

Dissertação de Mestrado

CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE CARNAÚBA PARA USO COMO BIOLUBRIFICANTE

SYNARA LUCIEN DE LIMA CAVALCANTI

Natal, fevereiro de 2014

SYNARA LUCIEN DE LIMA CAVALCANTI

**CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE CARNAÚBA PARA
USO COMO BIOLUBRIFICANTE**

Dissertação submetida à **Universidade Federal
do Rio Grande do Norte** como parte dos requisitos
para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia
Mecânica**. Sendo aprovada em sua forma final.
Orientador: Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes - UFRN

Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto- UFRN

Eng. Dr. Adelci Menezes de Oliveira - PETROBRAS

DEDICATÓRIAS

Dedico este projeto aos meus pais (in memoriam)

Evandro e Sônia

*Dedico também ao meu marido, Praxedes,
alicerce para minha vida,
sempre ao meu lado
e me incentivando aos estudos.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, força indispensável em todos os momentos de minha vida.

À minha família, que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida.

Ao Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes, pela orientação, incentivo e imensurável colaboração na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo Lins, pela orientação para a realização dos ensaios e por disponibilizar recursos tecnológicos para a realização deste projeto.

Aos amigos Rudson Souza e Fernanda Alves, pelo companheirismo e contribuição nas atividades do meu projeto.

Aos amigos do Laboratório Mecânica dos Fluidos – UFRN, Fabíola Silveira, Karllyamo Lennon, José Calazans, Luanda Kívia, que também contribuíram nas atividades do meu projeto.

Aos orientandos e técnicos do NUPEG II, Joselisse, Guilherme, Andrei, Paulino, Batista, pelo apoio para a realização dos ensaios.

Ao técnico Zezinho, pela sua contribuição no desenvolvimento de uma etapa importante deste projeto.

Ao Prof. Lúcio Fontes e os técnicos do Laboratório Oficina Mecânica – UFRN, pela disponibilização de ferramentas e equipamentos durante o decurso deste trabalho.

Ao Laboratório de Nutrição Animal – UFRN, pela disponibilização de equipamento.

Ao Sr. Vicente de Paula Queiroga, pelas informações cedidas sobre seu estudo referente à carnaúba.

Aos professores Dr. Osvaldo e Dr. Romualdo, pelas sugestões e apoio no desenvolvimento deste projeto.

À Maria Brunet, pelo apoio na resolução dos assuntos burocráticos.

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobras – PRH-14, pelo apoio financeiro.

À banca examinadora, pelas avaliações e orientações indispensáveis ao encerramento deste trabalho.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

*"Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados,
capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo,
só depende de nossa vontade e perseverança."*

Albert Einstein

RESUMO

O lubrificante é responsável por reduzir o desgaste relativo ao atrito, proteger o metal contra a oxidação, corrosão e dissipar o calor excessivo, tornando-se essencial para o equilíbrio de um sistema mecânico, conseqüentemente prolongando a vida útil de tal sistema. A origem dos óleos lubrificantes é, em geral, mineral sendo extraídos a partir do petróleo. Mas a busca por uma nova fonte de produção de lubrificantes e combustíveis faz-se necessário para suprir futuras demandas e diminuir os possíveis danos ambientais; por este motivo, procuram-se formas alternativas para produção de determinados produtos derivados do petróleo, como o biodiesel, por exemplo. Voltando para a esfera dos lubrificantes, percebe-se também essa necessidade de novas matérias-primas para a sua produção. O óleo vegetal é um recurso renovável e biodegradável, e a sua utilização implica em vantagens nos aspectos ambientais, sociais e econômicos. O desenvolvimento deste projeto tem como objetivo caracterizar o óleo de carnaúba como um lubrificante vegetal, ou biolubrificante. Para analisar o óleo de carnaúba foram desenvolvidos ensaios como verificação de massa específica, ponto de fulgor, ponto de combustão, viscosidade, índice de viscosidade, índice de acidez, pH, corrosão ao cobre, condutividade térmica e resistividade térmica. Em complemento, para realizar análises de desgaste relativo ao atrito e do gradiente de temperatura do sistema, foi desenvolvido o equipamento para análise de desgaste relativo ao atrito. Diante dos resultados obtidos, observa-se que o óleo de carnaúba apresenta uma boa correlação para sua aplicação como biolubrificante.

Palavras-chave: Óleo de carnaúba, Biolubrificante, Lubrificante, Sistema mecânico.

ABSTRACT

Lubricant is responsible for reducing the wear on the friction protect the metal against oxidation, corrosion and dissipates excess heat, making it essential for the balance of a mechanical system, consequently prolonging the useful life of such a system. The origin of lubricating oils is usually mineral being extracted from the petroleum. But the search for a new source of production of lubricants and fuels it is necessary to meet future demands and reduce the possible environmental damage. For this reason, looking alternative means to produce certain products derived from petroleum, such as biodiesel, for example. Returning to the realm of lubricants, also one realizes this need for new raw materials for their production. Vegetable oil is a renewable resource and biodegradable, and its use entails advantages in environmental, social and economic. The development of this project aims to characterize the carnauba oil as a lubricant plant, or biolubricant. To analyze the oil carnauba tests as checking density, flash point, fire point, viscosity, viscosity, acid number, pH, copper corrosion, thermal conductivity and thermal resistivity were developed. In addition, for conducting the wear on the friction and the gradient of the system temperature, the analysis equipment is designed for wear on the friction. Based on these results, it is observed that the oil carnauba show good correlation to its application as biolubricant.

Keywords: Carnauba oil, Biolubricant, Lubricant, Mechanical system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Palmeira <i>Copernicia prunifera</i>	18
Figura 02. Palmeira <i>Copernicia hospita</i>	19
Figura 03. Frutos de carnaúba.....	20
Figura 04. Processo de extração do óleo vegetal.....	23
Figura 05. Fluxograma representativo da extração do óleo de carnaúba.....	32
Figura 06. Método de separação da semente da polpa.....	33
Figura 07. Fruto da carnaúba maduro, à esquerda; e as sementes do fruto da carnaúba, à direita.....	33
Figura 08. Moinho de facas.....	34
Figura 09. Semente triturada: à esquerda o pó, e à direita os grãos.....	34
Figura 10. Sistema de extração Soxhlet, em destaque a câmara de extração com o cartucho contendo a semente triturada.....	36
Figura 11. Suspensão do pó das sementes no solvente.....	38
Figura 12. Sistema com decantação do sólido.....	38
Figura 13. Pó da semente de carnaúba sem óleo após decantação.....	39
Figura 14. Filtração por ar comprimido.....	39
Figura 15. À esquerda o fluido filtrado, e à direita o filtro do equipamento com resíduos do pó da semente.....	40
Figura 16. Sistemas de destilação simples.....	41
Figura 17. (a) A mistura em temperatura ambiente. (b) O solvente em ebulição.....	41
Figura 18. Mistura solvente mais óleo, mas com uma maior concentração de óleo.....	42
Figura 19. Estufa.....	42
Figura 20. Balança e picnômetro de 10 mL utilizados.....	44
Figura 21. Medição da massa do picnômetro com o óleo de carnaúba; em destaque o picnômetro com o óleo de carnaúba.....	45

Figura 22. Equipamento Petrotest PM4.....	46
Figura 23. Ao centro o Reômetro Brookfield, à esquerda o software sendo executado e à direita o banho térmico com regulagem de temperaturas.....	47
Figura 24. Medidor Digital de pH.....	48
Figura 25. Equipamentos e materiais do ensaio de índice de acidez.....	49
Figura 26. (a) Solução antes da titulação. (b) Solução após a titulação.....	50
Figura 27. Equipamento e materiais do ensaio de corrosão.....	51
Figura 28. Equipamento para ensaio de desgaste relativo ao atrito.....	53
Figura 29. (a) Amostra. (b) Haste.....	55
Figura 30. Balança de precisão CC1201.....	55
Figura 31. Bancada do ensaio de desgaste relativo ao atrito.....	56
Figura 32. Destaque do contato entre a amostra e a haste durante o ensaio.....	57
Figura 33. Câmera infravermelha FLIR E-60.....	57
Figura 34. Ensaio de condutividade e resistividade térmica com equipamento KD2.....	58
Figura 35. Mistura de óleo mais solvente: (a) o resultado do processo utilizando o grão; (b) e utilizando o pó.....	60
Figura 36. Óleo de Carnaúba.....	61
Figura 37. Viscosidade por taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento por taxa de cisalhamento a 25°C (azul), 45°C (verde), 65°C (rosa) e 95°C (vermelho).....	63
Figura 38. Variação da viscosidade segundo a temperatura.....	64
Figura 39. Comparação da coloração da chapa de cobre após ensaio no padrão ASTM.....	65
Figura 40. Tabela de Graus de Viscosidade para Óleos de Motor - SAE J300 e a tabela de classificação MIL-PRF-2104G.....	67
Figura 41. Dados do óleo Lubrax SAE 10W30 API SM.....	68
Figura 42. Óleo Lubrax SAE 10W30 API SM.....	68
Figura 43. Gradiente de temperatura dos óleos.....	69

Figura 44. (a) Termografia do ensaio com o óleo comercial; (b) e com o óleo da carnaúba.....	70
Figura 45. Análise de desgaste dos óleos.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Composição relativa às características dos frutos, polpa e amêndoa de carnaúba.....	21
Tabela 02. Classificação dos óleos básicos.....	24
Tabela 03. Resultados do processo de extração no extrator Soxhlet.....	60
Tabela 04. Densidade do óleo de carnaúba.....	62
Tabela 05. Ponto de fulgor e ponto de combustão do óleo de carnaúba.....	62
Tabela 06. Características do óleo de carnaúba.....	66
Tabela 07. Valores de condutividade e resistividade térmica dos óleos.....	70

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

EC&T - Escola de Ciência e Tecnologia da UFRN

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM - American Society for Testing and Materials

SAE - Society of Automotive Engineers

OC - Óleo de Carnaúba

RPM - Rotações por minuto

m - Massa [g]

V - Volume [cm³] [mL]

cm³ - Centímetros cúbicos

mL - Mililitros

mm - Milímetros

g - Grama

mg - Miligramas

°C - Graus Celsius

s - Segundo

min - Minuto

M - Molar

KOH - Hidróxido de potássio

SiC - Carbetto de silício

N - Newton

Pa - Pascal

τ_{yx} - Tensão tangencial [N/m²] [Pa]

du/dy - Taxa de deformação [1/s]

μ - Viscosidade absoluta ou dinâmica [cP]

ν - Viscosidade cinemática [cSt]

ρ - Massa específica ou densidade absoluta [g/cm³]

cP - CentiPoise

cSt - CentiStoke

IA - Índice de Acidez [mg KOH/g]

N - Fator da solução de hidróxido de potássio

W - Massa da amostra que foi feita a titulação [g]

A - Volume de KOH da amostra com o óleo [mL]

B - Volume de KOH da amostra em branco[mL]

IV - índice de viscosidade

- Número

R E - Rendimento da extração [%]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Características Gerais da Planta.....	18
2.2. Características do Fruto da Carnaúba e Método de Extração do Óleo.....	19
2.3. Lubrificantes.....	24
2.4. Impactos Ambientais e Alternativas Renováveis para Lubrificantes.....	29
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. Extração do Óleo.....	32
3.1.1. Recepção, Limpeza e Decortificação.....	33
3.1.2. Trituração das Sementes de Carnaúba.....	34
3.1.3. Determinação do Rendimento de Extração do Óleo de Carnaúba.....	35
3.1.4. Extração com Solvente.....	37
3.1.5. Filtração.....	39
3.1.6. Recuperação do Solvente.....	40
3.2. Análises das Propriedades Térmicas, Físicas e Químicas.....	43
3.2.1. Massa Específica.....	43
3.2.2. Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão.....	45
3.2.3. Viscosidade.....	47
3.2.4. Potencial Hidrogeniônico.....	48
3.2.5. Índice de Acidez.....	48
3.2.6. Corrosão ao Cobre.....	50
3.2.7. Índice de Viscosidade.....	52
3.3. Análises de Desempenho.....	52
3.3.1. Equipamento para Ensaio de Desgaste Relativo ao Atrito.....	53
3.3.2. Análise de Desgaste Relativo ao Atrito.....	54
3.3.3. Análise de Condutividade Térmica e Resistividade Térmica.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5. CONCLUSÕES.....	72
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
7. REFERÊNCIAS.....	74
7.1. Referências Bibliográficas.....	74
7.2. Referências Bibliográficas Complementares.....	75

1. INTRODUÇÃO

O lubrificante é um dos itens mais importantes para manter um sistema mecânico em equilíbrio, onde as peças ao trabalharem ficam em contato direto, pois reduz desgaste relativo ao atrito, protege o metal contra a oxidação, corrosão e dissipa o calor excessivo, prolongando a vida útil do sistema mecânico. A sua ausência, mau uso ou má qualidade, pode causar sérios danos, podendo comprometer parcialmente ou totalmente o sistema.

A origem dos óleos lubrificantes é, em geral, mineral sendo extraídos a partir do petróleo e sua classificação é em função de suas propriedades físico-químicas. As principais propriedades observadas em um óleo lubrificante são: a viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fulgor, ponto de combustão, índice de acidez, corrosão ao cobre, massa específica, capacidade de dissipação de calor e capacidade de reduzir o desgaste devido ao atrito, as quais definem em que grupo este lubrificante está associado.

Diante do fato, de que o petróleo é um recurso não renovável, a busca por uma nova fonte de produção de lubrificantes e combustíveis faz-se necessário para suprir futuras demandas; por este motivo, procuram-se formas alternativas para produção de determinados produtos, como o biodiesel, por exemplo. Voltando para a esfera dos lubrificantes, percebe-se também essa necessidade de novas matérias-primas para a sua produção. O óleo vegetal é um recurso renovável e biodegradável, e a sua utilização implica em vantagens nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, podendo ser considerado como um importante fator de viabilização do desenvolvimento sustentável especialmente em comunidades rurais.

