

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

AVALIAÇÃO DA LUBRICIDADE DO ÓLEO DE COCO (*Orbignya Phalerata* Mart) E DO ÓLEO DE ANDIROBA (*Carapa Guianensis* Aubl) POR ENSAIO DE DESGASTE¹

PAULO ROBERTO CAMPOS FLEXA RIBEIRO FILHO², ALDO RAMOS SANTOS³,
MARLENE SILVA DE MORAES³ & DEOVALDO DE MORAES JUNIOR³

¹Publicado no Ano de 2019;

²Departamento de Engenharia Mecânica e Produção na Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, pauloroberto56@hotmail.com;

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Santa Cecília-UNISANTA.

RESUMO

O processo de produção dos óleos lubrificantes, derivados do petróleo, disponíveis para comercialização acarretam problemas ambientais desde a sua extração até o descarte. Neste cenário, nas últimas duas décadas, centenas de pesquisadores tem buscado soluções ambientalmente corretas para substituição destes fluidos (Nagendramma e Kaul, 2012). Neste contexto surgiram os biolubrificantes, geralmente derivados de bases vegetais ou animais que tem como vantagem serem de fonte renováveis e biodegradáveis. Este artigo avalia a capacidade de lubrificação dos óleos de coco babaçu (*Orbignya Phalerata* Mart) e de andiroba (*Carapa Guianensis* Aubl) por meio de ensaio de desgaste de um disco contra um bloco submetido a uma força constante. Os parâmetros monitorados durante os ensaios foram: o perfil de crescimento de temperatura na região de contato, a perda de massa e a taxa de desgaste dos discos. A fim de gerar comparação foram ensaiados também óleos minerais. Os resultados mostram que o óleo de andiroba apresenta perfil de crescimento de temperatura superior ao do óleo LUBRAX TURBINA PLUS 46 sugerindo menor capacidade de lubrificação, enquanto que o ensaio com óleo de coco babaçu apontou crescimento do perfil de temperatura similar ao LUBRAX HYDRA XP 32. As taxas de desgaste dos óleos de coco babaçu e andiroba foram maiores se comparadas às taxas geradas pelos óleos LUBRAX HYDRA XP 32 e LUBRAX

TURBINA PLUS 46 em 25% e 38,65%, respectivamente. A partir dos resultados alcançados é possível dizer que o desenvolvimento de lubrificantes a base de óleos vegetais é promissor, embora seja necessário o desenvolvimento de metodologias de aditivação para aumentar a suas capacidades de redução de desgaste.

Palavras-chave: Biolubrificante, Atrito, Disco contra bloco.

EVALUATION OF VEGETABLE OILS' LUBRICITY ORBIGNYA PHALERATA MART AND CARAPA GUIANENSIS AUBL BY THE WEAR TEST

ABSTRACT

The production process of lubricating oils, derived from petroleum, commercially available causes environmental problems from extraction to disposal. In this scenario, in the last two decades, hundreds of researchers have sought environmentally correct solutions to replace these fluids (Nagendramma and Kaul, 2012). In this context, biolubricants, generally derived from vegetable or animal bases, have the advantage of being renewable and biodegradable. This article evaluates the lubrication capacity of babassu (*Orbignya Phalerata* Mart) and andiroba (*Carapa Guianensis* Aubl) oils by means of a wear test from a disc against a block, subjected to a constant force. The parameters monitored during the tests were: the temperature growth profile in the contact region, the loss of mass, as well as the discs wear rate. In order to generate comparison, mineral oils were also tested. The results show that the andiroba oil presents a temperature growth profile higher than the LUBRAX TURBINA PLUS 46 oil, suggesting a lower lubrication capacity, while the test with babassu oil showed similar temperature profile growth to LUBRAX HYDRA XP 32. The wear rates of babassu and andiroba oils were higher when compared to the ones generated by LUBRAX HIDRA XP 32 and LUBRAX TURBINA PLUS 46 oils, respectively, by 25% and 38.65%. From the achieved results it is possible to say that the development of lubricants based on vegetable oils is promising, although it is necessary to develop additivition methodologies in order to increasing their wear reduction capabilities.

Keywords: Biobased lubricant, Friction, Disk against block.

INTRODUÇÃO

A partir do levantamento de estudos anteriores, pode-se dizer que com as reservas comprovadas de petróleo, os níveis atuais de produção serão mantidos por mais 42 anos (BP, 2009). Neste contexto, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas para os produtos derivados do petróleo, dentre eles, os óleos lubrificantes. Em 2017 a produção brasileira de óleos lubrificantes representaram 593.536 m³ dos 105.841.305 m³ da produção de derivados de petróleo do país (ANP, 2018).

