



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

Nivaldo Silva Neto

**RECICLAGEM DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS EM MOTORES  
DIESEL UTILIZANDO BUTAN-1-OL**

CUITÉ – PB  
MARÇO/2015

Nivaldo Silva Neto

**RECICLAGEM DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS EM MOTORES  
DIESEL UTILIZANDO BUTAN-1-OL**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Educação e Saúde, como forma de obtenção do Grau de Licenciado.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos

CUITÉ – PB  
MARÇO/2015



5586r Silva Neto, Nivaldo.  
Reciclagem de óleos lubrificantes usados em motores diesel utilizando butan-1-OL. / Nivaldo Silva Neto. - Cuité: [s. n.], 2015.  
51fl. : il. tab. graf. fig.

Orientador Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos.  
Monografia do Curso de Licenciatura em Química.  
Não disponível em CD.

1. Ecologia. 2. Meio ambiente. 3. Óleo lubrificante. 4. Óleo lubrificante - motor diesel. 5. Óleo lubrificante - reciclagem. 6. Óleo lubrificante - característica físico-química. I. Santos, José Carlos Oliveira. II. Universidade Federal de Campina Grande. III. Centro de Educação e Saúde. IV. Título

CDU 577.4

NIVALDO SILVA NETO

**RECICLAGEM DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS EM MOTORES  
DIESEL UTILIZANDO BUTAN-1-OL**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de  
Campina Grande, para obtenção do grau de licenciatura em Química.

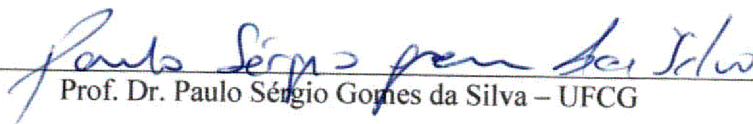
Aprovada em 05/ 03/ 2015

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos – UFCG



---

Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes da Silva – UFCG



---

Prof. Dr. Cláudia Patrícia Fernandes dos Santos – UFCG

*Dedico este trabalho a Deus e Nossa Senhora,  
onde hoje só quero dizer: obrigado por tudo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Querido Deus desta vez não quero pedir. Quero somente agradecer por tudo que faz na minha vida, todas as realizações. Uma delas é minha conclusão de curso, obrigado;

A minha família: João dos Santos Silva (Pai), Francinete Gomes de Farias (Mãe), Jadson de Farias Silva (Irmão) e Jebson de Farias Silva (Irmão), por sempre me apoiar, meu agradecimento especial;

O professor Dr. José Carlos Oliveira Santos, pela sua orientação e pelas oportunidades que me proporcionou;

A todo corpo docente que fez parte de minha vida acadêmica, por me orientar no conhecimento científico e social;

A todos os meus amigos em especial: Taise, Déborah, Felipe, Marcos, Thays, Cláudia, Eudes, Daniel, Elinalda, Antônia, Lidiane, Cosme, John, Lazaro, Douglas, Adilla, Danyelle e Anderson, um agradecimento mais de que especial;

A minha namorada (Andréia) e nossos amigos (Luciano e Sonara), por sempre me fortalecer nesta trajetória;

Ao Grupo de Oração Chama Viva e todos os que o compõe, por sempre me mostra o caminho da fé;

Ao Laboratório de Biocombustíveis e Química Ambiental todos o que compõe, por sempre me ceder o espaço e as oportunidades de crescimento científico;

A Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Educação e Saúde que me oportunizaram o caminho para esta grande conquista.

## Resumo

Os óleos lubrificantes são substâncias de base mineral ou sintética responsáveis pela formação de uma película protetora, que impede o contato direto entre duas superfícies que se movem entre si. A mistura lubrificante forma-se pela junção de aditivos ao óleo base obtida na destilação do petróleo. Quando os óleos usados são lançados diretamente no ambiente ou quando queimados de forma não controlada, provocam graves problemas de poluição do solo, das águas e do ar. Reciclar o lubrificante significa aplicar processos físico-químicos sobre o óleo usado, possibilitando a obtenção de óleo base, matéria-prima que pode ser reutilizada para a obtenção de lubrificantes. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o processo de reciclagem de óleos lubrificantes automotivos usados em motores a diesel através de extração por solvente polar, butan-1-ol. Foram avaliadas todas as propriedades químicas e físico-químicas de óleos lubrificantes usados em comparação com os óleos lubrificantes reciclados e os óleos lubrificantes novos. Se olharmos para os perigos que o óleo usado pode causar ao meio ambiente, uma provável solução para as dificuldades encontradas foi proposta neste trabalho.

**Palavras-Chave:** Óleo lubrificante, Meio ambiente, Reciclagem.



## **Abstract**

The lubricating base oils are mineral or synthetic substances responsible for the formation of a protective film, which prevents direct contact between two surfaces that move relative to each other. The lubricant mixture is formed by the junction of additives to the base oil obtained from the distillation of petroleum. Where waste oil are released directly into the environment or when burned in an uncontrolled way, causing serious soil pollution problems, water and air. Recycling the lubricant applying means physicochemical processes on the oil used, making possible to obtain the base oil, the raw material can be reused to obtain lubricants. The aim of this study was to evaluate the process of recycling of automotive lubricating oils used in diesel engines through extraction by polar solvent, butan-1-ol. Chemical and physicochemical properties of lubricating oils as compared with the recycled and new lubricating oil lubricating oils were evaluated. If we look at the dangers that used oil can cause to the environment, a possible solution to the difficulties encountered was proposed in this paper.

**Keywords:** Lubricating Oil, Environment, Recycling.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Evaporador rotativo utilizado no processo de reciclagem .....	27
<b>Figura 2.</b> Centrifuga utilizada no processo de reciclagem .....	27
<b>Figura 3.</b> Fluxograma do processo de extração do óleo lubrificante básico. ....	28

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resultados das análises realizadas sobre as amostras de óleos usados a 5000 e 10000 km e de óleo novo.....	32
<b>Tabela 2.</b> Rendimentos das extrações através dos solventes butan-1-ol nas proporções 3/1 e 2/1 de solvente/óleo.....	33
<b>Tabela 3.</b> Densidade e Grau API, dos óleos recuperados a 5000 e 10000 km nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo, solvente usado butan-1-ol.....	33
<b>Tabela 4.</b> Teores de cinza em relação à proporção de solvente/óleo e quilometragem.....	34
<b>Tabela 5.</b> Índice de Acidez das amostras dos óleos recuperados a 5000 e 10000 km nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo, solvente usado butan-1-ol. ....	34
<b>Tabela 6.</b> Aspecto visual das amostras de óleo lubrificante recuperado através do solvente polar butan-1-ol. ....	35
<b>Tabela 7.</b> Teor de umidade das amostras de óleos recuperados com solvente polar butan-1-ol. .	35
<b>Tabela 8.</b> Índices de peróxidos das amostras de óleos recuperados com solvente polar butan-1-ol. ....	36

## LISTA DE SIGLAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

DTA – Análise Térmica Diferencial

TG – Termogravimetria.