No desenvolvimento deste estudo foi considerada a necessidade de um produto biodegradável que seja economicamente e tecnicamente viável. Para isto, preferiu-se trabalhar com o óleo de carnaúba como matéria-prima, por tratar-se de uma planta adaptada ao clima semi-árido, e encontrar-se presente em quase todo nordeste brasileiro. A carnaúba oferece possibilidades de atividades econômicas mesmo durante o período de estiagem.

O objetivo geral deste estudo é caracterizar o óleo de carnaúba como um lubrificante vegetal, ou biolubrificante. Sendo mais específico, realizar ensaios para

analisar as propriedades térmicas, físicas e químicas do óleo de carnaúba. E, com base nos resultados obtidos, comparar suas propriedades e características com os demais lubrificantes existentes no mercado. E em complemento, realizar uma análise de desempenho comparando os óleos de carnaúba e o similar comercial, avaliando o desgaste relativo ao atrito e a capacidade de dissipação de calor dos óleos através da análise da condutividade térmica, da resistividade térmica e do gradiente de temperatura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características Gerais da Planta

A carnaúba é classificada botanicamente como pertencente à família *Palmae*, gênero *Copernicia* e espécie *Copernicia prunifera* (QUEIROGA, 2012). A carnaúba oferece possibilidades de atividades econômicas mesmo durante o período de estiagem, tratando-se, portanto de importante alternativa na composição da renda familiar das comunidades rurais. Oferece uma infinidade de usos ao homem: as raízes têm uso medicinal; os frutos possuem rico nutriente para a ração animal; o tronco é madeira de qualidade para construções e também pode ser extraído o palmito; as palhas servem para a produção artesanal, adubação do solo e extração de cera, um insumo valioso que entra na composição de diversos produtos na indústria farmacêutica, na indústria de componentes eletrônicos, produtos alimentícios, como também ceras polidoras e revestimento térmico dos dutos de vapor aquecido na indústria de petróleo. Trata-se de uma planta totalmente aproveitável. A espécie mais comum encontrada no estado do Rio Grande do Norte é a *Copernicia prunifera*, Fig. 01.



Figura 01: Palmeira *Copernicia prunifera*.

(Fonte: QUEIROGA, 2012).

Mas também outra espécie, a *Copernicia hospita*, observada na Fig. 02, pode ser cultivada. Esta espécie é nativa de Cuba, apresenta uma grande produção de frutos, além de possuir porte baixo (ALVES et al., 2008). Devido às suas características, o seu cultivo é mais viável quando o interesse principal são os frutos.



Figura 02: Palmeira *Copernicia hospita*.

(Fonte: QUEIROGA, 2012).

2.2. Características do Fruto da Carnaúba e Método de Extração do Óleo

Os frutos da palmeira carnaúba são ovalados ou globosos, Fig. 03, com cerca de 20 mm de comprimento, de cor verde escura ou roxa no amadurecimento, nascendo em cachos. Podem ser utilizados tanto na nutrição humana, quanto animal. Para o consumo humano, a polpa pode ser consumida em natura, ser feitos doces, ou sucos. Das sementes extrai-se óleo comestível, quando torradas e transformadas em pó eram utilizadas pelos sertanejos na composição de mingaus e em substituição ao café (BRAGA, 1976).



Figura 03: Frutos da carnaúba.

(Fonte: <http://www.jacobinanet.com/p/frutas-tipicas.html>).

A época de colheita dos frutos é geralmente entre os meses de fevereiro e março, dependendo do ponto de maturação dos frutos. O método de colheita varia de acordo com a espécie da palmeira: se for a palmeira *Copernicia prunifera*, a retirada dos frutos é feita com o auxílio de um gancho preso a uma vara manuseada por um operário; e para a palmeira *Copernicia hospita*, a colheita pode ser feita com auxílio de uma escada ou mesmo uma máquina empilhadeira, de forma que o operário alcança o cacho de frutos. Mas em ambas as palmeiras, os frutos podem ser colhidos no chão após sua queda natural (QUEIROGA, 2012).

Segundo Braga (1976), o fruto da carnaubeira é uma baga ovóide em torno de dois centímetros de comprimento, glabra, esverdeada passando a roxo-escura ou quase preta na maturação, de epicarpo carnoso, envolvendo um caroço muito duro, provido de albume branco, duro e oleoso. E suas composições relativas às características dos frutos, polpa e amêndoa de carnaúba, são descritas na Tab. 01.

Tabela 01: Composição relativa às características dos frutos, polpa e amêndoa de carnaúba. (Fonte: BRAGA, 1976).

Características	Composição	Características	Composição	
	Frutos (%)		Polpa (%)	Amêndoa (%)
Teor de água	12,85	Teor de água	15,04	10,55
Óleo	8,00	Proteína	5,46	6,89
Matéria extrativa de cor vermelha	5,14	Teor de óleo	6,25	13,65
Substâncias resinosas	6,17	Carboidratos	64,32	63,39
		Celulose	5,81	
		Cinzas	2,95	1,55

Segundo estudos desenvolvidos por Queiroga (2012), a determinação do óleo de carnaúba foi realizada por extração em solvente no extrator Soxhlet. Este processo conseguiu extrair o corresponde a 10,1% de óleo. Para atingir o percentual máximo de óleo da amêndoa, que é aproximadamente 14%, a semente inicialmente moída em um triturador teria que ser submetida ao moinho de pedra, o qual permitiria a transformação dos grânulos ou farelo em pó. Ou seja, a eficiência da extração é aumentada pelo contato do solvente hexano com as células de óleo, desde que seja preparada uma superfície maior de exposição, ou seja, pó.

Este processo consiste na extração química de óleos vegetais, denominado de extração com solvente, utiliza uma mistura de hidrocarbonetos denominada de "hexana" com ponto de ebulição ao redor de 70 °C que passa pela matéria-prima devidamente preparada. Esta passagem do solvente pela matéria-prima é denominada "lavagem" e sua eficiência será maior quando o contato com as células de óleo for facilitado pela exposição de uma superfície maior.

O óleo da matéria-prima que está na superfície é retirado por simples dissolução, e o óleo presente no interior de células intactas são removidos por difusão. Assim, a velocidade de extração do óleo decresce com o decurso do processo.

Mesmo com a extração por solvente não se tem uma eficiência de 100%, pois o farelo ficará ainda com um teor de 0,5 a 0,6% de óleo. A mistura de óleo com solvente é chamada de "miscela" e o equilíbrio no sistema óleo-miscela-solvente é o fator que determina a velocidade de extração. A difusão do solvente será mais rápida quanto melhor for à preparação da matéria-prima e quanto maior for a temperatura de extração. Posteriormente é necessário fazer uma nova destilação, para separar o óleo do solvente (SOAREZ, 2006).

Segundo Parente (2003), o fluxograma demonstrado a seguir na Fig. 04 apresenta todas as etapas produtivas do processo completo de extração de óleos vegetais, incluindo a etapa de extração com solvente.

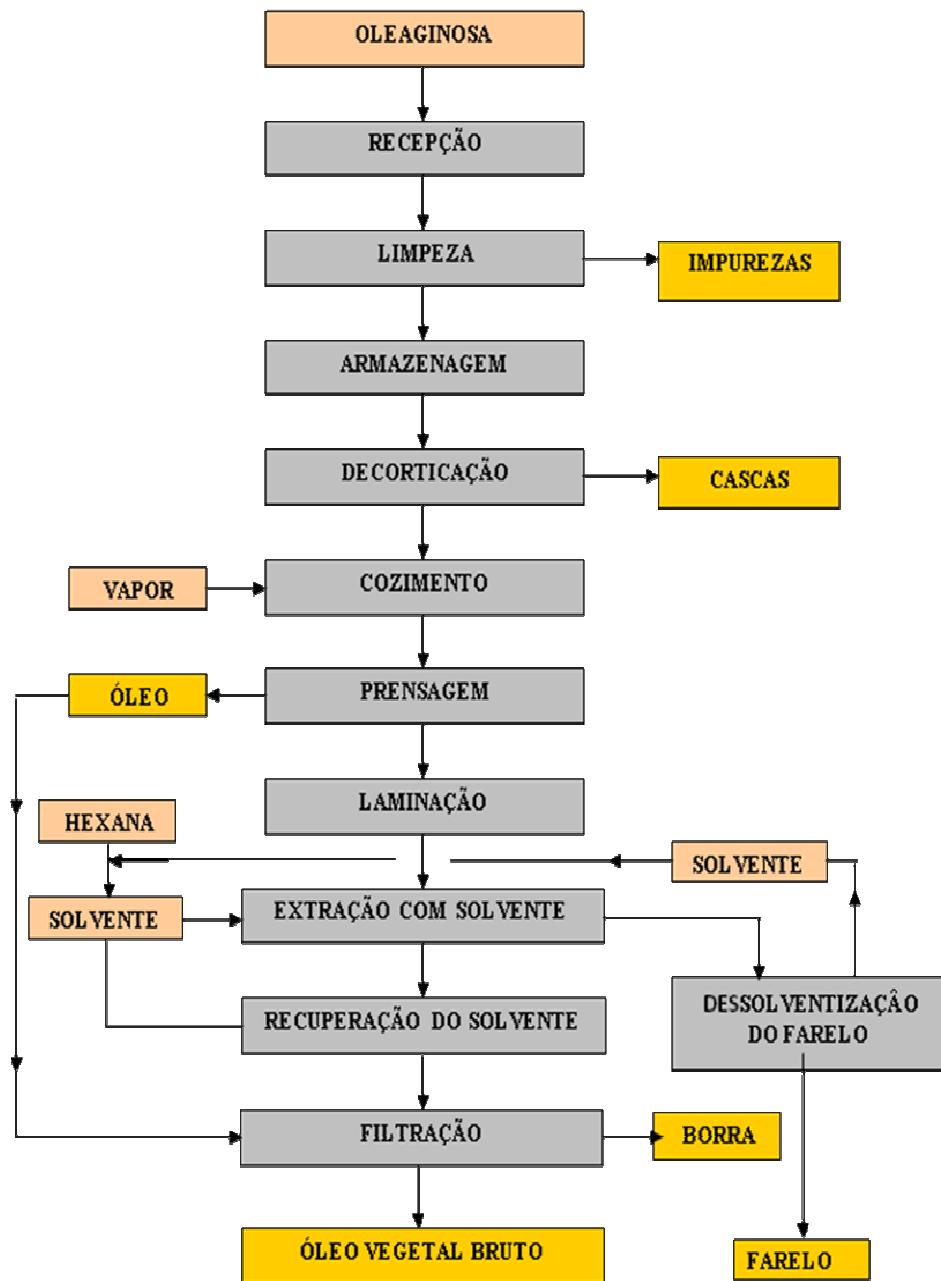


Figura 04: Processo de extração do óleo vegetal.

(Fonte: PARENTE, 2003).

Este processo descrito acima pode ser utilizado em diversas sementes oleaginosas.

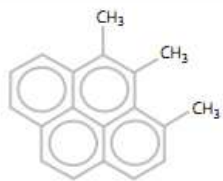
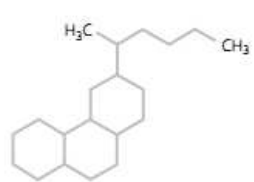
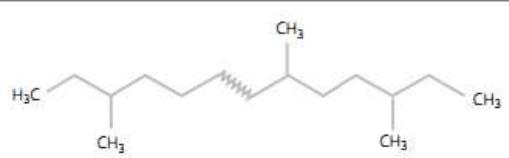
No caso da semente da carnaúba, ao final do processo é obtido o óleo vegetal bruto e o farelo, que também é conhecido por torta, a qual pode ser utilizada como ração animal (QUEIROGA, 2012).

2.3. Lubrificantes

Nas refinarias, o petróleo é processado e uma grande quantidade de subprodutos é obtida, dentre os quais podem ser obtidos óleos. Algumas das refinarias possuem unidades especiais para tratamento e processamento destes subprodutos, que depois de tratados serão denominados “óleos básicos”. Os óleos básicos são a matéria-prima principal para a produção dos diversos tipos de produtos e podem ser classificados segundo a Tab. 02, a seguir:

Tabela 02: Classificação dos óleos básicos.

(Fonte: Texaco Brasil LTDA).

Tipo	Ligação	Algumas Aplicações
Óleos Básicos Aromáticos		Extensores e emolientes na indústria de borracha.
Óleos Básicos Naftênicos		Óleos para transformadores, compressores de refrigeração e compressores de ar.
Óleos Básicos Parafínicos		Óleos de motor, óleos hidráulicos e óleos de engrenagens.

Os lubrificantes utilizados comercialmente são geralmente a união do óleo base mais aditivos. E estes aditivos, que são compostos químicos, servem tanto para melhorar ou atribuir propriedades a esses lubrificantes. Esses aditivos químicos têm diferentes funções e normalmente são distribuídos em categorias que são: anticorrosivos (protegem as superfícies metálicas de ataques químicos), antidesgaste (formam um filme protetor evitando o rompimento do filme lubrificante), antiespumantes (desmancha com maior rapidez a espuma formada durante a circulação do óleo em um

sistema), antioxidantes (aumenta a resistência à oxidação do óleo, retardando a reação com o oxigênio presente no ar, evitando a formação de ácidos e borras e, conseqüentemente, prolongando a vida útil do óleo, minimizando o aumento da viscosidade e o espessamento do óleo), detergentes (neutraliza os produtos da combustão), dispersantes (impede a formação de depósitos dos produtos de combustão), extrema pressão (formam um filme protetor evitando o rompimento do filme lubrificante mesmo com o uso de cargas elevadas), melhoradores de índice de viscosidade, rebaixadores de ponto de fluidez, corantes.

Compreende-se por lubrificante o material que se interpõe entre superfícies, formando uma película que minimiza o contato entre elas (CARRETEIRO, 2008).

O lubrificante possui como funções reduzir o desgaste relativo ao atrito, proteger o metal contra a oxidação, corrosão e dissipa o calor excessivo, prolongando a vida útil do sistema mecânico. A vida útil de um equipamento pode ser aumentada com a aplicação de lubrificantes para fim específico (SOUZA, 2000).

