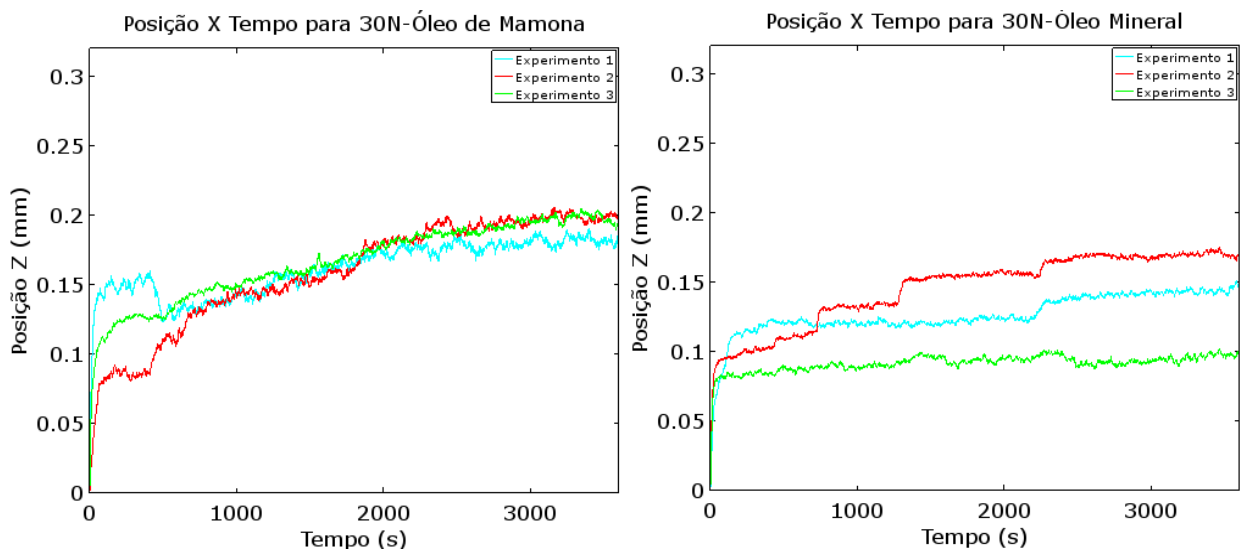
Figura 7. Coeficiente de atrito aplicando uma força de 60N (Próprio autor, 2019)



Como é possível observar na Figura 6 e 7, apesar de valores próximos o coeficiente de atrito do óleo vegetal em comparação ao mineral variou mais, essa maior variação pode ser explicada devido uma menor aderência do lubrificante vegetal a superfície, possibilitando em alguns instantes uma diminuição do óleo entre a esfera e a superfície do corpo de prova.

As imagens a seguir mostram a posição da esfera ao longo dos experimentos, ou seja, o valor em Z que a esfera consegue desgastar. Para o óleo de mamona com uma força de 30N a posição varia em média 0,2001mm. Enquanto que para o óleo mineral essa variação é de aproximadamente 0,1423mm, o que corresponde a um valor 28% menor que o Z para o óleo vegetal, ou seja, o óleo de mamona teve uma profundidade cerca de 1,4 vezes maior que o óleo mineral. Esses dados podem ser visualizados na figura seguinte:

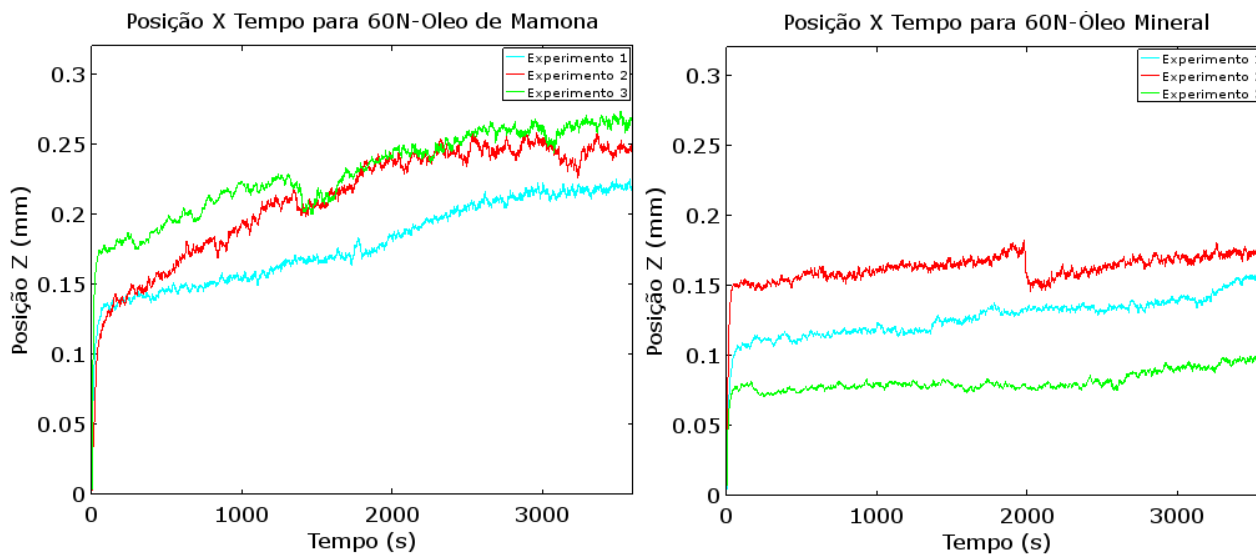
Figura 8. Posição Z aplicando uma força de 30N (Próprio autor, 2019)