DSC – Cromatografia Exploratória Diferencial.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

IV – Índice de Viscosidade.

IA – Índice de Acidez.

RR – Rerrefinado.

SAE – Society of American Engineers.

API – American Petroleum Institute.

ICTAC – International Confederation of Thermal Analysis and Calorimetry.

DTA – Análise Térmica Diferencial.

TMA – Análises Termomecânica.

LACOM – Laboratório de Combustíveis e Materiais.

UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1 Óleos Lubrificantes .....	15
2.2 Aditivos .....	17
2.3 Reciclagem de Óleos Lubrificantes.....	18
2.3.1 Extração por solvente.....	20
2.4 Principais Características Físico-químicas de Óleos Lubrificantes.....	22
2.4.1 Viscosidade .....	22
2.4.2 Índice de Acidez.....	23
2.4.3 Cinzas.....	24
2.5 Aspectos econômicos na Reciclagem de Lubrificantes .....	24
2.6 Aspectos Ambientais na Reciclagem de Lubrificantes .....	25
3 METODOLOGIA .....	26
3.1 Materiais.....	26
3.2 Métodos.....	26
3.2.1 Tratamento das Amostras.....	26
3.2.2 Procedimento de Extração.....	26
3.2.3 Caracterização Físico-Química .....	28
3.2.3.1 Densidade e Grau API.....	28
3.2.3.2 Índice de Acidez.....	29
3.2.3.3 Cinzas.....	29
3.2.3.4 Umidade .....	30
3.2.3.5 Índice de Peróxido.....	30
3.2.3.6 Aparência .....	31
3.2.3.7 Propriedades de Fluxo.....	31

UFMG BIBLIOTECA

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5 CONCLUSÃO .....	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

Óleos lubrificantes, sintéticos ou não, são derivados de petróleo, empregados em fins automotivos ou industriais, que após o período de uso recomendado pelos fabricantes dos equipamentos, deterioram-se parcialmente, formando compostos oxigenados (ácidos orgânicos e cetonas), compostos aromáticos polinucleares de viscosidade elevada (e potencialmente carcinogênicos), resinas e lacas (RUPRECHT, 2011). Além dos produtos de degradação do óleo básico, estão presentes no óleo usado os aditivos que foram acrescentados no processo de formulação destes lubrificantes e, que ainda não foram consumidos, desgaste de metais dos motores e das máquinas lubrificadas e contaminantes diversos, tais como água, combustível, poeira e outras impurezas. O óleo lubrificante usado pode ainda conter produtos químicos que, por vezes, são inescrupulosamente adicionados ao óleo e seus contaminantes característicos (SILVEIRA et al., 2006).

Desta forma, quando os óleos usados são lançados diretamente no ambiente (em meio hídrico, nas redes de esgotos e solo) ou quando queimados de forma não controlada, provocam graves problemas de poluição do solo, das águas e do ar. Quando lançados no solo, os óleos usados se infiltram conjuntamente com a água da chuva contaminando o solo que atravessam e, ao atingirem os lençóis freáticos subterrâneos, poluem também as águas de fontes e poços (PARK et al., 2009; LORENZETT, 2010). Quando lançados nas redes de drenagem de águas residuais poluem os meios receptores hídricos e provocam também estragos importantes nas estações de tratamento de águas residuais. O óleo usado contém elevados níveis de hidrocarbonetos e de metais (SILVEIRA et al., 2006), sendo os mais representativos ferro, chumbo, zinco, cobre, cromo, níquel e cádmio. A queima indiscriminada do óleo lubrificante usado, sem tratamento prévio de desmetalização, gera emissões significativas de óxidos metálicos além de outros gases tóxicos, como dioxina e óxidos de enxofre.

Os óleos lubrificantes estão entre os poucos derivados do petróleo que não são totalmente consumidos durante o uso. Fabricantes de aditivos e formuladores desse tipo de óleo vêm trabalhando no desenvolvimento de produtos com maior vida útil, o que tende a reduzir a produção de óleos usados. No entanto, com o aumento da aditivização e da vida útil do óleo, crescem as dificuldades no processo de regeneração do óleo básico após o uso. Por outro lado, se olharmos para os perigos que o óleo usado pode causar ao meio ambiente, uma solução para as

dificuldades encontradas seria facilmente justificado. Alguns desses perigos: 1 litro de óleo usado pode poluir 1 milhão de litros de água; a queima de 5 litros de óleo polui a mesma quantidade de ar que uma pessoa respira durante 3 anos; 1 litro de óleo pode formar uma película de 5000 m<sup>2</sup>. Além disso, o re-refino restabelece as condições do óleo lubrificante básico, cuja qualidade é tão boa, ou até melhor que o básico de primeiro refino. Os óleos re-refinados voltariam ao mercado gerando empregos, economizando divisas e evitando o aumento da poluição ambiental (LORENZETT, 2010).

Os óleos usados se forem dispostos no solo, queimados ou descartados em corpos hídricos irão provocar forte agressão ao meio ambiente devido ao alto potencial poluidor. Uma tonelada de óleo despejada nos rios provoca um impacto ambiental equivalente à carga poluidora de uma cidade com 40.000 habitantes. Apenas um litro, desse material, é capaz de esgotar o oxigênio de um milhão de litros d'água, formando em poucos dias, uma fina camada sobre uma superfície de 1000 m<sup>2</sup>, o que bloqueia a passagem de ar e luz, impedindo a respiração dos seres vivos aquáticos e a fotossíntese (PARK et al., 2009;).

Outro grande risco é quando o óleo usado atinge o solo o último se torna uma espécie de reservatório que irá afetar severamente o subsolo e o lençol freático, formando uma pluma de contaminação, limitando a circulação do ar através das partículas do solo, o que inibe a ação dos microrganismos e impede o acesso das plantas aos nutrientes. Os óleos contêm metais tóxicos provenientes dos aditivos como também do desgaste dos motores, além de conterem em sua composição hidrocarbonetos poliaromáticos, tais como benzopireno, fenantreno, fluoreno, que se formam por processos de oxidação durante a sua vida útil.

Reciclar o lubrificante significa aplicar processos físico-químicos sobre o óleo usado, possibilitando a obtenção de óleo base, matéria-prima que pode ser reutilizada para a obtenção de lubrificantes. A reutilização do óleo fica condicionada ao grau e ao tipo de contaminação. Os agentes contaminantes mais comuns encontrados nos óleos são: compostos leves (baixo ponto de ebulição), compostos solúveis e compostos insolúveis. Dentro dos compostos leves os mais comuns são: a água, gasolina e diesel. No caso dos compostos solúveis destacam-se todos os compostos oxidados e aditivos previamente incorporados (antioxidantes, detergentes, dispersantes, etc.) enquanto que os compostos insolúveis compreendem os hidrocarbonetos oxidados, partículas e óxidos metálicos (GHOUTI e ATOUM, 2009).