As principais propriedades térmicas, físicas e químicas analisadas em um óleo lubrificante são: a viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fulgor, ponto de combustão, índice de acidez, corrosão ao cobre e a massa específica.

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes a serem consideradas na seleção de um lubrificante, pois este deve ser suficientemente viscoso para manter uma película protetora entre as peças em movimento relativo, e também não ser tão viscoso que ofereça resistência excessiva ao movimento entre as peças, ou seja, para cada sistema mecânico existe um tipo de lubrificante com uma viscosidade específica.

Viscosidade é a propriedade que determina o grau de resistência do fluido à força de cisalhamento, ou seja, a dificuldade do fluido em escoar.

E definimos um fluido como uma matéria que se deforma continuamente sob a ação de uma tensão de cisalhamento e na ausência desta tensão não haverá deformação (FOX et al., 1998).

Os fluidos podem ser classificados de acordo com a sua viscosidade. A medida de viscosidade de um fluido é importante para cálculos de engenharia em processos que são desenvolvidos nas indústrias, por exemplo, processos que utilizam equipamentos como bombas, trocadores de calor, agitadores e simplesmente o escoamento deste fluido em uma tubulação ou seção.

Segundo Fox et al. (1998) a viscosidade é a relação entre a tensão de cisalhamento aplicada e a taxa de deformação em um certo intervalo de tempo.

Para fluidos Newtonianos, a tensão tangencial é proporcional à taxa de deformação, representada pela Eq. 01:

$$\tau_{yx} \propto \frac{du}{dy} \Rightarrow \tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy} \quad (01)$$

Onde “ τ_{yx} ” é a tensão de cisalhamento ou tangencial e “ du/dy ” é a taxa de deformação do fluido.

A constante de proporcionalidade “ μ ” é a viscosidade absoluta ou dinâmica do fluido.

Uma unidade comum para a viscosidade dinâmica é o Poise, sendo 1 Poise igual a 0,1 Pascal por segundo (0,1 Pa x s).

O valor da viscosidade dinâmica varia de fluido para fluido, e para um fluido em particular, esta viscosidade varia com a temperatura.

A razão entre a viscosidade dinâmica e a massa específica representa a viscosidade cinemática “ ν ” de um fluido, Eq. 02. A viscosidade cinemática representa a resistência do fluxo de um fluido sob gravidade.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (02)$$

Onde ν : Viscosidade cinemática (cSt);

μ : Viscosidade dinâmica (cP);

ρ : Massa específica ou densidade absoluta (g/cm³).

Um Stokes é igual a 1centímetro elevado ao quadrado por segundo (1cm²/s).

A partir dos valores de viscosidade podemos definir o índice de viscosidade, um número empírico que expressa a taxa de variação da viscosidade com a variação da temperatura. Quanto mais alto o índice de viscosidade de um óleo lubrificante, menor é a variação de sua viscosidade ao se variar a temperatura. Na prática, é um número que indica dependência da temperatura da viscosidade cinemática, utilizado para

caracterizar óleos bases estabelecendo os requerimentos do óleo para testes de performance.

Para estabelecer a máxima temperatura de utilização de um lubrificante, conseqüentemente em qual sistema ele pode atuar sem riscos de incêndio e/ou explosão, analisa-se os pontos de fulgor e de combustão.

O ponto de fulgor indica a menor temperatura na qual o óleo desprende uma quantidade de vapores, que misturado com o ar, torna-se inflamável quando aplicado uma chama. E o ponto de combustão é a temperatura em que o óleo inflama durante um tempo mínimo, mesmo sendo retirada a chama.

Já a determinação da massa específica de um lubrificante indica se houve contaminação ou deterioração, que possa vir a ocorrer após seu uso em um sistema mecânico, a densidade de óleos lubrificantes novos não tem nenhum significado quanto à sua qualidade sendo importante apenas na conversão de litros em quilos e vice-versa.

A massa específica ou densidade absoluta é a relação entre a massa e o volume de um determinado material a uma dada temperatura e pressão atmosférica. A densidade depende do tipo de substância, mas é em geral influenciada pela temperatura e pela pressão (BIANCO, 2013).

Em outras palavras, ela define a quantidade de massa de uma substância contida por unidade de volume. Matematicamente pode ser expressa pela Eq. 03:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (03)$$

A densidade relativa é definida como a razão entre as densidades absolutas de duas substâncias distintas. Matematicamente pode ser expressa pela Eq. 04:

$$\rho_{1,2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (04)$$

Onde “ ρ_2 ” é escolhido como o padrão. E este padrão é considerado como sendo a água.

Uma das principais funções de um lubrificante é proporcionar um filme para a proteção das peças que se encontram em contato direto. Mas se este fluido possuir acidez elevada pode ocasionar desgaste excessivo em certos tipos de materiais.

O índice de acidez mede o quanto é ácido o fluido, o método mais comum de determinação de acidez consiste em titular uma amostra com uma solução de álcali, utilizando como indicador uma solução alcoólica de fenolftaleína.

Já o ensaio de corrosão ao cobre tem como objetivo a determinação da corrosividade do cobre quando em contato com substâncias, as quais podem ser combustíveis, lubrificantes, solventes, ambos derivados do petróleo.

Com a determinação destas propriedades é possível classificar e determinar para que tipo de sistema mecânico um lubrificante possa ser utilizado sem ocasionar danos ou até mesmos acidentes.

Outra propriedade importante de um óleo lubrificante é a sua capacidade de evitar o desgaste relativo ao atrito.

De forma geral o desgaste pode ser definido como uma mudança cumulativa e indesejável em dimensões motivada pela remoção gradual de pequenas partículas de superfícies em contato e com movimento relativo, devido a ações mecânicas.

O desgaste ocorre, em um sistema lubrificado, por três mecanismos: abrasão, corrosão ou ruptura do filme lubrificante. E o lubrificante, por sua vez, possui a função de evitar estes tipos de desgaste.

O desgaste abrasivo é causado por partículas sólidas que penetram na área entre as superfícies lubrificadas degradando-as fisicamente. As partículas sólidas podem ser contaminantes ou fragmentos do desgaste. Para ocasionar desgaste, a partícula deve ser maior que a espessura da película de óleo e mais dura que as superfícies com que entra em contato. O desgaste abrasivo é caracterizado por arranhões na superfície.

O desgaste corrosivo é geralmente ocasionado pelos produtos de oxidação dos lubrificantes. E o desgaste que gera um contato metálico entre as peças de um sistema mecânico resulta da ruptura do filme lubrificante.

2.4. Impactos Ambientais e Alternativas Renováveis para Lubrificantes

O mercado de óleos lubrificantes sempre foi considerado um inimigo do meio ambiente em razão do potencial poluidor de seus componentes químicos, além de, na maioria dos casos, este produto é extraído do petróleo, recurso não renovável.

As dificuldades relacionadas à extração dos combustíveis fósseis, o transporte e os processos industriais de transformação do petróleo podem ocasionar diversos danos ambientais, como por exemplo, derramamentos, assim como também os derivados do petróleo podem gerar resíduos tóxicos de difícil degradabilidade, os quais podem contaminar os lençóis freáticos, e até mesmo o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera gerado a partir da queima destes derivados.

Todos estes fatores, juntamente com o crescente aumento da demanda de derivados do petróleo no mercado, trazem preocupações e levam a um crescente interesse em produzir fontes alternativas ao uso do petróleo.

Atualmente pode ser observada uma crescente linha de pesquisa para reduzir o uso de derivados do petróleo, com o intuito principal de diminuir os danos ao meio ambiente que podem ser gerados tanto a partir de um acidente ou até mesmo um descarte inadequado de certos produtos.

Lubrificantes à base de matérias-primas renováveis e seus derivados estão chamando atenção devido às suas várias aplicações. Aqui, a consciência ambiental é o fator chave de sucesso (WAGNER et al., 2001).

O Brasil vem se destacando no setor de energias renováveis, e um segmento que vem crescendo é o de biolubrificantes, ou seja, lubrificantes de base vegetal. Com o desenvolvimento dos biolubrificantes os impactos ambientais são notavelmente diminuídos, visto que os lubrificantes de base vegetal são mais biodegradáveis que os lubrificantes de base mineral. E esta característica implica também na redução de custos no que diz respeito ao descarte de um biolubrificante usado.

Seguindo esta linha, o mercado de biolubrificantes vem ganhando espaço. Em entrevista publicada no Portal RAC.COM.BR, o Sr. Uyvari Jr., diretor de uma empresa nacional produtora de biolubrificantes, relata que os estudos na área de usinagem de metais, mais conhecida por especialistas pelo nome em inglês, *metal working*, mostra

que o rendimento dos biolubrificantes chega a ser 30% maior do que o dos similares minerais (de origem no petróleo) ou sintéticos. No caso de um óleo produzido pela empresa especialmente para máquinas de perfuração, o rendimento é de até 250% superior, além de não haver o risco de contaminação de lençóis freáticos. E que além do setor de mineração, os biolubrificantes têm também como mercado em potencial o agronegócio, em que estão sendo requisitados para a utilização em implementos agrícolas. Já as graxas de base vegetal e biodegradáveis produzidas começam a ser usadas nos trilhos de trens em trechos nos quais é necessária a redução do atrito com as rodas do trem, inclusive em trechos de reservas ambientais por onde passam algumas linhas. Empresas que atuam em portos também estão usando os biolubrificantes e as graxas de origem vegetal. Como parte desse sistema fica sobre o mar, o risco de contaminação da água é muito grande. Com os lubrificantes e graxas vegetais, mesmo que ocorra a queda ou o vazamento acidental dos produtos, a decomposição ocorre entre 28 e 35 dias, sem consequências prejudiciais à fauna e à flora marítimas, pois se trata de matéria orgânica de origem vegetal.

A estrutura molecular dos óleos vegetais é formada de triglicerídeos que fornecem qualidades desejáveis de um lubrificante. Formando películas de lubrificante de alta resistência, que interagem fortemente com superfícies metálicas, reduzindo tanto o atrito e desgaste (FOX et al., 2007).

Os biolubrificantes são recursos renováveis, menos tóxicos ao ambiente e apresentam propriedades satisfatórias para a lubrificação, contudo, apresenta uma baixa estabilidade oxidativa.

Segundo Wagner et al. (2001) a razão para a instabilidade térmica e oxidativa dos óleos vegetais é devida a ligação estrutural de elementos químicos das moléculas do óleo, mas pode ser modificada com a aplicação de aditivos químicos.

Segundo o Diário do Nordeste, a utilização de produtos ecologicamente corretos é uma tendência mundial, face à preocupação com a preservação do meio ambiente. Os óleos vegetais já são desenvolvidos principalmente nos Estados Unidos, Europa e Japão.

Com a preocupação de preservar o meio ambiente, a produção de biolubrificantes também tem ganhado destaque na indústria do petróleo. Além de

reduzir os impactos ambientais, existe grande possibilidade de redução nos custos relacionados ao descarte adequado dos óleos lubrificantes usados.

No Brasil as primeiras empresas começaram a surgir durante o ano de 2012, e como exemplo temos a Petrobras juntamente com a BSBios, em Passo Fundo – RS, que começou a atuar em março de 2012 com capacidade de produção de 60 mil toneladas de biolubrificante ao ano, e a VGBio com capacidade de produção de 170 mil litros de biolubrificante e 7 mil quilos de biograxa ao mês.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo pode ser descrito em três partes: Extração do óleo; Análise das propriedades térmicas, físicas e químicas; e Análises de desempenho. Na primeira parte é descrito todo o processo da recepção das sementes até a extração do óleo das sementes de carnaúba. Na segunda parte, são descritos os ensaios térmicos, físicos e químicos ao qual o óleo de carnaúba foi submetido. E na terceira parte é descrito a análise de desempenho com o óleo de carnaúba e o similar comercial, onde foi observada a capacidade de reduzir o desgaste relativo ao atrito e a capacidade de dissipar o calor.

3.1. Extração do Óleo

As etapas de extração do óleo de carnaúba são descritas no fluxograma da Fig. 05, abaixo:

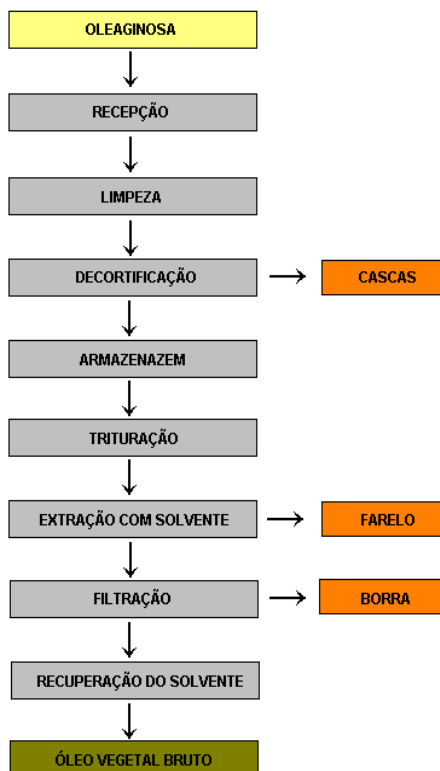


Figura 05: Fluxograma representativo da extração do óleo de carnaúba.

3.1.1. Recepção, Limpeza e Decortificação

Inicialmente foram obtidos e selecionados os frutos da carnaúba no estado maduro. Após este primeiro passo, as sementes foram separadas da polpa através do uso de uma desempoladeira, que com uma força aplicada no sentido para baixo e em movimentos circulares, produz o atrito entre as sementes e uma superfície de cimento, Fig. 06, fazendo com que ocorra a separação. Com este método os frutos danificados por algum parasita são facilmente detectados e descartados.



Figura 06: Método de separação da semente da polpa.

Uma vez separadas as sementes da polpa, Fig. 07, as sementes foram acondicionadas em um recipiente seco.



Figura 07: Fruto da carnaúba maduro, à esquerda; e as sementes do fruto da carnaúba, à direita.