Além de ser fonte não renováveis os óleos minerais, ainda podem agredir ao meio ambiente se não for dado tratamento ao seu descarte. Sendo assim o desenvolvimento de biolubrificantes, obtido a partir de reservas renováveis, representam grande avanço por serem biodegradáveis e não tóxicos para os seres humanos e ao ambiente (PEREZ, 2009).

Atualmente, existe lubrificantes desenvolvidos e comercializados a base de óleos vegetais de soja, de milho, de girassol, de palma e de canola, aplicados em sistemas abertos ao meio ambiente, como é o caso de serras elétricas, motores de 2 tempos, e na produção de graxas para engrenagens abertas e cabos de aço. Os óleos vegetais de andiroba e de coco babaçu entram nesse cenário por apresentarem características importantes para a lubrificação como: alto ponto de fulgor e combustão, além de boa capacidade de suportar condições de extrema pressão (RIBEIRO FILHO et al., 2016).

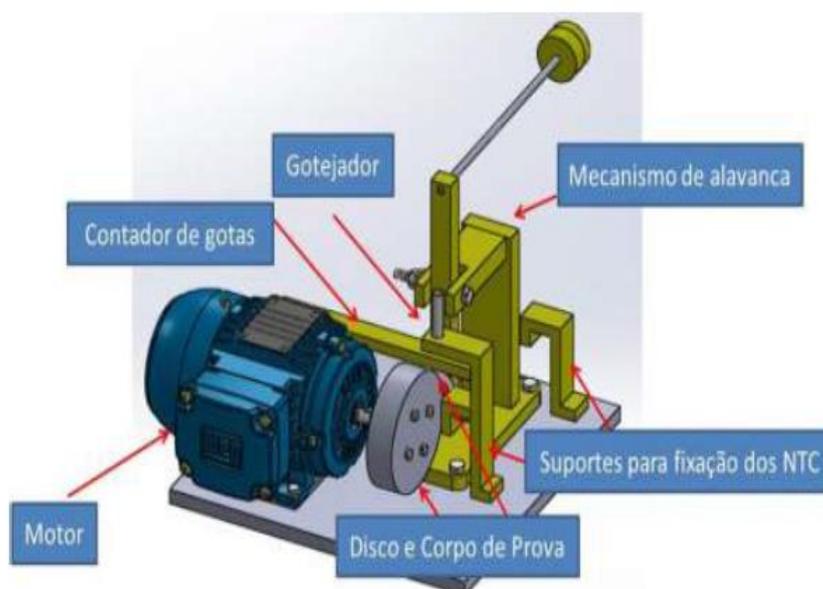
Além disto, os óleos vegetais de andiroba e de coco babaçu apresentam importância econômica nos municípios dos estados do Maranhão e Piauí, além dos estados norte do Brasil devido sua grande exploração, potencializada pela abundância da ocorrência dessas árvores na flora da região. Segundo Carrazza, Ávila e Silva, 2012, amêndoa de babaçu é o segundo produto vegetal florestal não madeireiro mais vendido no Brasil, com cerca de 120 mil toneladas exploradas em 2011. Já o óleo de andiroba apresenta poucas referências sobre sua produção no Brasil, porém segundo dados do CONAB (2013), no estado do Pará houve a exploração de 37 toneladas de sementes de andiroba. Desta forma é possível perceber o grande potencial de produção destes óleos no país.

Desta forma, este trabalho visa avaliar a lubricidade destes óleos quando submetidos à condição de deslizamento a fim de identificar sua potencialidade para redução de desgaste.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os óleos vegetais utilizados neste estudo foram o de coco babaçu e de andiroba, além dos óleos minerais LUBRAX TURBINA PLUS 46 e LUBRAX HYDRA XP 32. A lubricidade foi avaliada por meio de um experimento desenvolvido a partir de um mecanismo de alavanca que fixa um bloco em aço carbono SAE 52100 em contato com um disco em aço carbono SAE 4140 mantido por uma força de 12,5N. O disco entra em rotação a partir da ação de um motor elétrico trifásico de potência de 1/3 de CV. A rotação foi mantida e controlada em 1200 RPM por um inversor de frequência WEG CFW08 (Figura 1).