Desta forma, torna-se imprescindível a reciclagem de óleos lubrificantes usados em motores diesel veicular através de solventes polares, no caso o butan-1-ol. Tendo por objetivo do presente trabalho é avaliar o processo de reciclagem de óleos lubrificantes automotivos usados em motores a diesel através de extração com butan-1-ol, recuperar o óleo lubrificante usado após 5.000 e 10.000 km através de extração com butan-1-ol e determinar as propriedades físico-químicas das amostras de óleo lubrificante sem uso, óleo lubrificante usado e óleo lubrificante recuperado.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Óleos Lubrificantes

Óleo lubrificante é um produto elaborado para cumprir a função principal de reduzir o atrito e o desgaste entre partes móveis de um objeto. São também funções dos lubrificantes, dependendo da sua aplicação, a refrigeração e a limpeza das partes móveis, a transmissão de força mecânica, a vedação, isolamento e proteção do conjunto ou de componentes específicos, e até a transferência de determinadas características físico-químicas a outros produtos. Tão variadas quantas as suas aplicações, que vão desde lubrificar uma simples ferramenta até possibilitar o funcionamento de complexos equipamentos como motores de alto desempenho e robôs industriais, são também as formas pelas quais se apresentam os lubrificantes, variando da forma líquida à semi-líquida, diferindo em viscosidade e em outras características conforme o uso a que se destinam (GUIA BÁSICO, 2008).

Óleos lubrificantes apresentam uma elevada viscosidade e grandes cadeias de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos: que são classificados como material de difícil digestão empregando procedimentos convencionais ou assistidos por radiação microondas. Óleos lubrificantes novos e usados são frequentemente analisados visando a determinação de sua formulação, da concentração de metais pesados e dos metais utilizados como aditivos (BRESSANI et al., 2006).

Os óleos básicos representam principal componente da grande parte dos lubrificantes, perfazendo cerca de 80% da composição. Os óleos básicos de origem mineral são ainda os mais empregados em lubrificação, sendo obtidos do petróleo, portanto, suas propriedades se relacionam à natureza do óleo cru que lhes deu origem e ao processo de refinação empregado. Geralmente consistem de mistura de moléculas contendo de 18 a 40 átomos de carbono classificados em parafínicos, aromáticos e naftênicos. Estes óleos básicos além de carbono e hidrogênio podem conter ainda uma pequena porcentagem de compostos contendo heteroátomos como enxofre, nitrogênio ou oxigênio, substituído em várias estruturas hidrocarbônicas. As principais funções dos lubrificantes são redução do atrito entre superfícies, prevenção de corrosão e ferrugem, resfriamento pela remoção do calor produzido pelo atrito das peças e limpeza do motor, entre outras (SILVEIRA et al., 2010).

Os óleos lubrificantes são constituídos por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, provenientes do refino do petróleo cru. Os lubrificantes contêm moléculas de vários tamanhos, formatos e composição química bem conhecida, como nitrogênio, enxofre e metais (AZEVEDO et al., 2005). A remoção de todos os compostos indesejáveis é impossível. Em função da dificuldade de controle químico destes materiais, os lubrificantes sintéticos vêm sendo cada vez mais utilizados (DENNEN, 1994).

Nos últimos anos houve uma forte procura de lubrificantes de alto desempenho, especialmente na indústria da aeronáutica, que usa os mais modernos motores (AZEVEDO et al., 2005). Isto proporcionou o desenvolvimento dos lubrificantes sintéticos, que podem manter-se a elevadas temperaturas por tempos relativamente longos sem se decomporem, e ao mesmo tempo terem um baixo risco de combustão. Os óleos sintéticos não são derivados do petróleo, mas produzidos em laboratório a partir de ensaios em condições críticas. O óleo lubrificante mineral representa cerca de 2% dos derivados de petróleo, e é um dos produtos que não são totalmente consumidos durante o seu uso (VIEGAS, 2003).

Óleos usados são quaisquer óleos lubrificantes de base mineral ou sintética impróprios para o uso a que se destinavam, nomeadamente, os óleos usados de motores de combustão, sistemas de transmissão, óleos minerais para máquinas, turbinas e sistemas hidráulicos (AZEVEDO et al., 2005). Foi observado que o óleo lubrificante usado tem causado sérios problemas ambientais devido ao seu descarte indiscriminado que polui rios e mananciais aquíferos. Além disso, a queima indevida, sem respeitar os limites de emissões exigidos pelos órgãos ambientais, lança na atmosfera óxidos e gases tóxicos. Neste sentido, fabricantes de aditivos e formuladores de óleos lubrificantes vêm trabalhando no desenvolvimento de produtos com maior vida útil, o que tende a reduzir o volume de óleos usados descartados (CERQUEIRA, 2004).

Uma característica bastante importante dos óleos lubrificantes automotivos é seu comportamento com o aumento da temperatura, uma vez que eles não são usados na temperatura ambiente (AZEVEDO et al., 2005). Na junção de contato lubrificada, a temperatura e a pressão são frequentemente altas. Os óleos sofrem alteração com o aumento da temperatura, sendo a sua degradação sob condições de operação um problema que envolve significativas perdas econômicas. A oxidação é o agente primário da degradação, e sua observação tem motivado

muitas pesquisas, sendo a técnica de análise térmica uma ferramenta importante ao qual vem sendo bastante utilizada no ramo da petroquímica (HSU, 2004).

## 2.2 Aditivos

São substâncias que melhoram as características dos óleos básicos, comotambém potencializam novas qualidades que os óleos básicos não possuem. Aditivos são compostos organometálicos, tais como sulfonatos, fenóxidos, na forma de cálcio, magnésio e bário; dialquilditiofosfato de zinco. Outros aditivos são unicamente de natureza orgânica, tais como: tetraetilenopentamina do ácido poli-isobutenilsuccínico, polímeros a base de metacrilato; copolímeros diversos, etc. (SCHILLING, 1968).

Os lubrificantes assim formulados, depois de determinada quilometragem ou horas de uso, são degradados e, conseqüentemente, devem ser trocados, gerando dessa maneira o óleo usado ou “óleo queimado” como popularmente são denominados (GUIMARÃES, 2006).

De acordo com o Guia Básico (2008), os tipos de aditivos normalmente misturados ao óleo lubrificante básico para formar um óleo lubrificante acabado estão listados a seguir com suas respectivas funções e substâncias usadas.