3.1.2. Trituração das Sementes da Carnaúba

Após os procedimentos de recepção, limpeza e decortificação (remoção das cascas), as sementes foram trituradas. A necessidade de triturar as sementes é devido ao aumento da eficiência do processo de extração do óleo, pois quanto mais próximo o contato da molécula de óleo com o solvente mais eficiente é esta extração.

O método utilizado para transformar as sementes em um pó fino foi dividido em duas etapas: a primeira etapa foi a quebra por impacto mecânico através de um pilão feito de metal, nesta etapa as sementes foram reduzidas ao tamanho de um grão de milho; e para a segunda etapa foi utilizado um moinho de facas, Fig. 08.



Figura 08: Moinho de facas.

Como resultado da trituração no moinho de facas foi obtido o pó das sementes, e grãos das sementes, Fig. 09.



Figura 09: Semente triturada: à esquerda o pó, e à direita os grãos.

O moinho de facas possui dentre seus acessórios peneiras, que podem ser fixadas entre a câmara de trituração e o recipiente que armazena o produto do processo. A peneira utilizada no processo de trituração foi a de 20 Mesh, de forma que o pó das sementes passou pela mesma e os grãos ficaram retidos por ela.

3.1.3. Determinação do Rendimento de Extração do Óleo de Carnaúba

Depois de obtido o pó e os grãos das sementes da carnaúba, ambos passaram pelo processo químico de remoção de matéria oleosa através do equipamento Extrator Soxhlet. Este processo tem o objetivo de determinar a eficiência ou rendimento de extração de óleo para cada granulometria desta semente, assim define a melhor granulometria para fazer o processo de extração de óleo em maior escala.

Para cada processo de extração foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos, Fig. 10:

- Condensador;
- Extrator Soxhlet;
- Balão de 250 mL;
- Manta térmica elétrica;
- Cartucho com a amostra;
- Solvente hexano.

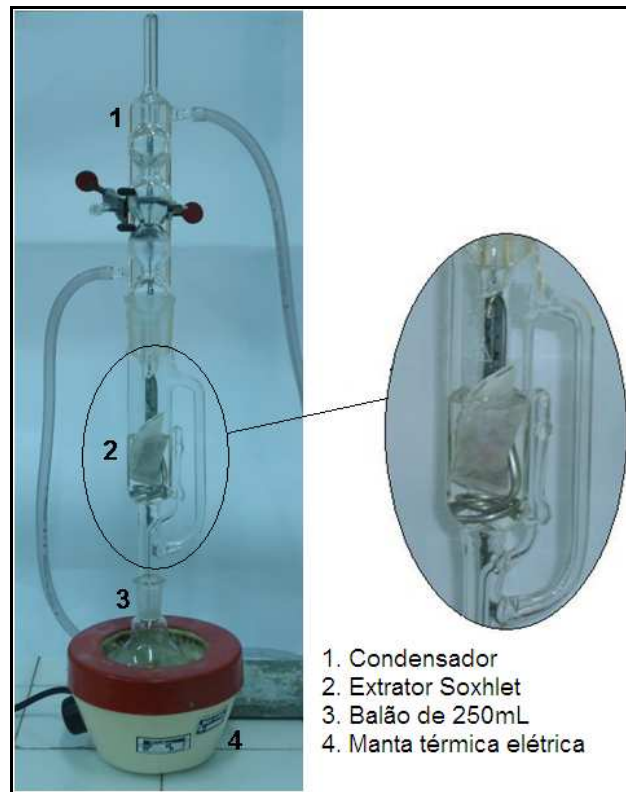


Figura 10: Sistema de extração Soxhlet, em destaque a câmara de extração com o cartucho contendo a semente triturada.

Dentro da câmara de extração foi colocado o material sólido envolto em papel de filtro na forma de um pequeno cartucho. No balão foram adicionados 200 mL de solvente hexano 98,5%, e no condensador há fluxo de água fria. O balão foi aquecido através da manta térmica elétrica de modo que o solvente entre em ebulição ao atingir 60°C. O vapor do solvente flui até o condensador, condensa e goteja sobre o cartucho que está na câmara de extração, solubilizando a substância a ser extraída. Quando o reservatório da câmara de extração enche e atinge a altura do sifão, este transborda levando o solvente e o extrato para o balão. Esse processo se repete várias vezes, e com o passar do tempo o óleo se acumula no balão.

Foram escolhidas ao acaso quatro amostras, sendo duas amostras de pó das sementes e outras duas amostras dos grãos das sementes. Estas amostras foram colocadas em um cartucho manufaturado a partir de um filtro de papel, e medidas suas respectivas massas.

Após o processo de extração, os cartuchos foram submetidos à secagem em estufa até sua massa ficar constante, significando que todo o hexano evaporou. Após

retirar os cartuchos da estufa, foram medidas novamente as respectivas massas para determinar o rendimento da extração de óleo para cada tipo de semente triturada, a partir da Eq. 05 e Eq. 06.

$$m_{\text{óleo}} = m_I - m_F \quad (05)$$

Substituindo a Eq. 05 na Eq. 06, temos:

$$R E = \frac{m_{\text{óleo}} \times 100}{m_I} \quad (06)$$

Onde m_I : massa inicial da amostra (g);

m_F : massa final da amostra (g);

$m_{\text{óleo}}$: massa de óleo extraída (g);

R E : rendimento de extração do óleo (%).

3.1.4. Extração com Solvente

A primeira etapa do processo de extração do óleo é a mistura. Trata-se de um processo simples, onde em um recipiente de vidro é adicionado o pó da semente da carnaúba (fase sólida) e o solvente (fase líquida), e feita a mistura até obter uma suspensão, Fig. 11.

O solvente utilizado neste estudo foi hexano 98,5%, pois o mesmo apresenta baixa temperatura de ebulição (60°C) o que permite uma melhor separação do óleo sem que ocorra a sua degradação térmica.



Figura 11: Suspensão do pó das sementes no solvente.

Para separar a fase líquida da fase sólida é feito uma decantação da suspensão. A suspensão é colocada em repouso num recipiente, de preferência em um recipiente fechado para evitar a evaporação o solvente. Após visualmente verificar a separação das fases, o processo da remoção da fase líquida pode ser feito através de sifonação, onde a fase líquida é retirada com cuidado. A fase líquida passa a ser agora o solvente mais o óleo extraído do pó da semente e a fase sólida é o pó da semente sem o óleo, Fig. 12.



Figura 12: Sistema com decantação do sólido.

Na Figura 13 podemos visualizar somente a fase sólida que se depositou no fundo do recipiente, após a retirada da fase extrato.



Figura 13: Pó da semente de carnaúba sem óleo após decantação.

3.1.5. Filtração

Após obter o solvente mais o óleo, fase extrato, através do processo de decantação, este fluido é filtrado para remover todas as impurezas ou resíduos do pó da semente.

A filtração foi realizada em um equipamento de filtração por ar comprimido, Fig. 14.



Figura 14: Filtração por ar comprimido.

Após a filtração é obtido o solvente mais o óleo sem impurezas, percebe-se que o fluido ficou límpido e as impurezas podem ser observadas no filtro do equipamento, Fig. 15.



Figura 15: O fluido filtrado, e o filtro do equipamento com resíduos do pó da semente.

3.1.6. Recuperação do Solvente

Para separar o óleo de carnaúba do solvente foi utilizado o processo de destilação simples. A destilação é um dos métodos mais utilizados para separação de substâncias de volatilidades diferentes devido à sua simplicidade. Este processo separa líquidos de outras substâncias líquidas, desde que tenham pontos de ebulição bem distintos.

Para cada processo de destilação foram utilizados os materiais e equipamentos, Fig. 16:

- Manta térmica elétrica;
- Balão de destilação de 500 mL;
- Condensador;
- Termômetro;
- Becker de 500 mL;
- 300 mL de solvente hexano mais óleo.

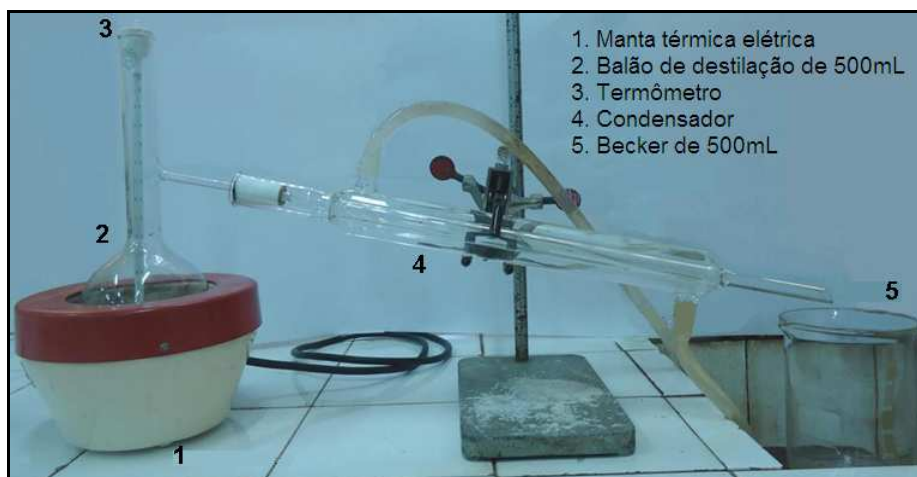


Figura 16: Sistema de destilação simples.

O processo de destilação simples inicia quando a substância que está dentro do balão de destilação é aquecida, então a substância com menor ponto de ebulição vaporiza-se e flui para o condensador, onde volta a fase líquida novamente. E a outra substância que não se vaporizou, acumula-se no balão de destilação.

O solvente hexano mais o óleo foram adicionados no balão de destilação que fica sobre a manta térmica; é feita a vedação da saída superior do balão com uma rolha, na qual fica encaixado o termômetro; na outra saída lateral do balão é encaixado o condensador; na saída do condensador é colocado o Becker para aparar o líquido condensado, que no caso é o solvente hexano recuperado.

Após acionar a manta térmica e ela atingir em média 60°C, o solvente entra em ebulição, Fig. 17.

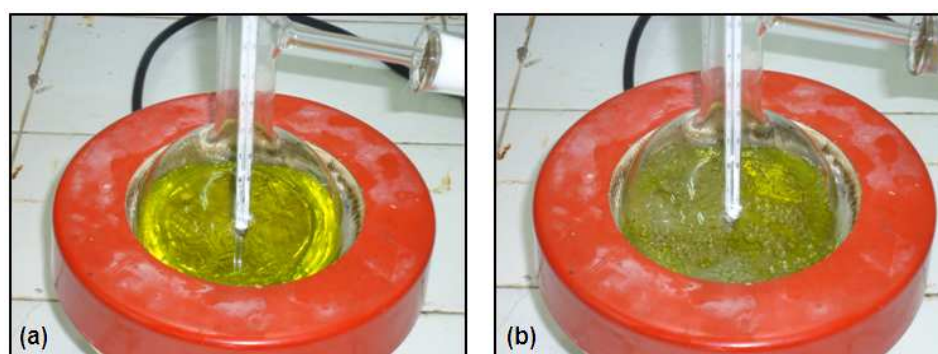


Figura 17: (a) A mistura em temperatura ambiente. (b) O solvente em ebulição.

Ao obter dois terços, da fração inicial da mistura, de solvente recuperado, o processo de destilação é interrompido e o que restou no balão de destilação é colocado em outro recipiente para posteriormente remover o restante do solvente que ficou na mistura por evaporação.

Ao final do processo de destilação, foi obtida uma mistura (solvente mais óleo) com menor teor de solvente, Fig. 18.



Figura 18: Mistura solvente mais óleo, mas com uma maior concentração de óleo.

Por fim, para remover totalmente o solvente da mistura sem agredir a composição do óleo de carnaúba, o resultado do processo de destilação foi levado a uma estufa, Fig. 19, com sua temperatura de trabalho regulada em 60°C, que é a temperatura de ebulição do solvente.



Figura 19: Estufa.

Após acionada a estufa, aguarda-se 60 minutos para a temperatura interna estabilizar. Então é iniciado o processo de evaporação forçada, primeiro é feita a medida da massa da mistura e depois ela é colocada dentro da estufa, aguarda-se 20 minutos e é feita a medida da massa novamente, esse processo se repetiu até a massa estabilizar, ou seja, significando que não há mais solvente.

Estes ensaios citados acima foram desenvolvidos no Laboratório de Processos de Separação do Departamento de Engenharia Química, no Laboratório de Mecânica dos Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica e no Laboratório de Nutrição Animal, no Núcleo de Tecnologia Industrial da UFRN.

3.2. Análise das Propriedades Térmicas, Físicas e Químicas

A análise do óleo de carnaúba foi realizada através de ensaios térmicos, físicos e químicos específicos para óleos lubrificantes, como base foi utilizada a Resolução nº10/2007 da ANP e as normas ASTM relativas a cada ensaio.

Os ensaios realizados foram: verificação de massa específica, ponto de fulgor, ponto de combustão, viscosidade, índice de viscosidade, potencial hidrogeniônico (pH), índice de acidez e corrosão ao cobre.

Estes ensaios foram desenvolvidos no Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Gás - NUPEG do Departamento de Engenharia Química, no Laboratório de Mecânica dos Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica e no Laboratório de Química da EC&T, situados na UFRN.

3.2.1. Massa Específica

Para calcular a massa específica do óleo de carnaúba, utilizam-se os seguintes materiais e equipamentos:

- Instrumento picnômetro com capacidade de 10 mL;
- Balança digital;
- Estufa;

- Água destilada;
- Óleo de carnaúba.

Primeiro é medida a massa do picnômetro vazio, depois se mede novamente sua massa, mas agora com a água destilada preenchendo todo o seu volume, com o intuito de descobrir o valor da massa da água destilada, Fig. 20.

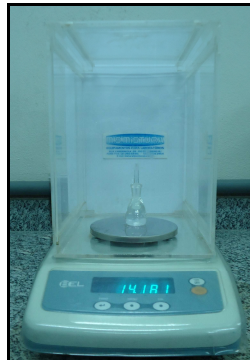


Figura 20: Balança e picnômetro de 10 mL utilizados.