Figura 1 – Experimento disco contra bloco utilizado para avaliação da lubricidade dos óleos vegetais e minerais



Para realização dos testes, os discos e blocos foram lixados com Carbetto de Silício (SiC) nas granulometrias: mesh 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200. O lixamento dos corpos de prova foi realizado com o auxílio de lixadeira a disco. Enquanto que o lixamento do disco foi realizado manualmente por conta da sua geometria circular. Após o lixamento, realizou-se a limpeza das peças com acetona.

Após a etapa de lixamento, os blocos e discos foram submetidos à medição de rugosidade para garantir valores de acabamento superficial próximos, com o propósito de submeter os óleos as mesmas condições. Os blocos e discos foram submetidos a quatro medições do parâmetro Ra de rugosidade, os discos e os corpos de prova foram divididos em

quadrantes, na qual em cada um foi realizado uma medição. Os resultados foram apresentados por médias aritméticas e desvio padrão, por peça.

Para realização das medições do parâmetro Ra (significado aritmético dos valores absolutos do desvio de perfil (Y_i) do principal comprimento da amostragem) utilizou-se um rugosímetro portátil digital ITRPSD-200. O tipo de teste de rugosidade foi de indutância, com faixa de medição 160 μm , raio agulha de 2 μm , agulha em diamante, força de medição 4mN, ângulo da agulha de 90° e raio de curvatura da agulha de 45 mm. Os valores foram apresentados em μm . O comprimento da amostragem foi de 0,8 mm e velocidade de trajetória com medição de 0,5mm/s. Segundo o fabricante a precisão da medição do rugosímetro é menor ou igual a $\pm 10\%$.

Os parâmetros monitorados foram: a temperatura no bloco por meio da fixação de um termistor NTC em furo passante localizado no centro da peça e a temperatura ambiente medida a 250 mm da região de contato disco e bloco. As temperaturas foram coletadas a cada 5 segundos. A aquisição de dados foi realizada por meio da plataforma de prototipagem eletrônica open source denominada Arduino. Por meio da diferença das temperaturas, ponto a ponto, elaborou-se gráfico relacionando com a distância de deslizamento a fim de avaliar o perfil de crescimento de temperatura do contato lubrificado com os quatro óleos estudados.

Para relacionar os valores de resistência percebidos pelos termistores NTC utilizou-se a equação 1 de Steinhart-Hart (RECKTENWALD, 2013):

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C (\ln(R))^3 \quad (1)$$

Na equação 1, os valores das constantes A, B, C foram obtidos por meio da substituição de três pontos de temperatura e sua correspondente resistência na Equação de Steinhart-Hart (ver Tabela 1). Os valores de temperatura/resistência foram coletados no manual do fabricante do termistor NTC de 10K Ω Cantherm MF52 (Tabela 2).

Tabela 1 - Valores de Temperatura/Resistência utilizado para obtenção das constantes de Steinhart-Hart.

Temperatura (°C)	Resistência(Ω)
0	27280
25	10000
100	973,2

Tabela 2 - Valores das constantes A, B e C utilizadas para obtenção da conversão de valores de resistência em temperatura.

Constante	Valor
A	0,000880382
B	0,000252617
C	0,00000018807

Outro parâmetro avaliado foi à perda de massa por meio do coeficiente de desgaste dimensional estabelecido pela equação de Archard (RABINOWICZ, 1984):

$$Q = \frac{KW}{H} \quad (2)$$

Na equação 2, Q representa o volume desgastado por unidade de distância de deslizamento (mm³/m); K/H ou ka é o coeficiente de desgaste dimensional (taxa de desgaste), m²/N; H é a dureza superficial do material mais mole (SAE 4140); W é a carga normal aplicada pelo mecanismo de alavanca em Newton.

O fluxo de óleo foi controlado por um contador de gotas desenvolvido a partir de um circuito eletrônico formado por um diodo emissor de luz (LED) e um fototransistor comum (TIL 78) (HESSEL et al., 2008).

Para definição da taxa de desgaste utilizou-se uma balança Sartorius de capacidade de 2200 gramas para medir a massa do disco antes e após o teste de desgaste.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do parâmetro de rugosidade média (R_a) dos discos e corpos de prova, a serem lubrificados com óleos vegetais e minerais podem ser observados nas tabelas 3 e 4:

Tabela 3– Resultados do parâmetro de rugosidade R_a dos discos.

PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_a (μm)				
Quadrante	Disco 1 ⁽¹⁾	Disco 2 ⁽²⁾	Disco 3 ⁽³⁾	Disco 4 ⁽⁴⁾
1	3,252	3,575	2,578	2,675
2	2,503	3,756	3,526	2,426
3	1,5708	2,508	3,45	1,439
4	2,502	3,45	2,504	3,12
Média aritmética	2,458	3,174	3,014	2,415
Desvio Padrão	0,593	0,510	0,475	0,615

Nota:

- (1) Disco utilizado no ensaio com óleo de Babaçu;
- (2) Disco utilizado no ensaio com óleo LubraxHydra XP 32;
- (3) Disco utilizado no ensaio com óleo de Andiroba;
- (4) Disco utilizado no ensaio com óleo Lubrax Turbina Plus 46;

Tabela 4– Resultados do parâmetro de rugosidade R_a dos corpos de prova.

PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_a (μm)				
Quadrante	Bloco1 ⁽⁵⁾	Bloco 2 ⁽⁶⁾	Bloco3 ⁽⁷⁾	Bloco4 ⁽⁸⁾
1	1,325	1,123	1,093	1,287
2	1,054	1,327	1,307	1,11
3	1,264	1,088	1,045	1,024
4	1,15	1,036	1,159	1,255
Média aritmética	1,198	1,143	1,151	1,169
Desvio Padrão	0,104	0,110	0,098	0,106

Nota:

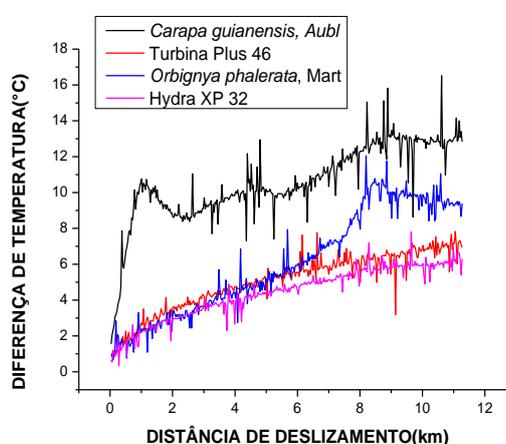
- (5) Bloco utilizado no ensaio com óleo de Babaçu;
- (6) Bloco utilizado no ensaio com óleo Lubrax Hydra XP 32;
- (7) Bloco utilizado no ensaio com óleo de Andiroba;
- (8) Bloco utilizado no ensaio com óleo Lubrax Turbina Plus 46;

Os parâmetros de rugosidade dos quatro discos (SAE 4140) utilizados nos ensaios dos óleos vegetais e minerais apresentaram valores admissíveis para a classe de rugosidade N8 (até 3,2

μm), padrão de superfícies usinadas em geral, como por exemplo, superfície de eixos. Já o acabamento superficial dos corpos de prova (SAE52100) variou de 1,143 a 1,198 μm , rugosidade normalmente usada em assentos de rolamentos (buchas).

O monitoramento das temperaturas na região de atrito e ambiente pode ser observado na figura 2. Na ordenada tem-se a subtração da temperatura na região de atrito da temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$). A abscissa é à distância de deslizamento em km (Figura 2).

Figura 2 – Gráfico comparativo do monitoramento das temperaturas dos óleos (BABAÇU, HYDRA XP32, ANDIROBA, TURBINA PLUS 46).



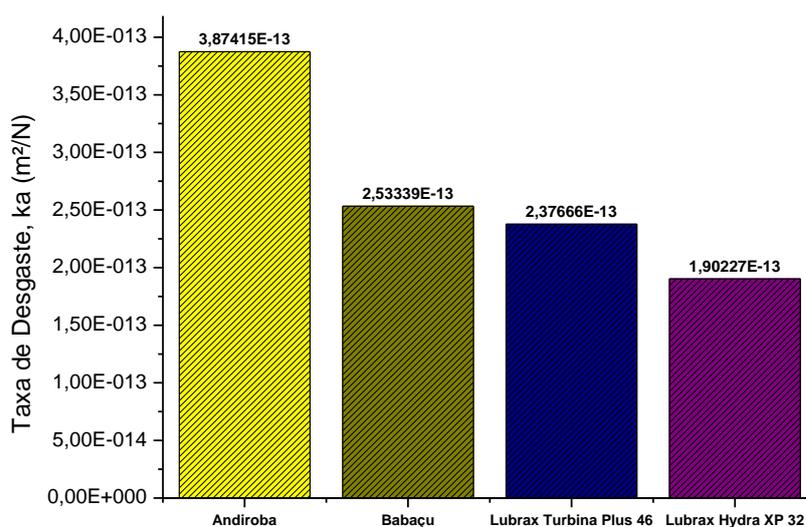
O monitoramento das temperaturas apresentou o óleo LUBRAX HYDRA XP 32 com o menor aquecimento na região de contato ao longo dos 11 km de deslizamento, o que pode ser explicado pela aditivação antidesgaste, enquanto o óleo de andiroba apresentou maior aquecimento na região de contato. A aditivação antidesgaste, segundo (QU et al., 2014) reduz o coeficiente de atrito de 45% a 60% em relação a um óleo base sem aditivo.