- **Antioxidantes** - Retardar a oxidação dos óleos lubrificantes, que tendem a sofrer esse tipo de deterioração quando em contato com o ar, mesmo dentro do motor. As substâncias usadas para compor os mesmos são: ditiofosfatos, fenóis e aminas;
- **Detergentes – Dispersantes** - Impedir a formação de depósitos de produtos de combustão e oxidação, mantendo-os em suspensão no próprio óleo e permitindo que sejam retirados pelos filtros ou na troca do lubrificante. As substâncias usadas para compor os mesmos são: sulfonatos, fosfonatos e fenolatos;
- **Anticorrosivos** - Neutralizar os ácidos que se formam durante a oxidação e que provocam a corrosão de superfícies metálicas. As substâncias usadas para compor os mesmos são: ditiofosfatos de zinco e bário e sulfonatos;

- **Antiespumantes** - Minimizar a formação de espumas que tendem a se formar devido à agitação dos óleos lubrificantes e prejudicam a eficiência do produto. As substâncias usadas para compor os mesmos são: siliconas e polímeros sintéticos;
- **Rebaixadores de Ponto de Fluidez** - Impedir que os óleos “engrossem” ou congelem, mantendo sua fluidez sob baixas temperaturas;
- **Melhoradores de Índice de Viscosidade** - Reduzir a tendência de variação da viscosidade com a variação de temperatura.

### 2.3 Reciclagem de Óleos Lubrificantes

No caso dos lubrificantes, uma alternativa para a sua utilização depois de usados é a incineração devido ao seu grande poder calorífero, no entanto, por se tratar de um material de origem não renovável (óleos base), a mesma não deve ser utilizada por ser altamente poluente. Tendo em conta o fato de que durante a sua utilização o lubrificante não é consumido, mas sim os seus aditivos é que perde a eficiência, a reciclagem pode ser a alternativa mais viável não apenas do ponto de vista tecnológico bem como econômico e ecológico (HAMAD, 2005; KANOKKANTAPONGET al., 2009).

Alguns dos processos utilizados na reciclagem são de natureza física, isto é, utilizam apenas as diferentes propriedades físicas dos componentes para separá-los. Outros há que empregam reações químicas para obter produtos e a purificação dos mesmos (HAMAD, 2005; RINCÓN et al., 2007; LAM, 2010; MAJANO e MINTOVA, 2010; AL-ZAHRANI e PUTRA, 2013). Os processos empregados são:

- **Sedimentação:** consiste em deixar o óleo base num funil de separação de dois litros, sem agitação por um período de 48 horas;
- **Filtração:** consiste em fazer passar o óleo através de certos materiais que retêm as partículas sólidas. Os aparelhos filtrantes variam largamente em função do princípio de operação, custo e desempenho;

- **Centrifugação:** a purificação centrífuga é um processo mecânico pelo qual a separação das impurezas dos líquidos é acelerada, fazendo-se girar a altas velocidades periféricas;
- **Desgasificação e desidratação térmica:** consiste em aquecer o óleo numa câmara de vácuo com temperatura controlada. Neste processo retira-se gases dissolvidos, bem como água e misturas de solventes que podem estar presentes no lubrificante;
- **Extração com solvente:** é um processo bastante empregue, pois pode ser utilizado para qualquer tipo de óleo parafínico. Consiste em separar por diferença de solubilidade compostos parafínicos e naftênicos de compostos indesejáveis como a borra, resinas e compostos asfálticos;
- **Tratamento ácido:** é o emprego de ácido sulfúrico no tratamento de óleos usados. O ácido ataca os hidrocarbonetos insaturados produzindo ésteres. Este tratamento possibilita a deposição de borra após uma etapa de decantação;
- **Tratamento básico:** é o emprego de hidróxido de potássio no tratamento de óleos usados. A base possibilita a separação pela solubilização em água;
- **Neutralização:** processo que visa neutralizar o excesso de ácido ou base presente no meio. Nesta etapa regula-se o pH da solução em aproximadamente 7;
- **Hidroacabamento:** consiste na hidrogenólise, onde o hidrogênio atua sob alta pressão sobre hidrocarbonetos instáveis;
- **Destilação fracionada:** consiste em separar por faixa de destilação a mistura que constitui o óleo usado. É especialmente empregue para reduzir a quantidade de derivados asfálticos.

Alguns trabalhos foram realizados sobre a determinação de metais (SILVEIRA et al., 2006; SILVEIRA et al., 2010) e outros contaminantes (KANOKKANTAPONG et al., 2009;

GUAN et al., 2011; MENZEL et al., 2012) em óleos lubrificantes. Porém, um trabalho que recupere óleos lubrificantes usados e faça sua caracterização química e físico-química relacionando estas propriedades com aqueles encontrados em óleos lubrificantes novos ainda não foi relatado. Pelo exposto, é altamente relevante que essa matéria-prima seja regenerada através de uma tecnologia mais limpa, proporcionando proteção ao meio ambiente, evitando o desperdício e promovendo um uso inteligente dos recursos naturais.

### 2.3.1 Extração por solvente

A operação unitária denominada extração consiste em uma técnica de separação baseada nos diferentes graus de solubilidade dos constituintes. Compostos orgânicos, por exemplo, são, em geral, mais solúveis em solventes também orgânicos e pouco solúveis em água.

Quando se colocam em contato duas fases de composições diferentes, pode ocorrer a transferência de componentes de uma fase a outra e vice-versa. Esta transferência entre as fases ocorre até que o estado de equilíbrio seja atingido.

Uma mistura líquida pode, às vezes, ser separada pelo contato com um segundo solvente líquido. Os componentes da mistura são solúveis, em diferentes graus, no solvente. No caso ideal, o componente a ser extraído é solúvel no solvente, e os outros componentes são insolúveis. Então, o soluto é o único componente transferido da mistura inicial para a fase do solvente. Depois do contato entre a carga e o solvente, as duas fases líquidas imiscíveis e de diferentes densidades formadas são denominadas de extrato (a fase mais rica em solvente que acolhe o soluto) e refinado (a fase mais pobre em solvente de onde foi extraído o soluto). Removendo-se o solvente do extrato e do refinado obtém-se o produto extraído e o produto refinado. A esse processo damos o nome de extração.

Os critérios para a escolha do solvente para um processo indicado determinado de extração podem ser agrupados em classes, cada qual com sua importância relativa para cada processo. Estes critérios estão relacionados à:

Separabilidade do Solvente - O solvente deve ser capaz de provocar a formação de uma fase separada da fase rica em co-solvente, além de ser facilmente separável daquela fase. Cinco critérios estão relacionados a esta capacidade:

1. Solubilidade: o solvente ao ser adicionado à carga deve provocar a formação de duas fases. Solvente e soluto devem ser miscíveis, enquanto que solvente e co-solvente devem ser praticamente imiscíveis.
2. Densidade: a densidade do solvente deve ser bem diferente da densidade do co-solvente para que seja possível a separação das fases formadas, até mesmo por decantação (eliminando o uso de outros dispositivos de separação).
3. Tensão interfacial: as fases formadas pela adição do solvente se apresentam sob a forma contínua e dispersa. A fase dispersa, seja ela refinado ou extrato, deve apresentar elevada tensão interfacial, de forma a provocar o rápido coalescimento das gotas formadas.
4. Estabilidade e reatividade química: o solvente não deve reagir com as outras substâncias do sistema, nem deve ser quimicamente instável.
5. Viscosidade: a transferência de matéria é favorecida por baixas viscosidades (bombeamento turbulento).