Em posse dos valores da massa da água destilada e de sua massa específica para a temperatura de ensaio, é conhecido então o volume real do picnômetro, Eq. 07.

$$V_P = \frac{m_A}{\rho_A} \quad (07)$$

Onde “ V_P ” é o volume do picnômetro, “ m_A ” a massa da água destilada e “ ρ_A ” a massa específica da água destilada na temperatura de ensaio.

Depois se descarta a água e seca-se o picnômetro para não ficar com resíduo da água. Então é preenchido todo seu volume com o óleo de carnaúba e realizada a medida de sua massa, agora com o óleo, Fig. 21.

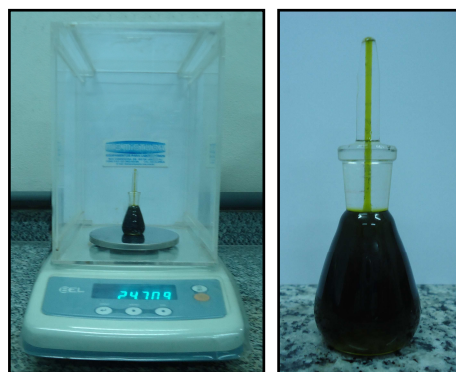


Figura 21: Medição da massa do picnômetro com o óleo de carnaúba; em destaque o picnômetro com o óleo de carnaúba.

Este procedimento foi realizado nas temperaturas de 26°C, 40°C e 100°C, com pressão atmosférica definida como sendo 1 atm. Após obter os valores das massas das amostras do óleo de carnaúba definidos para cada temperatura, substituem-se esses valores na Eq. 08, para encontrar as respectivas massas específicas.

$$\rho = \frac{m}{V_P} \quad (08)$$

Onde “ ρ ” será a massa específica do óleo de carnaúba, “ m ” a massa do óleo de carnaúba e “ V_P ” o volume do picnômetro.

3.2.2. Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão

Para realizar o ensaio de ponto de fulgor e ponto de combustão, de acordo com a norma ASTM D-92, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- 70 mL de óleo de carnaúba;
- Termômetro;
- Equipamento Petrotest PM4.

O óleo de carnaúba é colocado no recipiente do equipamento Petrotest PM4, Fig. 22, é inserido o termômetro no local indicado, acende-se a chama e aciona-se o equipamento. A temperatura inicial foi de 35° C e pressão atmosférica definida como sendo 1 atm.

À medida que o equipamento aquece o óleo uniformemente, e a cada acréscimo de 2° C na temperatura, passa-se a chama por sobre o óleo de carnaúba contido no recipiente do equipamento.



Figura 22: Equipamento Petrotest PM4.

No momento em que há a inflamação dos gases expelidos pelo óleo aquecido, somente com a presença da chama, a temperatura mostrada no termômetro é o ponto de fulgor.

E no momento em que há a inflamação dos gases expelidos pelo óleo aquecido, mesmo com a remoção da chama, a temperatura mostrada no termômetro é o ponto de combustão.

3.2.3. Viscosidade

Para as medidas de viscosidade do óleo de carnaúba, de acordo com a norma ASTM D-2983, foi utilizado um reômetro do tipo Brookfield, acoplado a um banho térmico com controle de temperatura, Fig. 23. Foi utilizada uma amostra de 70 mL de óleo de carnaúba, e os dados para programar o software do reômetro foram:

- Taxa de cisalhamento variando de 0 a 3000 [1/s];
- Duração de 300 segundos para cada temperatura pré-estabelecida;
- 100 pontos para armazenamento de dados.

As temperaturas pré-estabelecidas foram 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C, 75°C, 85°C e 95°C. Para cada temperatura foram realizados dois ensaios e os dados foram armazenados de 3 em 3 segundos.



Figura 23: Ao centro o Reômetro Brookfield, à esquerda o software sendo executado e à direita o banho térmico com regulagem de temperaturas.

3.2.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para determinar o pH do óleo de carnaúba foi utilizado o equipamento medidor digital de pH, Fig. 24, que consiste em um eletrodo de vidro acoplado a um potenciômetro. O medidor de pH é um milivoltímetro com uma escala que converte a diferença de potencial detectado pelo eletrodo em unidades de pH. Para utilizar este equipamento ele primeiro foi calibrado em solução com pH 7, pH 4 e pH 9.



Figura 24: Medidor digital de pH.

Para medir o pH adiciona-se o óleo de carnaúba em um frasco e inseri-se o medidor por alguns segundos.

3.2.5. Índice de Acidez

O método mais comum de determinação de acidez consiste em titular uma amostra com uma solução de álcali, que é o hidróxido de potássio (KOH 0,1M), utilizando como indicador uma solução alcoólica de fenolftaleína. O indicador é adicionado à amostra e a solução de álcali é gradualmente adicionada por meio de uma bureta. A fenolftaleína é incolor em solução ácida e rósea em meio básico (presença de álcali). Assim que ocorre a neutralização da acidez presente na amostra, a primeira gota da solução alcalina em excesso tornará o indicador róseo, sendo este, portanto, o ponto de viragem.

Os materiais e equipamentos utilizados para determinar o índice de acidez do óleo de carnaúba com base no procedimento da norma ASTM D-664, Fig. 25, são:

- Bureta de 25 mL;
- Erlenmeyer de 125 mL;
- Agitador magnético;
- 25 mL Solvente (Éter etílico 98% mais etanol 99%);
- Indicador fenolftaleína;
- Solução de hidróxido de potássio 0,1 M.

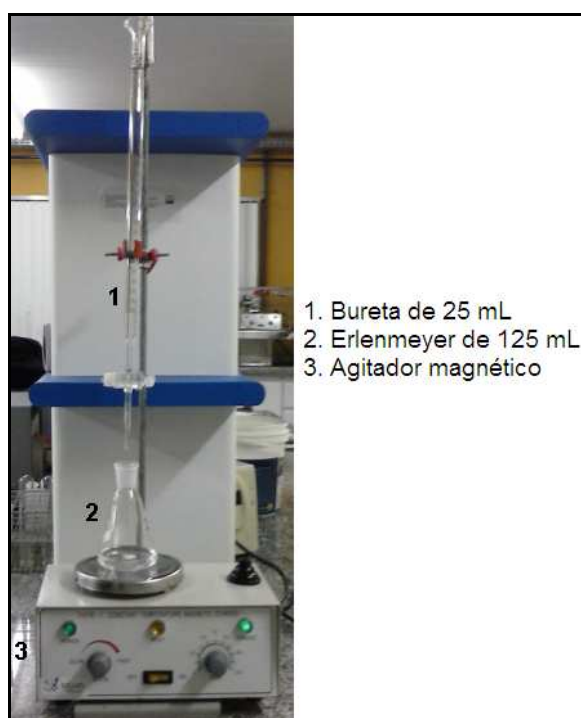


Figura 25: Equipamentos e materiais do ensaio de índice de acidez.

O procedimento para fazer este ensaio foi iniciado com a medição de 2g do óleo de carnaúba, em um frasco Erlenmeyer de 125 mL; depois é adicionado 25 mL de éter etílico e etanol (2:1); e a esta mistura adiciona-se 4 gotas da solução fenolftaleína; após a preparação da amostra titula-se com solução de hidróxido de potássio 0,1 M, até obter a coloração rósea, Fig. 26.

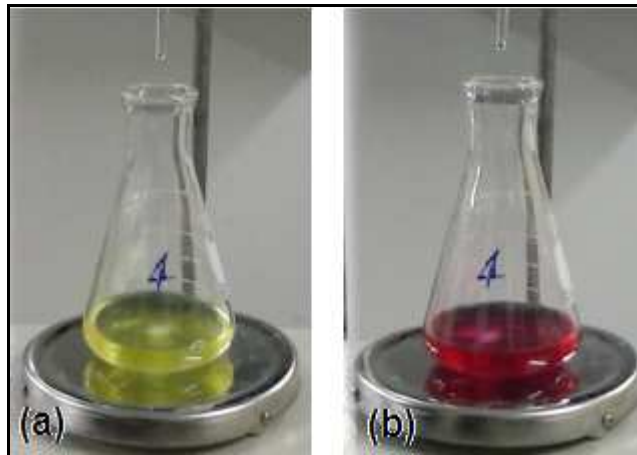


Figura 26: (a) Solução antes da titulação. (b) Solução após a titulação.

Para determinar o índice de acidez do óleo de carnaúba substituíram-se os dados do procedimento experimental na Eq. 09, abaixo:

$$I.A. = \frac{(A - B) \times N \times 56.1}{W} \quad (09)$$

Onde A: Volume de hidróxido de potássio da amostra com o óleo (mL);

B: Volume de hidróxido de potássio da amostra em branco (mL);

N: Normalidade da solução de hidróxido de potássio (0,1);

W: Massa da amostra que foi feita a titulação (g).

3.2.6. Corrosão ao Cobre

No ensaio de corrosão ao cobre uma chapa de cobre com dimensões padrões é imersa num volume específico da amostra a ser testada; então aquece-se sob condições de temperatura e tempo que são específicos para a classe de material sendo testada. No final do período de aquecimento, a chapa de cobre é removida, lavada e o nível de cor e manchas é avaliada comparando com a corrosão da chapa de cobre ASTM padrão. O ensaio de corrosão ao cobre segue o padrão da norma denominada por ASTM D-130.

Para a realização do ensaio de corrosão ao cobre foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos, Fig. 27:

- Banho térmico da marca Koehler Instrument Company, INC.;
- Padrão de corrosão de chapas de cobre ASTM;
- Cápsula com 70 mL de óleo de carnaúba;
- Chapas de cobre;
- Termômetro.



Figura 27: Equipamento e materiais do ensaio de corrosão.

Inicialmente se limpa a chapa de cobre com o papel de carboneto de silício com grau P220, até obter uma superfície totalmente isenta de manchas; finaliza-se então com o papel de carboneto de silício com grau P120. Lava-se a chapa de cobre com o solvente e o auxílio de um chumaço de algodão.

Imediatamente após estes procedimentos de limpeza a chapa de cobre é imersa no recipiente contendo o óleo de carnaúba. Este recipiente é fechado e colocado no banho térmico durante 3 horas a uma temperatura de 100° C.

Após o decorrer do tempo de ensaio a chapa de cobre é retirada do recipiente, lavada com solvente novamente e comparada com o gabarito do padrão de corrosão de tiras de cobre ASTM.

3.2.7. Índice de Viscosidade

Para calcular o índice de viscosidade foram utilizadas as instruções da norma ASTM D-2270.

Segundo esta norma, após obter os valores de viscosidade cinemática do óleo em análise, a 40°C e 100°C, segue-se os seguintes passos para o óleo de carnaúba: se o óleo em análise possui viscosidade cinemática a 100°C menor que 70 mm²/s, retira-se da tabela em anexo os valores das incógnitas da fórmula de índice de viscosidade “L” e “H”; o valor de “U” é a viscosidade cinemática do óleo em análise a 40°C e o valor de “Y” é a viscosidade cinemática do óleo em análise a 100°C; após descoberto estes valores, determina-se a fórmula de índice de viscosidade, Eq. 10, para os cálculos através da imposição de que “U<H”.

$$IV = [((\text{antilog}N) - 1)/0.00715] + 100 \quad (10)$$

Onde:

$$N = (\log H - \log U) / \log Y \quad (11)$$

3.3. Análises de Desempenho

Com base nos resultados, as propriedades térmicas, físicas e químicas do óleo de carnaúba foram comparadas com as dos lubrificantes comerciais. E a partir destes dados confrontados, um comparativo entre o óleo de carnaúba e o similar comercial foi desenvolvido, fazendo uma relação entre as suas propriedades observadas nos ensaios de desgaste relativo ao atrito e capacidade de dissipação de calor, que é feita através da análise do gradiente de temperatura, condutividade térmica e resistividade térmica. Para realizar o ensaio de desgaste relativo ao atrito e a análise do gradiente de temperatura, percebeu-se a necessidade de um equipamento que desempenhasse estas funções.

3.3.1. Equipamento Para Ensaio de Desgaste Relativo ao Atrito

O equipamento para ensaio de desgaste relativo ao atrito foi projetado e fabricado durante este estudo, no Laboratório Oficina Mecânica e no Laboratório de Mecânica dos Fluidos, ambos do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRN.

Para fazer um comparativo entre o óleo de carnaúba e o óleo similar comercial, foram realizados testes de desgaste relativo ao atrito e análise de gradiente de temperatura em um equipamento desenvolvido especialmente para este fim, Fig. 28. O esquema consiste em uma peça cilíndrica, que desliza em movimento rotativo em contato com outra peça com mesmas características, porém essa última permanece estática e o contato entre elas é gerado a partir de uma carga, e ao mesmo tempo óleo é gotejado a uma taxa constante nas superfícies em contato. Este ensaio de desgaste relativo ao atrito é baseado nos princípios da norma ASTM G-174.

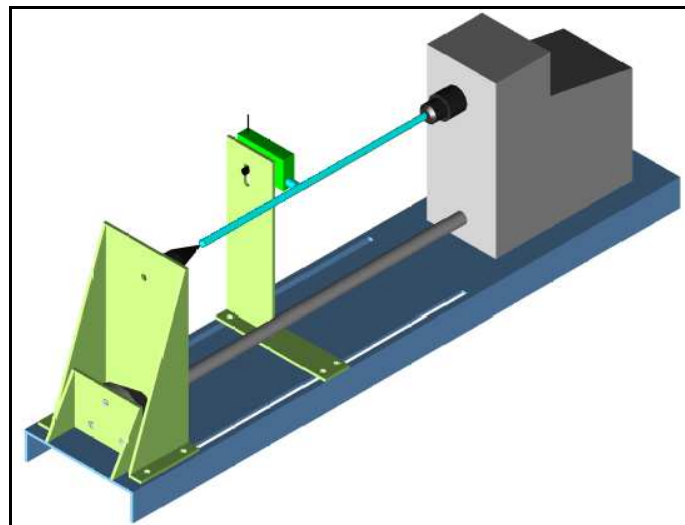


Figura 28: Equipamento para ensaio de desgaste relativo ao atrito.