Aplicando uma força de 60N, a posição z para o óleo de mamona teve uma variação em média de 0,2526, já para o óleo mineral a variação foi em média de 0,1470 sendo cerca de 41% menor que o z do óleo vegetal, ou seja, o óleo de mamona teve uma profundidade cerca de 1,7 vezes maior que o óleo mineral.

Apesar do óleo de mamona ter uma menor diferença de massa para 60N, a diferença de posicionamento foi maior que em comparação ao gráfico de 30N, isso pode ser explicado com base na figura 9 em relação ao gráfico do óleo mineral, para o experimento 2, é possível observar que a esfera estava em uma altura e aproximadamente por volta dos 2000s ela diminui a profundidade, esse acontecimento peculiar pode ser explicado por uma mudança de posicionamento por parte do flat, começando a desgastar em outro local, interferindo assim na variação de posicionamento total. Resultando em uma variação z menor para o óleo mineral.

Figura 9. Posição Z aplicando uma força de 60N (Próprio autor, 2019)



5. CONCLUSÃO

A utilização de óleos lubrificantes vegetais, torna-se cada vez mais promissora. Tendo em vista que sua matéria prima é quase que ilimitada e se degradam com facilidade promovendo uma utilização mais sustentável.

De acordo com os dados experimentais, a perda de massa nos corpos de prova apresentou valores relativamente próximos, para 30N o óleo de mamona permite um desgaste cerca de 3,5 vezes mais que o óleo mineral, e para 60N cerca de 2,8 vezes mais. Com base na pesquisa, apesar da eficiência do óleo de mamona ser menor que a do óleo mineral, os resultados foram muito satisfatórios, sendo que não foram acrescentados aditivos no óleo de mamona, diferente do óleo mineral.

O resultado é muito animador, visto que o óleo de mamona se comportou bem, sem a presença de nenhum tipo de tratamento, desta forma ele tem um grande potencial para uma futura substituição do óleo mineral pelo óleo de mamona, e precisa ser melhor estudado em trabalhos futuros.

6. AGRADECIMENTOS

À UESC pela concessão da bolsa de Iniciação Científica ICB, sendo possível assim, a realização desta pesquisa. Ao Laboratório de Projetos Mecânicos e Tribologia (LAPMET).

7. REFERÊNCIAS

- ASTM D 2161: Prática padrão para a conversão da viscosidade cinética para a viscosidade universal Saybolt ou para a viscosidade Saybolt Furol, 1966.
- Bart, Jan C.J.; Cavallaro, Stefano; Gucciardi, Emanuele. *Biolubricants: Science and Technology*. 1ª Edição. [S.I]: Woodhead Publishing, 2012. 944 p
- Hodges, Peter K. B. *Hydraulic Fluids*. Edição Ilustrada. Nova York: Wiley, 1996. 167 p.
- Hutchings, I. M.; Shipway, P. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. 2ª Edição. [S.I]: Elsevier Science & Technology Books, 2017. 412 p.
- Jost, H. P., "Tribology-origin and future", *Wear*, 1990 v.136, pp.1-17
- Karak, Niranjan. *Vegetable Oil-Based Polymers: Properties, Processing and Applications*. 1ª Edição. Oxford: Elsevier, 2012. 336 p.
- Kumar, Rajesh; Sethuramiah, A. *Modeling of Chemical Wear: Relevance to Practice*. 1ª Edição. [S.I]: Elsevier, 2015. 240 p
- Schiavi, Marcela Taiane; Hoffmann, Wanda Aparecida Machado. Cenário petrolífero: sua evolução, principais produtores e tecnologias. *Rdbci: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, [S.I], v. 13, n. 2, p.259-278, 31 maio 2015. Universidade Estadual de Campinas. <<http://dx.doi.org/10.20396/rdbci.v13i2.2104>>
- Stoeterau, R. L.; Leal, L. C. "Apostila de Tribologia. Departamento de Engenharia Mecânica" - Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- Ministério das Minas e Energia- MME, Empresa de Pesquisa Energética- EPE, Plano nacional de Energia 2030, Volume 4 - Geração termelétrica- Petróleo e derivados, 2007.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.