Performance do Solvente - Considerando-se como performance a capacidade do solvente de extrair o soluto da carga, três fatores adquirem importância:

1. Coeficiente de distribuição do soluto nas duas fases: definido como a relação da concentração do soluto na fase extrato para a da fase refinado, este coeficiente indica a tendência de distribuição do soluto nestas fases. Se a relação for superior a 1, melhor será a recuperação do soluto pelo solvente.
2. Seletividade: traduz a capacidade de o solvente extrair o soluto sem extrair o co-solvente, sendo expressa pela relação entre os coeficientes de distribuição do soluto e do co-solvente. Se a relação for superior a 1, maior será a eficácia do solvente para a extração do soluto.

3. Capacidade: quantidade de solvente necessária para tratar a carga. Quanto menor for esta quantidade, melhor será a extração em termos de processo e de custo.

Aceitabilidade do Sistema - Entre os outros critérios que afetam a escolha do solvente, pois influem no custo do processo e na operação, temos:

1. Corrosividade: quanto menor for à corrosão provocada pelo solvente, menor será o custo operacional.
2. Pressão de vapor: quanto menor for a pressão de vapor, menor será a pressão de operação e menores serão as perdas de produto.
3. Inflamabilidade e toxicidade: quanto menos inflamável e tóxico for o solvente, menores serão os riscos associados à sua utilização.
4. Recuperabilidade: após extrair o soluto da carga, o solvente deve ser facilmente separado deste para ser reutilizado. Esta separação normalmente é feita por destilação (flash ou fracionada), exigindo adequada volatilidade relativa.
5. Custo e disponibilidade: fatores decisivos para a escolha de um solvente quando ocorrer mais de uma possibilidade de uso.

## **2.4 Principais Características Físico-químicas de Óleos Lubrificantes**

### **2.4.1 Viscosidade**

A viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento. É uma das mais importantes e evidentes propriedades dos fluidos. Sua influência é sentida em muitos aspectos de diferentes setores industriais: óleos, graxas, tintas, polímeros, etc. A viscosidade é fundamental em todos os estágios da indústria de lubrificantes, uma vez que ela possui caráter essencial em todos os aspectos da lubrificação (GUIMARÃES, 2006).



A viscosidade ( $\eta$ ) é definida como sendo a relação entre tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e grau de cisalhamento ( $S$ ), é por vezes denominada viscosidade dinâmica (absoluta), cuja unidade é o milipascal segundo (mPa.s) ou centipoise (cP) em homenagem a Poiseuille.

$$\eta = \frac{\tau}{S} \quad (1)$$

Na indústria de petróleo, é muito utilizada a viscosidade cinemática ( $\nu$ ) que é definida como sendo a relação entre a viscosidade absoluta ( $\eta$ ) e a massa específica ( $\rho$ ), cuja unidade é  $\text{mm}^2/\text{s}$  ou centistokes (cSt) em homenagem a George Stokes:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

Um lubrificante com viscosidade constante, independente do esforço cisalhante ou da taxa de cisalhamento é chamado de fluido newtoniano. Como exemplo, destaca-se alguns solventes, óleos básicos minerais, óleos básicos sintéticos e os óleos automotivos aditivados do tipo monograu. A maioria dos modernos óleos de motor é do tipo multigráu e não são newtonianos. A viscosidade de tais óleos diminui com o aumento na taxa de cisalhamento (CARRETEIRO & MOURA, 1998).

#### 2.4.2 Índice de Acidez

Medida da quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo e indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos resultantes do tratamento do óleo. O resultado é expresso em mg KOH/g (GUIMARÃES, 2006).

O índice de acidez é uma análise muito importante para o óleo lubrificante uma vez que elevada acidez o óleo ácido pode provocar corrosão do motor, ou deterioração do lubrificante. Com os resultados desse índice pode-se alertar dos danos que este pode causar nos automóveis se recuperado e posteriormente utilizado indevidamente (SILVA, 2010).

### 2.4.3 Cinzas

A quantidade de cinzas presentes no óleo pode ser resultante da presença de compostos metálicos no óleo ou solúveis em água, bem como de outros materiais tais como poeira e ferrugem, bem como partículas carbonáceas. O resultado é expresso em porcentagem (GUIMARÃES, 2006).

### 2.5 Aspectos econômicos na Reciclagem de Lubrificantes

A produção anual de óleos lubrificantes no Brasil é da ordem de 980.000 m<sup>3</sup> (ANP,2004) da qual 70 % representa o uso em motores de combustão interna. Cerca de 30% são consumidos nos próprios motores durante sua vida útil, re-refinando aproximadamente 140.000 m<sup>3</sup> por ano. O restante é queimado em fornos ou despejado na natureza provocando grande agressão ambiental. Nos manuais técnicos dos fabricantes de veículos, é considerado normal um consumo de até um litro de óleo a cada 1.000 km percorrido.

O óleo usado é o único derivado de petróleo capaz de ser reciclado e quando atinge o seu grau de degradação é trocado por óleo novo. Esta troca é realizada em garagens, postos de gasolina, oficinas mecânicas, lojas de troca de óleos, nas indústrias e nas instalações portuárias de reabastecimento de lubrificantes a embarcações. O CONAMA em combinação com a ANP, através de normas, regulamenta toda a atividade de re-refino, proibindo quaisquer outros usos que não seja a reciclagem.

O nível de regeneração atinge aproximadamente 20% do consumo nacional de lubrificantes automotivos, devido principalmente aos seguintes fatores: custo da coleta extremamente elevado, não só pelas distâncias continentais do Brasil como também ocasionado pelo desvio e desperdício do óleo usado, somado ao baixo rendimento do rerrefino que é da ordem de 60%. Os óleos rerrefinados são largamente usados na produção de novos lubrificantes, uma vez que, a sua qualidade é tão boa quanto aos dos óleos básicos de primeiro refino. Além da economia de divisas, aumenta a sua vida útil, evita a poluição ambiental e gera novos empregos (SINDIRREFINO, 2003).

## 2.6 Aspectos Ambientais na Reciclagem de Lubrificantes

O programa das Nações Unidas para o meio ambiente (UNEP) define tecnologia mais limpa, como sendo uma aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços, para incrementar a eficiência geral e reduzir os riscos às pessoas e ao meio ambiente. A produção mais limpa pode ser aplicada a qualquer tipo de processo industrial, aos produtos e aos diversos serviços disponíveis na sociedade.

Pelo exposto, é altamente relevante que essa matéria-prima seja regenerada através de uma tecnologia mais limpa, proporcionando proteção ao meio ambiente, evitando o desperdício e promovendo um uso inteligente dos recursos naturais.

A Associação Americana dos Engenheiros Lubrificantes (ASLE) assim define o re-refino dos óleos usados: “É o tratamento do óleo lubrificante usado em uma sequência de processos que remove todos os contaminantes, incluindo água, partículas sólidas, produtos de diluição, produtos de oxidação e os aditivos previamente incorporados ao óleo básico” (RALDENS et al, 1981).



### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

O solvente orgânico usado (butan-1-ol) foi fornecido pela Panreac. Os óleos lubrificantes são de base mineral e de classificação viscosidade: SAE 15W40 (multiviscoso) adquiridos no comércio local. Os óleos lubrificantes usados foram fornecidos por Postos de Combustíveis da Cidade de Picuí – PB. Foram recuperados óleos lubrificantes submetidos a uso por 5000 km e por 10000 km, em motor diesel de veículo modelo caminhonete.

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 Tratamento das Amostras

Antes do processo de recuperação, o óleo é tratado em um evaporador rotativo a 60°C sob vácuo (600 mmHg) para eliminar a água e os hidrocarbonetos leves. Muitos tipos de compostos encontrados nos óleos lubrificantes usados são indesejáveis para sua formulação e modificam seus parâmetros de solubilidade dos componentes do óleo no solvente. As propriedades químicas e físico-químicas dos óleos usados e dos óleos recuperados foram determinadas.

##### 3.2.2 Procedimento de Extração

Realizadas misturas de aproximadamente 30 g do óleo lubrificante usado e 90 g do solvente em proporções em massa de 3/1 solvente/óleo e misturas de 20 g do óleo lubrificante usado e 40 g do solvente em proporções em massa de 2/1 solvente/óleo, essas foram agitadas para obtenção de misturas adequadas. Em seguida, as misturas foram submetidas ao processo de centrifugação (Centribio/80-2B). Após centrifugação a 400 rpm por 10 min, o sedimento (aditivos, impurezas, partículas carbonáceas) foram separados da mistura solvente/óleo. O solvente foi separado da mistura solvente/óleo pelo processo de destilação usando um evaporador rotativo (QUIMIS). O rendimento da extração foi calculado em termos de massa do óleo lubrificante, expresso em gramas. A fase sedimentar será usada em outras pesquisas.



**Figura 1.** Evaporador rotativo utilizado no processo de reciclagem



**Figura 2.** Centrifuga utilizada no processo de reciclagem

O fluxograma ilustrado abaixo sintetiza os passos da recuperação dos óleos lubrificantes nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo. Que se inicia com o óleo usado (matéria prima) e passam pelas etapas de mistura, centrifugação e rota - evaporação, e se obtém o óleo recuperado e o solvente recuperado, que posteriormente serão analisados.

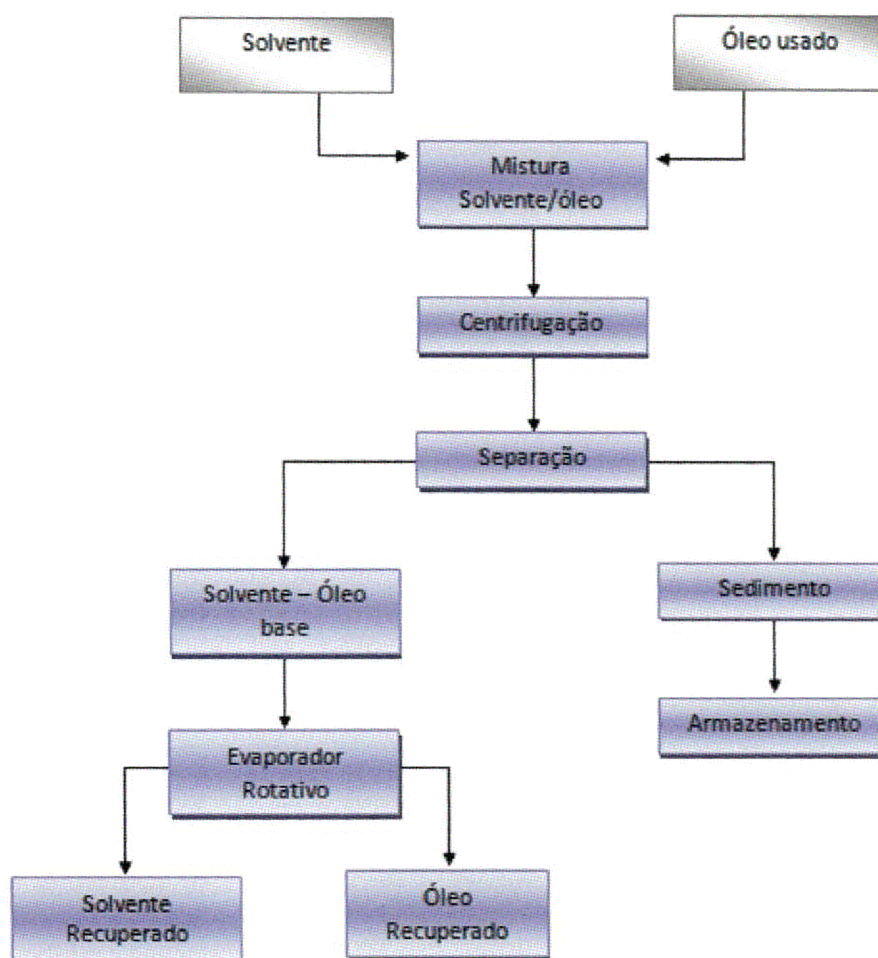


Figura 3. Fluxograma do processo de extração do óleo lubrificante básico.

### 3.2.3 Caracterização Físico-Química

#### 3.2.3.1 Densidade e Grau API

A densidade foi medida usando um densímetro digital marca Mettler Toledo, modelo DA-110M, usando a norma ASTM D4052 (<http://www.astm.org/Standards/D4052.htm>). A partir da densidade relativa será calculado o grau API e para estes resultados, utilizou-se a seguinte Equação:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{d} - 131,5$$

(1)

onde  $d$  é a densidade relativa do óleo. A classificação mais adotada, atualmente, é a do *American Petroleum Institute*– API, que classifica os óleos de base minerais de acordo com a sua densidade volumétrica ou com seu grau API. O Grau API é uma forma de expressar a densidade do petróleo, através de um índice adimensional. Quanto maior for a densidade do petróleo, menor será o seu grau API, ou mais pesado será o petróleo.

### 3.2.3.2 Índice de Acidez

Em um erlenmeyer de 250 ml previamente tarado, adicionou-se 2 g de óleo. Em seguida adicionou a mistura de 16.6 ml de éter e 8,3 ml de álcool (2+1) e agitou até completar dissolução da amostra. Logo após adicionou 2 gotas de fenolftaleína e 1 gota de KOH e titulou com hidróxido de potássio (KOH 0,1 mol, padrão) até o aparecimento de uma coloração rósea transparente, esta análise foi feita em triplicata.

Para calcular o índice de acidez, expressando o resultado em mg KOH/g de óleo, utilizou a seguinte equação:

$$\text{Índice de acidez (mg KOH/g Óleo)} = \frac{V \times M \times F \times 56,1}{P} \quad (2)$$

Em que: V = número de ml de solução de hidróxido de potássio gastos na titulação; M = normalidade da solução de hidróxido de potássio; P = número de gramas da amostra; F = fator da solução de hidróxido de potássio.