Para sua confecção foram utilizadas chapas de aço carbono com 5mm de espessura, uma barra de alumínio, dois rolamentos, uma contra-ponta rotativa, um motor elétrico com regulagem de rotação manual, eletrodos de solda elétrica, tinta especial para suportar choques mecânicos e parafusos para fixação final da peças.

Observando a Fig. 28, as peças de cor azul escuro e verde claro são feitas a partir de uma chapa de aço carbono de 5 mm de espessura, as quais foram recortadas no formato desejado em uma guilhotina, e montadas através de solda elétrica. Os rasgos longitudinais na peça de cor azul escuro foram feitos em uma fresadora. O acabamento das peças de cor azul escuro e verde claro foi feito através de lixamento e limpeza com escova de aço para posteriormente ser aplicada a tinta. A peça de cor verde escuro, que serve de suporte para a amostra e de apoio para a aplicação das cargas, foi fabricada em alumínio através do processo de torneamento e fresamento, e em seu eixo de fixação foram colocados dois rolamentos para reduzir ao máximo o atrito e fazer com que a mesma rotacione em seu eixo o mais livre possível. As peças citadas acima e o motor do equipamento (peça de cor cinza) foram fixados através de parafusos.

Para a fabricação dos corpos de prova, as peças de cor azul claro, foram utilizadas barras circulares de aço carbono, e seu formato final foi obtido através do processo de torneamento. As amostras possuem as dimensões: diâmetro = 12,5 mm, comprimento = 25mm. E as hastes possuem as dimensões: diâmetro = 12mm, comprimento = 250mm.

3.3.2. Análise de Desgaste Relativo ao Atrito e de Gradiente de Temperatura

Para confecção dos corpos de prova para o ensaio de desgaste, foi utilizado o aço ASTM 1045 e o aço ASTM 1020. As amostras foram fabricadas em aço ASTM 1020 e possuem as dimensões: diâmetro = 12,5 mm, comprimento = 25mm. E as hastes foram fabricadas com o aço ASTM 1045 e possuem as dimensões: diâmetro = 12mm, comprimento = 250mm.

Para a realização destes ensaios foram confeccionadas dez amostras, denominadas de A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9 e A10; e duas hastes, denominadas de H1 e H2, todas com as mesmas dimensões citadas acima, Fig. 29.



Figura 29: (a) Amostra. (b) Haste.

Para o acabamento superficial das amostras foram utilizadas lixas de SiC nas seguintes granulometrias: #100, #240, #320, #400, #600; e na haste #100 e #240. Após o lixamento, as amostras e as hastes foram submetidas a um banho ultrassônico com álcool isopropílico, secagem e verificação de suas massas através de uma balança de precisão CC 1201, Fig. 30.



Figura 30: Balança de precisão CC 1201.

Para a realização deste ensaio as amostras e hastes foram organizadas da seguinte forma:

- Para o óleo comercial: foi utilizada a haste H1 juntamente com as amostras A1, A2, A3, A4 e A5.

- Para o óleo de carnaúba: foi utilizada a haste H2 juntamente com as amostras A6, A7, A8, A9 e A10.

Cada ensaio durou 2 horas ininterruptas, com a haste rotacionando a 1500 RPM, foi aplicada uma carga de 1,2 Newton, a qual gerava o contato entre a amostra e a haste, e o óleo que lubrificou o sistema gotejava a uma taxa constante de 1 gota/min. As variáveis foram as mesmas em cada ensaio, mudando apenas o óleo.

Neste ensaio, Fig. 31, foi possível analisar a resistência ao desgaste relativo ao atrito gerado por cada óleo, a qual foi revelada através da verificação da massa de cada amostra após o ensaio, mas antes de serem medidas suas massas elas foram submetidas novamente ao banho ultrassônico com álcool isopropílico e secagem.



Figura 31: Bancada do ensaio de desgaste relativo ao atrito.

Também foi analisada a capacidade de dissipação de calor através do gradiente de temperatura do sistema registrada por termopares, sendo um fixado próximo ao contato entre a amostra e a haste e o outro no ambiente de ensaio, Fig. 32.

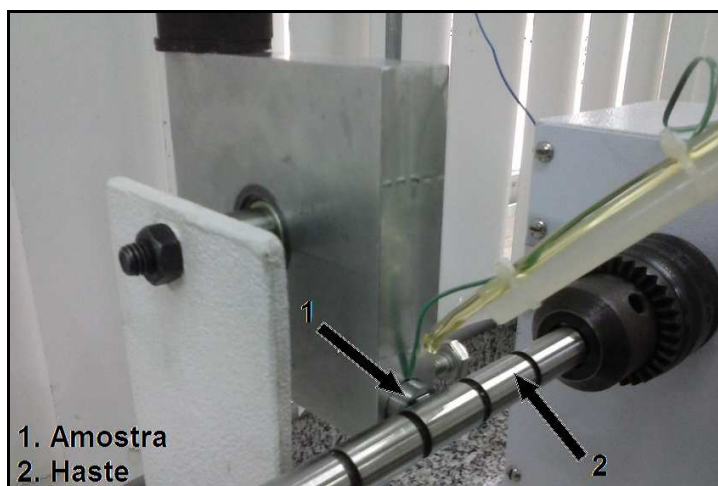


Figura 32: Destaque do contato entre a amostra e a haste durante o ensaio.

Neste ensaio a temperatura do sistema também foi analisada por termografia infravermelha, através do equipamento E-Series InfraRed Camera E-60, do fabricante FLIR, com precisão para mais ou menos 2°C, Fig. 33.



Figura 33: Câmera infravermelha FLIR E-60.

A termografia infravermelha é uma técnica que detecta a radiação infravermelha que cada corpo emite e que é relacionada à temperatura do mesmo, esta termografia trata-se de uma fotografia cujo sensor da câmera capta a radiação infravermelha, marcando zonas de temperaturas diferentes com cores diferentes. As termografias foram geradas a cada 10 minutos durante a duração do ensaio para cada par amostra e haste.

3.3.3. Análise da Condutividade Térmica e da Resistividade Térmica

Para as medidas de condutividade e resistividade térmica dos óleos foi utilizado um analisador de propriedades térmicas da marca Decagon Devices Inc., modelo KD2-Pro. O sensor utilizado foi KS-1 para amostras líquidas, que fornece os valores de condutividade numa faixa de 0,02 a 2,00 ($\text{W/m} \cdot \text{k}$) e resistividade numa faixa de 50 a 5000 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm/W}$), com uma precisão de mais ou menos 5%.

Inicialmente o equipamento e o sensor foram calibrados em uma solução padrão de glicerina fornecida pelo fabricante do equipamento. Após, as leituras foram iniciadas, foi utilizada uma proveta graduada de vidro com capacidade de 10 mL na qual foi colocado o óleo e inserido o sensor, Fig. 34.

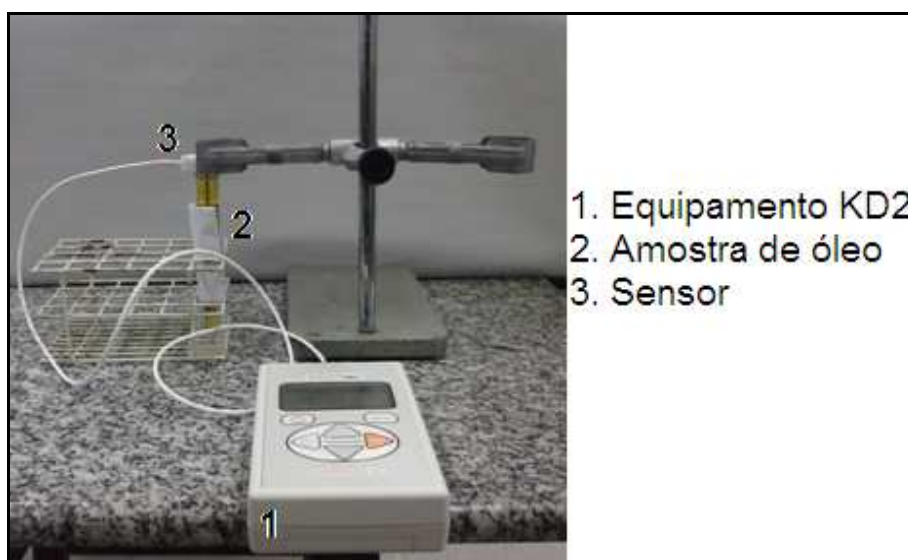


Figura 34: Ensaio de condutividade e resistividade térmica com o equipamento KD2.

Para cada óleo foram feitas cinco leituras em temperatura ambiente, no intervalo de tempo de 15 em 15 minutos, como recomendado pelo manual do equipamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar o processo de extração do óleo da carnaúba foi inicialmente utilizado um método artesanal, o qual consiste em quebrar as sementes e fervê-las em um recipiente com água, mas a quantidade de óleo extraída foi menor que o esperado, quase que imperceptível no recipiente.

O segundo método para extração do óleo foi através de um meio mecânico de pressão, onde as sementes são prensadas em uma prensa hidráulica com a utilização de um sistema cilindro/pistão acoplado a mesma. Este sistema cilindro/pistão consiste em um cilindro metálico oco de aproximadamente 100 mm de diâmetro interno por 200 mm de altura, a extremidade voltada para baixo é fechada possuindo apenas um furo por onde escoar o óleo resultante da prensa das sementes; e durante a prensagem um pistão metálico sólido desliza no interior do cilindro. A prensagem se dá pela movimentação do pistão para baixo, tal movimento é gerado pela força resultante da prensa hidráulica. Mas neste método as sementes não chegaram nem a se partir com a força máxima aplicada pela prensa hidráulica, conseqüentemente não foi extraído o óleo.

Por fim, foi resolvido utilizar um método de extração de óleo com solventes químicos. A extração do óleo desta semente através deste processo já foi realizada por um pesquisador e foram obtidos resultados satisfatórios, em média consegue-se extrair 14% de óleo da semente de carnaúba. Para extrair o óleo através deste processo as sementes devem ser reduzidas a pó para obter uma maior eficiência.

Depois de obtido o pó e os grãos das sementes da carnaúba, ambos passaram pelo processo de remoção de matéria oleosa através do equipamento extrator Soxhlet, revelando que a melhor forma para extrair o óleo da semente de carnaúba é quando ela está reduzida a pó, se pode observar na Tab. 03:

Tabela 03: Resultados do processo de extração no extrator Soxhlet.

Forma da semente	Rendimento (%)	Média (%)
Pó	13,49	12,70
	11,90	
Grão	7,04	6,80
	6,60	

Analisando a tabela acima, observou-se que o rendimento de óleo extraído da semente em pó é de 12,70%, e para a semente em grão é de 6,80%. Como visto na literatura a quantidade de óleo extraída é maior para a semente em pó, pois quanto menor a partícula, maior o contato do solvente com o óleo que está contido nela.

O tempo do processo de extração foi alterado, mas os valores quantitativos de extração continuaram semelhantes. Com um pequeno tempo em contato, grande parte da matéria oleosa da semente é removida.

Este resultado também pode ser percebido analisando a mistura de óleo mais solvente que ficou no balão após o processo de extração, Fig. 35.

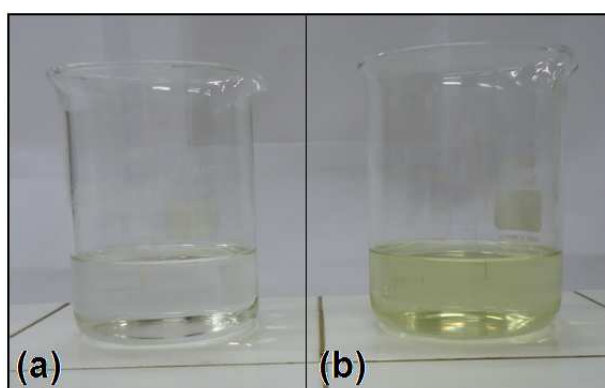


Figura 35: Mistura de óleo mais solvente: (a) o resultado do processo utilizando o grão; (b) utilizando o pó.

De acordo com os resultados do processo de extração através do extrator Soxhlet, é confirmado que a melhor forma de extrair o óleo da semente da carnaúba é quando ela está reduzida a pó.

Depois de preparada a matéria-prima, iniciou-se o processo de extração do óleo de carnaúba, utilizando o solvente hexano 98,5% e o pó da semente de carnaúba. Como resultado foi obtido o óleo de carnaúba, Fig. 36.



Figura 36: Óleo de Carnaúba.

O óleo de carnaúba apresenta cor verde-oliva levemente amarelado, e aroma semelhante ao da cera de carnaúba.

O próximo passo do projeto foi o desenvolvimento dos ensaios térmicos, físicos e químicos. Foram realizados os ensaios de massa específica, ponto de fulgor, ponto de combustão, viscosidade, potencial hidrogeniônico (pH), índice de acidez, corrosão ao cobre, e índice de viscosidade.

As massas específicas, ou densidades, obtidas do óleo de carnaúba podem ser observadas na Tab. 04:

Tabela 04: Densidade do óleo de carnaúba.

Temperatura (°C)	Densidade (g/cm³)
26	0,9139
40	0,9022
100	0,8569

Ao comparar os valores de densidade da Tab. 04 com valores de densidade de óleos vegetais existentes na literatura é percebido que os valores são similares, não apresentando diferenças consideráveis. Também é possível observar que com o aumento da temperatura o óleo expande, ou seja, ocupa o mesmo volume com uma massa menor, característica também observada nos óleos minerais.

Os pontos de fulgor e de combustão do óleo de carnaúba de acordo com a média dos resultados obtidos, são descritos na Tab. 05:

Tabela 05: Ponto de fulgor e de combustão do óleo de carnaúba.