Na comparação entre o óleo de coco babaçu e LUBRAX HYDRA XP 32, compatível pela viscosidade, observa-se que o óleo vegetal apresentou o crescimento de temperatura semelhante ao mineral até 4 km de deslizamento, logo após, houve acréscimo na temperatura. O acréscimo de temperatura do óleo de babaçu em relação ao LUBRAX HYDRA XP 32 deve-se a sua instabilidade oxidativa, que ao longo do teste aumenta sua viscosidade reduzindo sua eficiência (MATOS, 2011). Na comparação entre o óleo de andiroba e LUBRAX TURBINA PLUS 46 observou-se que a temperatura na região de atrito sempre apresentou valores superiores no ensaio lubrificado com o óleo de andiroba, e desta forma consolidando-se como o ensaio que mais produziu atrito.

Entre os óleos de origem vegetal, o de coco babaçu apresentou menor crescimento de temperatura, demonstrando maior resistência a produção de atrito. Entre os óleos de origem mineral, o crescimento de temperatura teve comportamento parecido, embora o LUBRAX HYDRA XP 32 tenha apresentado valores de temperatura menores na região de atrito.

As massas dos discos foram mensuradas antes e após o ensaio a fim de calcular as taxas de desgaste dos discos. O disco que apresentou a maior perda de massa (0,43 g) foi o ensaiado com óleo de andiroba, seguido pelo coco babaçu (0,28 g), LUBRAX TURBINA PLUS 46 (0,26 g) e LUBRAX HYDRA XP 32 (0,21 g). As taxas de desgaste dos discos, calculada a partir das perdas de massas foram apresentadas na figura 3.

Figura 3 – Taxa de desgaste dos discos ensaiados com óleo de Coco Babaçu, LUBRAX HYDRA XP 32, Andiroba, LUBRAX TURBINA PLUS 46.



O disco ensaiado com óleo de coco babaçu apresentou desgaste superior ao ensaiado com LUBRAX HYDRA XP 32 em 25%. A aditivção do óleo mineral com anti desgaste pode justificar o percentual superior do óleo vegetal. Embora não inviabilize a utilização do óleo de babaçu para atividade de lubrificação, visto que, segundo os dados obtidos por (CASTRO et. al, 2006), para o óleo de soja, o desgaste pode ser reduzido em 21,5% com a aditivção. Na comparação óleo babaçu e LUBRAX TURBINA PLUS 46, o disco ensaiado com óleo de coco babaçu apresentou aumento percentual de desgaste de 6%. A capacidade similar de redução de desgaste entre lubrificantes de base vegetal e mineral também foi observada no estudo de

(PANCHAL et. al., 2015)no qual a graxa a base de óleo de karanja apresentou mesmo coeficiente de atrito (0.102) da graxa a base de óleo mineral (SN 500). Em relação ao óleo de andiroba, o óleo de coco babaçu apresentou percentual inferior de 65,39%, evidenciando que o óleo de coco babaçu tem melhor eficiência na redução de desgaste entre os óleos vegetais ensaiados.