### 3.2.3.3 Cinzas

Colocou-se a cápsula de porcelana em uma mufla marca QUIMIS, a uma temperatura de 600°C, por 20 minutos. Em seguida, colocou em um dessecador para esfriar. Quando foi atingida a temperatura ambiente, adicionou 2,0 g de óleo e pesou. Logo após colocou o conjunto na mufla, também a temperatura de 600°C, por um período de 4 h. depois se colocou a amostra em dessecador para esfriar e pesou novamente.

Para a determinação de cinzas dos óleos, usou a seguinte equação:

Onde:

I.P. = índice de peróxido (mEq de peróxido/1.000g de amostra);

Va = volume (mL) da solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,01 mol/L gasto na titulação da amostra;

Vb = volume (mL) da solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,01 mol/L gasto na titulação da prova em branco;

C = concentração molar da solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> igual a 0,01 mol/L;

F = fator de correção da solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,01 mol/L;

m = massa da amostra (g).

### 3.2.3.6 Aparência

A aparência dos óleos foi analisada visualmente, comparando-se com a amostra de óleo novo.

### 3.2.3.7 Propriedades de Fluxo

O comportamento reológico das amostras foi determinado em um viscosímetro marca Brookfield, modelo LD DVII, com adaptador para pequenas amostras e *spindle* 31. As análises serão realizadas a temperatura de 25 °C que foi controlada usando banho de água com uma precisão de ±0,2°C.

A viscosidade cinemática será determinada em um viscosímetro do tipo ISL modelo TVB 445, na temperatura de 40 °C. Os ensaios seguirão a norma ASTM D 445 (ANAND *et al.*, 2010; <http://www.astm.org/Standards/D445.htm>).

O índice de viscosidade foi analisado obedecendo a ASTM D2270 (<http://www.astm.org/Standards/D2270.htm>), onde pode ser realizado o cálculo do índice de viscosidade a partir da viscosidade cinemática utilizando um software aprovado pela norma vigente.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados realizados dos parâmetros medidos para as amostras dos óleos usados a 5000 e 10000 km e de óleo estão listados na Tabela 1. Os resultados das análises realizados sobre as amostras serão comparados com as amostras recuperados nas suas distintas proporções.

**Tabela 1.** Resultados das análises realizadas sobre as amostras de óleos usados a 5000 e 10000 km e de óleo novo.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Usado a 5000 km</b>	<b>Usado a 10000 km</b>	<b>Óleo novo</b>	<b>Limites ANP</b>
<b>Aparência</b>	Escuro (preto)	Escuro (preto)	Límpida (marrom claro)	Límpida
<b>Índice de acidez total, mg KOH/g, Max.</b>	0, 61	0, 73	0, 04	0,05
<b>Cor</b>	-	-	-	4,5
<b>Viscosidade (cSt)</b>	67, 5	68, 9	60, 3	50 – 70
<b>Cinzas, % massa, Max.</b>	1, 34	1, 74	0, 003	0,02
<b>Densidade, g/cm<sup>3</sup></b>	0, 91	0, 95	0, 853	-
<b>Grau API</b>	23, 99	17, 45	34, 38	-
<b>Umidade</b>	1, 30	1, 46	0, 56	-
<b>Índice de peróxido</b>	0, 3	0, 5	0, 63	-

Analisando os valores para as amostras de óleos usados a 5000 e a 10000 km, do óleo novo e dos limites estabelecido pela ANP, observa-se que os resultados para as amostras dos óleos usados nas diferentes quilometragens estão todas acima dos estabelecidos pela ANP, logo, para o óleo novo estar dentro dos limites permitido. Os índices altos dos óleos usados tem consequência dos desgastes dos aditivos que eram presentes nos óleo quando era sem uso.

**Tabela 2.** Rendimentos das extrações através dos solventes butan-1-ol nas proporções 3/1 e 2/1 de solvente/óleo.

Amostras	Butan-1-ol
5000 km (3/1)	94,85 %
10000 km (3/1)	91,54 %
5000 km (2/1)	93,07 %
10000 km (2/1)	87,22 %

Os resultados dos rendimentos das extrações através do solvente butan-1-ol nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo foram bem satisfeitas, pois, 75 % das amostras foram acima de 90 % do rendimento e os 25 % das amostras também foram bem satisfatório por ter rendimento acima de 80 %, como se observa, na Tabela 2, todas as amostras nas distintas quilometragens tiveram rendimentos próximo de 90 %.

Os Resultados das densidades relativas e os valores de Grau API calculados a partir das densidades das amostras de óleos recuperados a 5000 e 10000 km nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo estão listados na Tabela 3. Determinaram-se os índices de acordo com a norma ASTM D1510.

**Tabela 3.** Densidade e Grau API, dos óleos recuperados a 5000 e 10000 km nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo, solvente usado butan-1-ol.

Amostras	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Grau API
5000 km (3/1)	0,864	32,3
10000 km (3/1)	0,852	34,6
5000 km (2/1)	0,877	29,8
10000 km (2/1)	0,847	35,5

Com os resultados encontrados das densidades relativas e grau API pode-se verificar que os óleos que resultaram da recuperação usando solvente polar butan-1-ol estão dentro do padrão com base no óleo lubrificante sem uso, logo que são óleos parafínico neutro médio.

Os resultados para teores de cinzas das amostras de óleos recuperados a 5000 e 10000 km nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo estão listados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Teores de cinza em relação à proporção de solvente/óleo e quilometragem.

Amostras	Cinzas
5000 km (3/1)	0,015
10000 km (3/1)	0,040
5000 km (2/1)	0,225
10000 km (2/1)	0,408

Pode-se observar que os teores de cinzas nos óleos recuperados (Tabela 4) foram bem abaixo do que dos óleos usados nas distintas quilometragens, observando-se que houve uma diminuição significativa, caracterizando que o processo de recuperação com solvente polar butan-1-ol foi de eficiência na remoção de compostos metálicos solúveis em água ou óleo bem como de outros materiais tais como poeira e ferrugem e contaminantes em geral.

Os resultados encontrados para Índice de Acidez das amostras recuperadas em diferentes proporções de solvente/óleo estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Índice de Acidez das amostras dos óleos recuperados a 5000 e 10000 km nas proporções de 3/1 e 2/1 de solvente/óleo, solvente usado butan-1-ol.

Amostras	Índice de Acidez
5000 km (3/1)	0,09 ( $\pm 0,01$ )
10000 km (3/1)	0,08 ( $\pm 0,00$ )
5000 km (2/1)	0,11 ( $\pm 0,02$ )
10000 km (2/1)	0,12 ( $\pm 0,01$ )

Os resultados obtidos para índice de acidez das amostras refinadas estão dentro dos padrões permitidos pela ANP, segundo a portaria nº 130 de 1999 da ANP. Logo os valores que são significativos por estarem envolvidos com o número de substâncias ácidas presentes nos óleos a acidez se for aumentada agravará a oxidação de partes internas do motor.