Ponto de Fulgor (°C)	Ponto de Combustão (°C)
155	220

O óleo de carnaúba apresenta valores satisfatórios de ponto de fulgor e ponto de combustão para sua utilização como lubrificante, demonstrando a possibilidade de utilização em sistemas mecânicos com temperatura de trabalho acima da temperatura ambiente.

O comportamento reológico do óleo de carnaúba é descrito na Fig. 37:

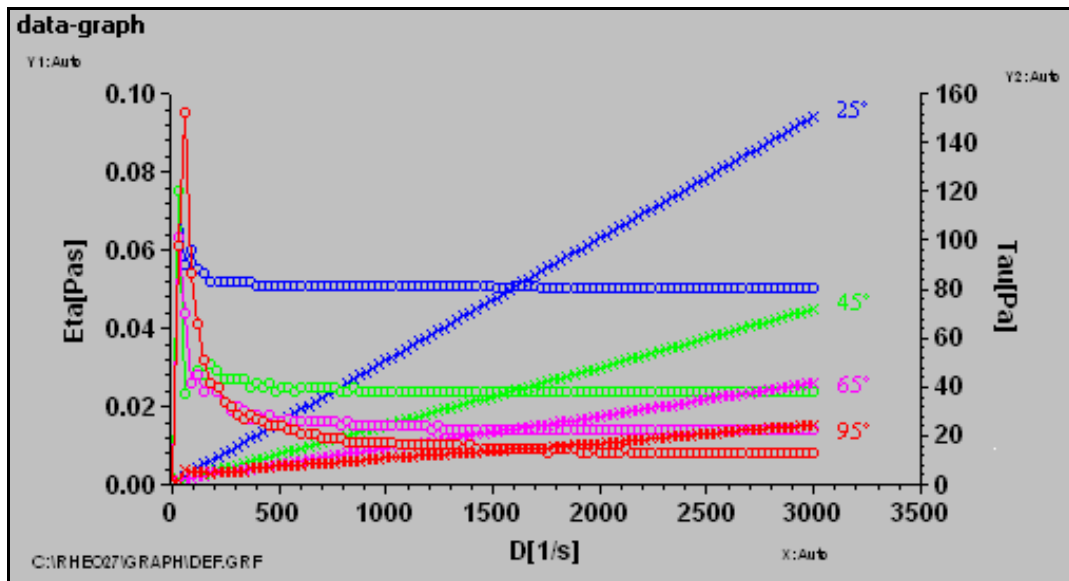


Figura 37: Viscosidade por taxa de cisalhamento, e tensão de cisalhamento por taxa de cisalhamento a 25°C (azul), 45°C (verde), 65°C (rosa) e 95°C (vermelho).

Analisando a viscosidade em função da taxa de cisalhamento ($\eta \times D$), observa-se que ocorre uma variação nos valores de viscosidade para taxas de cisalhamento menores que 500 s^{-1} , mas acima deste valor a viscosidade é constante, este efeito pode ser causado pela inércia do equipamento. Analisando a tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento ($\tau \times D$), percebe-se a proporcionalidade entre elas. Este resultado foi observado em todas as temperaturas ensaiadas. Diante das análises constatou-se que o óleo de carnaúba pode ser classificado como um fluido Newtoniano.

Percebe-se também que ao aumentar a temperatura, a viscosidade diminui. A viscosidade, assim como nos demais lubrificantes comerciais, é inversamente proporcional a temperatura.

A viscosidade para cada temperatura pode ser observada na Fig. 38:

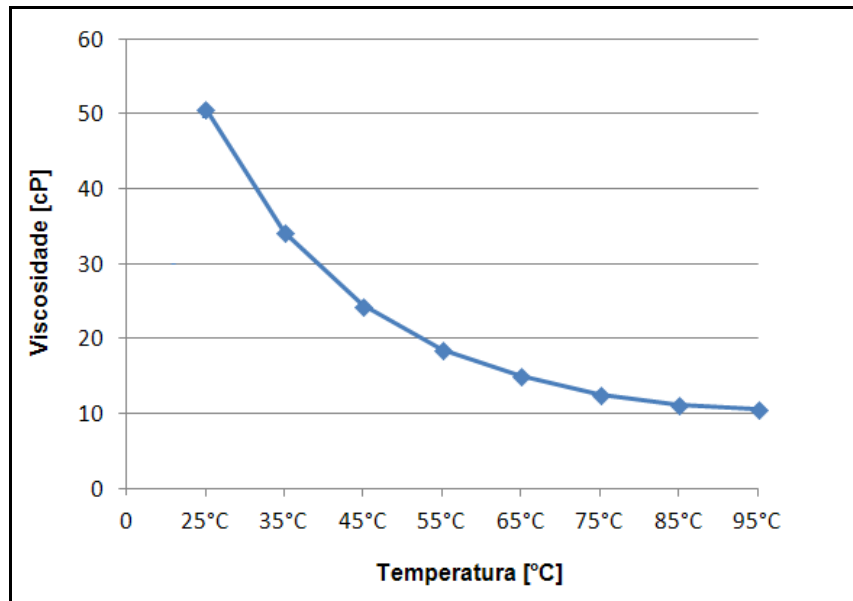


Figura 38: Variação da viscosidade segundo a temperatura.

O pH do óleo de carnaúba foi medido através do medidor digital de pH e o valor médio obtido foi pH 6,02.

O índice de acidez, de acordo com os cálculos efetuados, para o óleo de carnaúba é de 0,3723 (mg de KOH)/ g .

O óleo de carnaúba demonstrou nas análises um pH ácido, mas próximo ao neutro. E um considerável valor de índice de acidez quando comparado com os valores existentes na literatura dos demais óleos vegetais.

A baixa acidez é um fator importante a ser considerado, pois uma elevada acidez pode ocasionar desgaste excessivo em certos tipos de materiais.

Analisando o ensaio de corrosão ao cobre, percebeu-se que o óleo de carnaúba provocou uma leve mudança na coloração da chapa de cobre, ou seja, o óleo possui uma baixa corrosividade, percebe-se que ela está contida no grupo ligeiramente manchada, mais precisamente na classificação 1b, Fig. 39.

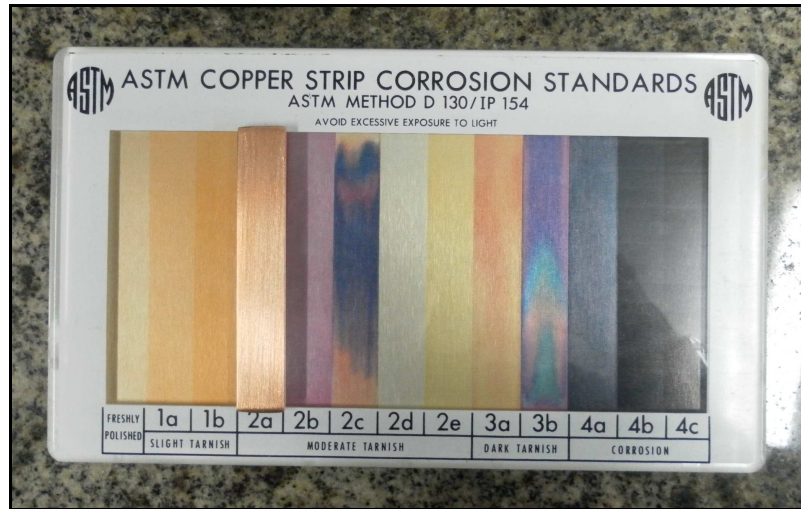


Figura 39: Comparação da coloração da chapa de cobre após o ensaio no padrão ASTM.

Ao realizar os cálculos para definição do índice de viscosidade, se obtém o valor de I.V. igual a 342.

Em resumo, as características térmicas, físicas e químicas analisadas podem ser observadas na Tab. 06:

Tabela 06: Características do óleo de carnaúba.

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Densidade (g/cm ³)	0,9139 a 26°C
	0,9022 a 40°C
	0,8569 a 100°C
Ponto de fulgor (°C)	155
Ponto de combustão (°C)	220
Viscosidade Brookfield (cP)	50,65 a 25°C
	10,65 a 95°C
Viscosidade Cinemática (cSt)	37,91 a 40°C
	12,43 a 100°C
Índice de viscosidade	342
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,3723
pH	6,02
Corrosão ao cobre	1 b

Analisando estas características acima e confrontando os dados com a tabela SAE Graus de Viscosidade para Óleos de Motor - SAE J300 e a tabela de classificação MIL-PRF-2104G, Fig. 40, e também com as características dos óleos comerciais, Fig. 41, definiu-se que o grau de viscosidade do óleo de carnaúba é SAE 30.

SAE Viscosity Grades for Engine Oils ^a — SAE J300 Dec 99					
SAE Viscosity Grade	Low Temperature Viscosities		High-Temperature Viscosities		
	Cranking ^b (cP) max at temp °C	Pumping ^c (cP) max with no yield stress at temp °C	Low Shear Rate Kinematic ^d (cSt) at 100°C		High Shear ^e Rate (cP) at 150°C min
			min	max	
0W	6200 at -35	60,000 at -40	3.8	—	—
5W	6600 at -30	60,000 at -35	3.8	—	—
10W	7000 at -25	60,000 at -30	4.1	—	—
15W	7000 at -20	60,000 at -25	5.6	—	—
20W	9500 at -15	60,000 at -20	5.6	—	—
25W	13,000 at -10	60,000 at -15	9.3	—	—
20	—	—	5.6	<9.3	2.6
30	—	—	9.3	<12.5	2.9
40	—	—	12.5	<16.3	2.9 (0W-40, 5W-40, 10W-40 grades)
40	—	—	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 grades)
50	—	—	16.3	<21.9	3.7
60	—	—	21.9	<26.1	3.7

^a All values are critical specifications as defined by ASTM D 3244 (see text, Section 3).
^b ASTM D 5293
^c ASTM D 4684 (see also Appendix B and text Section 4.1); The presence of any yield stress detectable by this method constitutes a failure regardless of viscosity
^d ASTM D 445
^e ASTM D 4683, ASTM D 4741, CEC-L-36-A-90

Military Grades — MIL-PRF-2104G

Property	Method	10W	30	40	15W-40
Kinematic Viscosity (cSt) at 100°C					
	min	5.6	9.3	12.5	12.5
	max	<7.4	<12.5	<16.3	<16.3
Apparent Viscosity (cP)					
	min	6600 at -30	—	—	7000 at -25
	max	7000 at -25	—	—	7000 at -20
HTHS Viscosity (cP) min	ASTM D 4683	2.9	—	—	3.7
Pumpability, 60,000 cP max at temp °C	ASTM D 4684	-30	—	—	-25
Viscosity Index, min	ASTM D 2270	—	80	80	—
Flash Point (°C) min	ASTM D 97	205	220	225	215
Evaporative Loss (%) max	ASTM D 5480	18	—	—	15

[Lubrizol home page](#) [\[close\]](#) [\[print this page\]](#)

Figura 40: Tabela de Graus de Viscosidade para Óleos de Motor - SAE J300 e a tabela de classificação MIL-PRF-2104G.

(Fonte: www.ipiranga.com.br)

ANÁLISES TÍPICAS *		
GRAU SAE		10W-30
Densidade a 20/4°C		0,8654
Ponto de Fulgor (VA)	(°C)	230
Ponto de Fluidez	(°C)	-36
Viscosidade a 40°C	(cSt)	67,3
Viscosidade a 100°C	(cSt)	10,0
Índice de Viscosidade		133
Cinzas Sulfatadas	(%peso)	0,810

*As Análises Típicas representam os valores modais da produção, não constituindo especificações. Para informações mais detalhadas primeiramente consulte nossa assistência técnica.

Figura 41: Dados do óleo Lubrax SAE 10W30 API SM.

(Fonte: www.petrobras.com.br)

Para realizar a análise de desempenho foi adquirido no comércio local o óleo Lubrax SAE 10W30 API SM, Fig. 42.



Figura 42: Óleo Lubrax SAE 10W30 API SM.

Depois de definida a viscosidade SAE do óleo de carnaúba e adquirido o óleo similar comercial, foi realizada a análise de desempenho dos óleos, este ensaio analisa a capacidade de reduzir o desgaste relativo ao atrito e analisa o gradiente de temperatura dos óleos ao lubrificar um sistema.

No desenvolvimento deste estudo percebeu-se a necessidade de um equipamento que realizasse a análise de desempenho dos óleos, por este motivo foi projetado e fabricado o equipamento para ensaio de desgaste relativo ao atrito. Os ensaios foram realizados com sucesso, demonstrando a eficiência do equipamento.

Observando o gradiente de temperatura dos óleos, visto que a dissipação de calor, como dito anteriormente, é uma das funções de um lubrificante, Fig. 43, a variação da temperatura entre cada amostra e o ambiente, demonstra que neste parâmetro o óleo de carnaúba foi mais eficiente do que óleo comercial SAE 10W30 API SM.

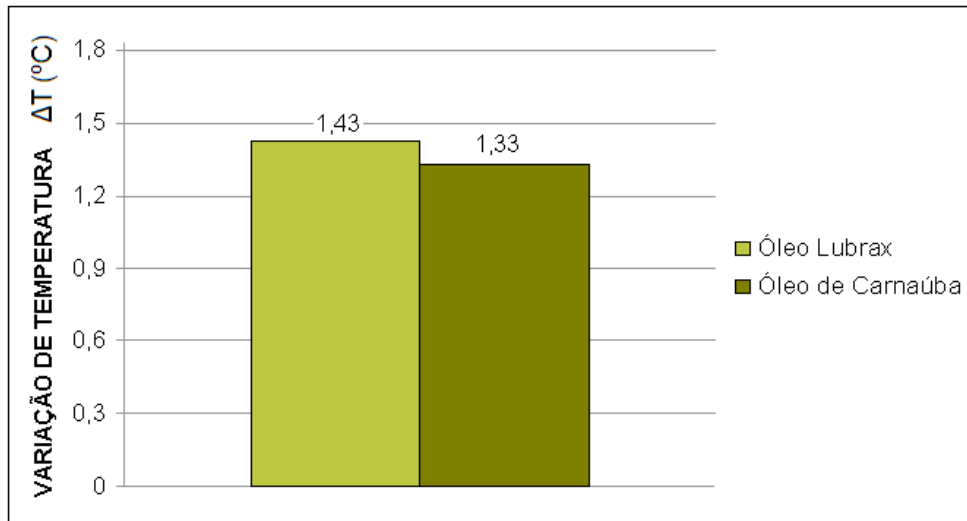


Figura 43: Gradiente de temperatura dos óleos.