O disco ensaiado com óleo de andiroba apresentou desgaste com percentual superior quando comparado com o seu compatível no grau de viscosidade (46) na ordem de 38,65%. A menor capacidade de redução do desgaste do óleo de andiroba é explicada devido a sua composição química ser formada por até 55% de óleo oleico, que é um ácido graxo monoinsaturado (FARIAS et. al., 2012) e que segundo (CASTRO et. al, 2006) os ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa influenciam a característica de redução de desgaste por formarem produtos de alto peso molecular (HMW) o que não acontece nos ácidos monoinsaturados. Em relação ao óleo LUBRAX HYDRA XP 32, o disco ensaiado com óleo de andiroba apresentou desgaste superior em 50,9%. Por fim, em relação ao óleo de coco babaçu, o óleo de andiroba apresentou percentual de desgaste superior em 34,60%. Desta forma, pode-se perceber que o óleo de andiroba apresentou, dentre os óleos ensaiados, a menor eficiência para redução de desgaste.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados com a bancada desenvolvida, é possível concluir que o crescimento da temperatura durante os 11 km de deslizamento foi maior para o ensaio realizado com óleo de andiroba. O óleo de coco babaçu apresentou crescimento de temperatura na região de atrito equivalente ao óleo LUBRAX HYDRA XP 32 até 4 km de deslizamento e inferior ao óleo LUBRAX TURBINA PLUS 46 menor de 0 a 4 km e equivalente de 4 a 5 km.

Os resultados das taxas de desgaste obtidos, dentre os óleos estudados, mostraram que o disco lubrificado por óleo de andiroba ($3,87415 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$) foi maior em 38,6% em relação ao óleo LUBRAX TURBINA PLUS 46; 50,9% em relação ao óleo LUBRAX HYDRA XP 32 e 34,60% em relação ao óleo de coco babaçu. O óleo de coco babaçu apresentou resultados maiores de desgaste em relação aos óleos minerais, em que apresentou desgaste maior em 25% em relação ao LUBRAX HYDRA XP 32 e 6% em relação ao LUBRAX TURBINA PLUS 46. Assim, foi possível concluir que a aditivação anti desgaste do óleo LUBRAX HYDRA XP influencia consideravelmente na redução de desgaste.

Por fim, é possível concluir que a grande barreira para tornar os óleos vegetais bases consolidadas de lubrificantes está relacionando com a sua instabilidade oxidativa que interfere no seu desempenho para a redução do desgaste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. **Produção de derivados de petróleo por refinaria e produto – 2000-2018 (m³)**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>. Acesso em 28 mai. 2018.

BP, 2009a. **BP Statistical Review of World Energy**, June 2009.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J.C.C.; SILVA, M. L. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu (*Attalea spp.*)**. Brasília – DF. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasil, 2012.

CASTRO, W., PEREZ, J. M., ERHAN, S. Z., & CAPUTO, F. **A study of the oxidation and wear properties of vegetable oils: soybean oil without additives**. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(1), 47-52. 2006.

CONAB, **Conjuntura Especial: Semente de Abdiroba**. Ministerio de Agricultura, Pecuaria e Abastecimento, 2013.

FARIAS, E. S., FILHO, A. A. M., SOUSA, R.C.P., CASTILHO, C., SILVA, S.R. **Perfil Dos Ácidos Graxos Do Óleo Da Semente de Andiroba (*Carapa Guianensis Aublet*) De Roraima por Cromatografia Gasosa (CG)**. 52º Congresso Brasileiro de Química: Química e Inovação: Caminho para a Sustentabilidade. 2012.

HESSEL, R.; OLIVEIRA, C. S.; SANTARINE, G.A.; VOLLET, D. R. **Contadores eletrônicos no laboratório didático. Parte i. Montagem e aplicações**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.30, n.1, 2008.

MATOS, P. R. R. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. Brasília: UNB, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

NAGENDRAMMA, Ponnekanti; KAUL, Savita. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 1, p. 764-774, 2012.

PANCHAL, T., CHAUHAN, D., THOMAS, M., & PATEL, J. **Biobased grease A value added product from renewable resources**. *Industrial Crops and Products*, 63, 48-52. 2015.

PEREZ, H. I. Q. **Produção De Biolubrificante Para Usos Especiais**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

QU, J., LUO, H., CHI, M., MA, C., BLAU, P. J., DAI, S., & VIOLA, M. B. **Comparison of an oil-miscible ionic liquid and ZDDP as a lubricant anti-wear additive.** TribologyInternational, 71, 88-97. 2014.

RABINOWICZ, E. **“The Least Wear”.** Wear v. 100, p. 533-541, 1984.

RECKTENWALD, G. **Temperature Measurement with a Thermistor and na Arduino.** Class Notes for EAS 199B, 2013.

RIBEIRO FILHO, P. R. C. F., de MORAES JUNIOR, D., DE MORAES, M. S., & SANTOS, A. R. **Propriedades Físicas De Óleos Lubrificantes Minerais E Vegetais E Avaliação de Desgaste Por Four Ball.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, 5(1). 2016.