Resultado também visto na análise termográfica, Fig.44.

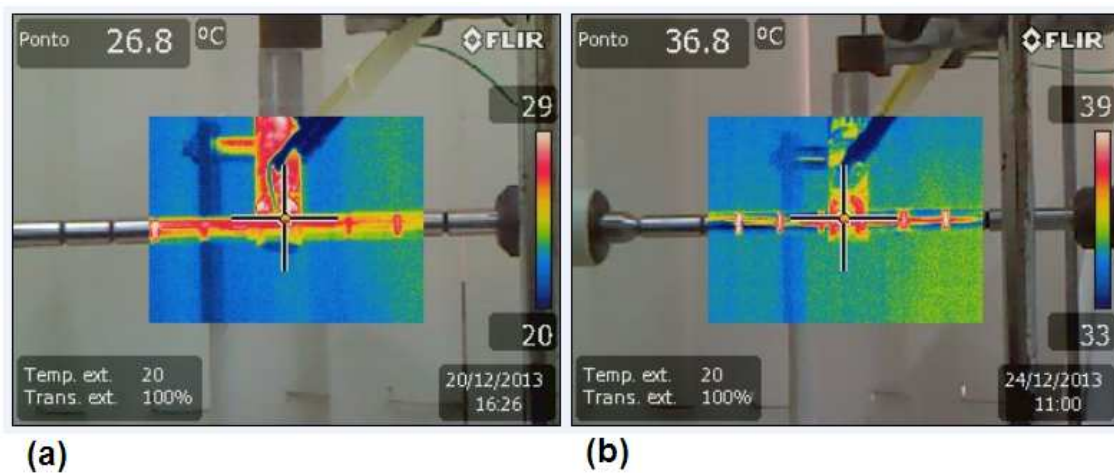


Figura 44: (a) Termografia do ensaio com o óleo comercial; (b) e com o óleo de carnaúba.

No lado direito de cada termografia, Fig. 44, observa-se uma escala de temperatura a qual revela os valores mínimo e máximo de temperatura de cada sistema, a partir destes valores, percebe-se que o óleo de carnaúba possui uma variação de temperatura menor. Um óleo que possui a variação de temperatura do sistema menor significa dizer que possui uma melhor capacidade de resfriamento do sistema mecânico.

Para uma maior confiabilidade sobre os resultados da análise do gradiente de temperatura foram desenvolvidas as análises de condutividade e resistividade térmica do óleo de carnaúba e do óleo Lubrax.

Os resultados de condutividade térmica e resistividade térmica podem ser observados na Tab. 07.

Tabela 07: Valores de condutividade e resistividade térmica dos óleos.

Tipo de Óleo	Temperatura (°C)	Condutividade Térmica K (W/m°C)	Resistividade Térmica rho (°C cm/W)	erro
Óleo de Carnaúba	28,8	0,160	624,9	0,0036
Óleo Lubrax	28,8	0,135	741,6	0,0044

A partir da Tab. 07 é possível observar que a condutividade térmica do óleo de carnaúba é maior que a do óleo Lubrax, demonstrando assim que o óleo de carnaúba possui maior capacidade em dissipar o calor, tornando o sistema lubrificado com o óleo de carnaúba mais frio do que o sistema lubrificado com o óleo Lubrax.

Os resultados da análise de desgaste foram obtidos através da diferença de massa das amostras, pesadas antes e após os ensaios, e em posse destes valores, substituí-se na Eq. 12, juntamente com as outras variáveis do ensaio.

$$k = \frac{\left[\frac{\Delta m}{\rho_A} \times 0,000001 \right]}{dd \times c} \quad (12)$$

Onde: Δm é a diferença de massa das amostras (g);

ρ_A é a densidade da amostra (g/cm^3);

dd é a distância de deslizamento (m);

c é a carga aplicada durante o ensaio (N).

Baseado na análise dos dados, Fig. 45, os valores de desgastes foram menores para o óleo de carnaúba.

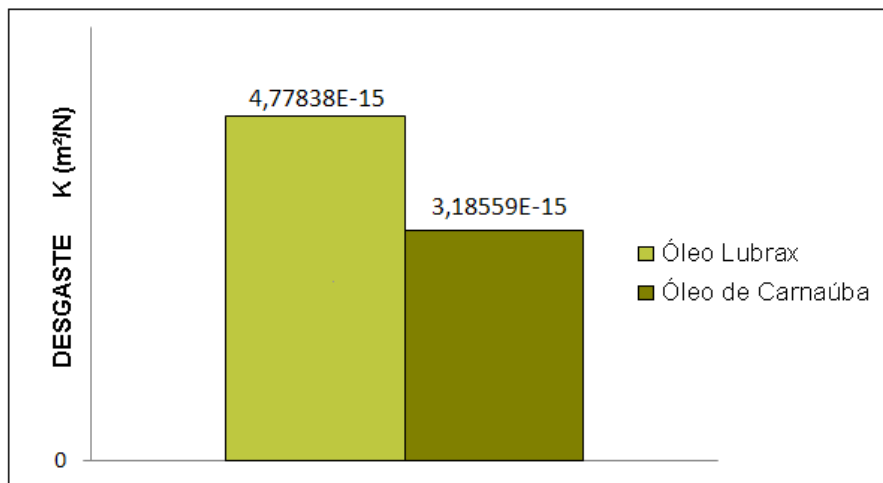


Figura 45: Análise de desgaste dos óleos.

Valores menores de desgaste para o óleo de carnaúba é devido ao mesmo apresentar uma melhor lubricidade, pois a presença dos grupos carbonila, na molécula do óleo, permite uma maior interação do óleo de carnaúba com a superfície de metal, formando um filme lubrificante mais difícil de ser rompido pela fricção. Também pelo motivo do óleo de carnaúba possuir uma capacidade de dissipação de calor mais eficiente, mantendo o sistema mecânico em equilíbrio térmico.

5. CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados, conclui-se que:

- O óleo de carnaúba quando comparado com o óleo SAE 10W30 API SM apresenta maior eficiência ao lubrificar um sistema mecânico, apresentando menor desgaste e maior capacidade em dissipar o calor, ele combina uma boa lubricidade com boas propriedades térmicas.
- O óleo de carnaúba apresenta ótimos valores em seus resultados de ponto de fulgor e de ponto de combustão, similares aos valores de outros óleos vegetais.
- O óleo de carnaúba possui baixos valores de acidez.
- No ensaio de corrosão ao cobre, percebe-se que o óleo de carnaúba possui uma baixa corrosividade em contato com material metálico de cobre. Uma ótima característica, pois em grande maioria as peças que necessitam de lubrificação são fabricadas com ligas metálicas de cobre.
- O índice de viscosidade revela que o óleo de carnaúba possui uma baixa variação de viscosidade quando a temperatura varia. Demonstrando a possibilidade de seu uso em um sistema mecânico que exija um controle de viscosidade mais severo do fluido lubrificante.
- Diante das análises, o óleo de carnaúba demonstrou resultados satisfatórios, apresenta uma boa correlação para sua aplicação como biolubrificante. No entanto, ainda são necessários ensaios adicionais, considerando-se que este estudo é pioneiro na engenharia.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar a estabilidade oxidativa e térmica do óleo de carnaúba;
- Analisar a composição química do óleo de carnaúba;
- Realizar novamente as análises térmicas, físicas e químicas no óleo de carnaúba juntamente com o similar comercial;
- Realizar no óleo de carnaúba o processo de transesterificação;
- Realizar as análises térmicas, físicas e químicas no óleo de carnaúba após o processo de transesterificação;
- Aplicar o óleo de carnaúba em sistema mecânico real e analisar seu desempenho como lubrificante.

7. REFERÊNCIAS

7.1. Referências Bibliográficas

QUEIROGA, V. P.; RAMOS, G. A.; ASSUNÇÃO, M. V.; ALMEIDA, F. A. C. **Carnaubeira: Tecnologias de Plantio e Aproveitamento Industrial**. 1ª Edição; Editora Universidade de Campina Grande; 2013.

ALVES, M. O.; COELHO, J. A. **Extrativismo da carnaúba: relações de produção, tecnologia e mercados**. Série Documentos do ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. n.20. Fortaleza-CE. Banco do Nordeste. 2008, 213p.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará**. 4ª Edição. Natal: Editora Universitária UFRN, 1976, 539p.

SOAREZ, P. A. Z. **Produção de Biodiesel na Fazenda**. Centro de Produções Técnicas-CPT. Viçosa, Série Agroindústria, 2006. 220p.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**; Exedito José de Sá Parente; José Neiva Santos Júnior; João Arquimedes Bastos Pereira, Exedito José de Sá Parente Júnior (colaboradores)- Fortaleza: Tecbio 2003, 68p.

CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**. Editora Interciência; Rio de Janeiro, 2008.

SOUZA, M. S. M. **Métodos analíticos para lubrificantes e isolantes**. Química e Derivados; n. 382; p. 20-28; 2000.

FOX, R.W.; MCDONALD, A.T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 4ª EDIÇÃO; Editora LTC; 1998.

WAGNER, H.; LUTHER, R.; MANG, L. **Lubricant base fluids based on renewable raw materials their catalytic manufacture and modification**. Elsevier; n. 221; p. 429-442; 2001.

FOX, N.J.; STACHOWIAK, G.W. **Vegetable oil-based lubricants - A review of oxidation**. Elsevier; Tribology International; n. 40; p. 1035–1046; 2007.

BIOLUBRIFICANTES PARA PETROBRAS. Disponível em: <http://diariodonordeste.globo.com/>. Acessado em 01/12/2012.

EMPRESA DA REGIÃO APOSTA FORTE NOS BIOLUBRIFICANTES. Disponível em: http://portal.rac.com.br/noticias/index_teste.php?tp=projeto-ambiental&id=/142131&ano=/2012&mes=/08&dia=/23&titulo=/empresa-da-regiao-aposta-forte-nos-biolubrificantes. Acessado em 19/01/2013.

Departamento de Tecnologia da Texaco Brasil LTDA.; Fundamentos de Lubrificação; 2005.

7.2. Referências Bibliográficas Complementares

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5ª EDIÇÃO; Editora LTC; 2003.

SANTOS, E. H. **Síntese e Caracterização de Biolubrificantes a Partir do Óleo de Soja Refinado**. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado a Universidade Tecnológica Federal do Paraná; Curitiba, 2011.

WILLING, A. **Lubricants based on renewable resources - an environmentally compatible alternative to mineral oil product**. Chemosphere; n. 43, p. 89-98; 2001.

LUNA, F. M. T.; ROCHA, B. S.; ROLA JR., E. M.; ALBUQUERQUE, M.C.G.; AZEVEDO, D.C.S.; CAVALCANTE JR., C. L. **Assessment of biodegradability and oxidation stability of mineral, vegetable and synthetic oil samples**. Elsevier, Industrial Crops and Products; n. 33, p. 579–583; 2011.

JULIÃO, J. C. **Estudo Comparativo de Óleos Lubrificantes Básicos Minerais**. Revista da Graduação; Vol. 4; Nº 2; Ano 2011. Disponível em: <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/10048/7084>. Acessado em 03/2013.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais Visando a Produção de Biodiesel**. Dissertação apresentada a Universidade Federal da Paraíba; João Pessoa, 2010.

BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R. , ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. **Determinação Experimental da Viscosidade e Condutividade Térmica de Óleos Vegetais**. Ciência e Tecnologia de Alimentos; Campinas; 28(3): 564-570; jul.-set. 2008.

RODRIGUES, V. P. **Coperniciacerifera Mart.: Aspectos Químicos e Farmacológicos de uma Palmeira Brasileira**. Tese apresentada como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Farmacêuticas, junto à Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, Junho de 2004.

PAULA, A. S. **Proposta para Implantação de Manutenção Preventiva em Bancada de Teste Hidráulico**. Monografia de conclusão do curso de Engenharia Mecânica apresentada à Universidade Estadual do Maranhão; 2006.

MALPICA, L. G. T. **Manutenção Preventiva de Motores de Combustão Interna à Gasolina Através da Técnica de Análise de Lubrificantes**. Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia – UNESP; Campus de Ilha Solteira.

RODRIGUES, L. K. O. **Characterization of The Cashew Nuts Oil as a Lubricant Plant**. XX COBEM; 2009.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol. I; Editora Plantarum; Nova Odessa, São Paulo; 1992 | **Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa, São Paulo; Editora Plantarum; 1996 | **Plantas e Ervas Medicinais e Fitoterápicos-PLANTAMED**.

LUCHETI LUBRIFICANTES LTDA. **Material Informativo – Lubrificantes**. São Paulo-SP; Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93leos_lubrificantes. Acessado em: 14/04/2012.

SILVA, I. C. C. **Uso de Processos Combinados Para Aumento do Rendimento da Extração e da Qualidade do Óleo de Macaúba**. Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos; Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, A. K. C.; SILVA, L. H. N.; SILVA, L. L. N.; OLIVEIRA, K. R. R.; SILVA, S. I. F.; COSTA, A. C. J. **Produção e avaliação comparativa do biodiesel de soja e biodiesel de linhaça através de dois métodos de preparação aplicados aos óleos vegetais**. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7; Tocantins, 2012.

MATOS, P. R. R. **Utilização de Óleos Vegetais como Bases Lubrificantes**. Dissertação de mestrado Universidade de Brasília; Brasília, 2011.

AZEVEDO, J. B., CARVALHO, L. H.; FONSECA, V. M. **Propriedades Reológicas de Óleos Lubrificantes Minerais e Sintéticos com Degradação em Motor Automotivo**. Trabalho publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás; Salvador, outubro de 2005.