Observa-se que os valores das amostras recuperadas tiveram uma diminuição na quantidade de substâncias ácidas presentes nas amostras usadas que estão ilustradas na Tabela 1.

Na Tabela 6 temos os resultados obtidos pelo aspecto visual das amostras recuperadas através do solvente polar butan-1-ol em distintas proporções de solvente/óleo.

**Tabela 6.** Aspecto visual das amostras de óleo lubrificante recuperado através do solvente polar butan-1-ol.

<b>Amostras</b>	<b>Aparência</b>
<b>5000 km (3/1)</b>	Escuro/opaco
<b>10000 km (3/1)</b>	Escuro/opaco
<b>5000 km (2/1)</b>	Escuro/opaco
<b>10000 km (2/1)</b>	Escuro/opaco

No processo de extração de óleos lubrificantes não se tem etapas de clarificação, em todas as amostras recuperadas tiveram um aspecto escuro e opaco, deferindo do óleo sem uso (límpido). Apesar de ter coloração escura, fato este que não é prioritário em se tratando de óleos lubrificantes, pois o que interessa é a eficiência em lubrificar. A aparência normalmente é utilizada para padronizar um produto ou diferenciar de um fabricante de outro. Quando se observa óleos límpidos, geralmente o mais claro menor viscosidade.

Na tabela abaixo estar ilustrado o teor de umidade das amostras de óleos recuperados com solvente polar butan-1-ol.

**Tabela 7.** Teor de umidade das amostras de óleos recuperados com solvente polar butan-1-ol.

<b>Amostras</b>	<b>Umidade</b>
<b>5000 km (3/1)</b>	0, 07
<b>10000 km (3/1)</b>	0, 08
<b>5000 km (2/1)</b>	0, 02
<b>10000 km (2/1)</b>	0, 03

As máquinas que possui sistemas de óleos lubrificantes devem ter o monitoramento do teor de umidade, pois a água abaixa o rendimento do óleo lubrificante. O alto teor de água se tem um aumento de risco de corrosão, superaquecimento, mau funcionamento da máquina e outros

UFMG / BIBLIOTECA

problemas dispendiosos. Observa-se que os teores de umidade dos óleos recuperados nas distintas quilometragens e proporções foram bem abaixo do óleo usado.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados dos índices de peróxidos dos óleos recuperados.

**Tabela 8.** Índices de peróxidos das amostras de óleos recuperados com solvente polar butan-1-ol.

Amostras	Peróxido
5000 km (3/1)	0,09 ( $\pm 0,01$ )
10000 km (3/1)	0,05 ( $\pm 0,01$ )
5000 km (2/1)	0,04 ( $\pm 0,01$ )
10000 km (2/1)	0,03 ( $\pm 0,01$ )

Dentre os métodos para verificar os níveis de oxidação está o Índice de Peróxido, que é uma medida do oxigênio reativo em termos de miliequivalentes de oxigênio por 1000 g de gordura, todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio, devido sua ação fortemente oxidante.

O Índice de Peróxido está relacionado com a degradação oxidativa dos óleos, se observa que os índices de peróxidos do óleo recuperado foram bem abaixo do óleo usado.

## 5 CONCLUSÃO

O processo de reciclagem de óleos lubrificantes usados em motores diesel usando solvente polar butan-1-ol nas proporções de solvente/óleo de 2/1 e 3/1 mostrou-se com um bom desempenho, de acordo com os estudos e comparações das características físico-químicas dos óleos: novo, usados e reciclagem.

O processo de reciclagem usando um solvente orgânico polar mostrou-se viável na extração do lubrificante, pois, no processo pode-se recuperar o solvente que poderá ser reutilizado em novas extrações.

O solvente usado na recuperação dos óleos bases nas proporções de solvente/óleo: 2/1 e 3/1 foi de grande satisfação, os rendimentos foram acima de 85%. Os óleos recuperados apresentaram características que mostram-se adequados aos requisitos de uso para um óleo básico reciclado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. A.; Estudo da recuperação de óleos lubrificantes minerais usados utilizando solventes polares. 2011. 83 f. **Tese (mestrado em engenharia química)** – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

AL-ZAHRANI, S. M.; PUTRA, M. D. Used lubricating oil regeneration by various solvent extraction techniques. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19(2): p. 536-541, 2013.

ANAND, K.; RANJAN, A.; MEHTA, P.S. Estimating the viscosity of vegetable oil and biodiesel fuels. *Energy & Fuels* 24: p. 664-672, 2010.

ASTM D1500. *Standard test method for ASTM color of petroleum products (ASTM Color Scale)*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D1500.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2013.

ASTM D2270. *Standard practice for calculating viscosity index from kinematic viscosity at 40 and 100°C*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D2270.htm>. Acessado em 07 de Fevereiro de 2012.

ASTM D2500. *Standard test method for cloud point of petroleum products*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D2500.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2013.

ASTM D4052. *Standard test method for density, relative density, and API gravity of liquids by digital density meter*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D4052.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2012.

ASTM D445. *Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and calculation of dynamic viscosity)*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D445.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2013.

ASTM D664. *Standard test method for acid number of petroleum products by potentiometric titration*. Disponível em <http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D664-01.htm>. Acessado em 07 de Fevereiro de 2013.

ASTM D6371 - 05(2010). *Standard test method for cold filter plugging point of diesel and heating fuels*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D6371.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2013.

ASTM D482. *Standard test method for ash from petroleum products*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D482.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2013.

ASTM D92 - 12a. *Standard test method for flash and fire points by Cleveland open cup teste*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D92.htm>. Acessado em 07 de Fevereiro de 2013.

ASTM D97. *Standard test method for pour point of petroleum products*. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D97.htm>. Acessado em 08 de Fevereiro de 2013.

AZEVEDO, B. A.; CARVALHO, L. H.; FONSECA, V. M.; Efeito da Degradação em Motor Automotivo nas Propriedades Termogravimétricas de Óleos Lubrificantes Minerais e Sintéticos. *3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, Salvador, 2005.

BRESSANI, F. A.; SILVA, H. O.; NÓBREGA, J. A.; COSTA, L. M.; NOGUEIRA, A. R.; Digestão de Óleo Lubrificante Encapsulado em Forno de Microondas com Radiação Focalizada por Adição de Amostra ao Reagente Pré-aquecido. *Química Nova*, Vol. 29, No. 6, p. 1210-1214, 2006.

CARRETEIRO, R.P. & MOURA, C.R.S. *Lubrificantes e Lubrificação*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Makron Books, 1998. 493p.

CERQUEIRA, C. P. Estudo do reaproveitamento energético de óleos lubrificantes usados. *Dissertação (Mestrado em regulação da indústria de energia)*, Universidade Salvador, Salvador, 2004.

DENEEN, D. *Machin Design*, 66 (18) 130 (1994).

GUAN, L.; FENG, X. L.; XIONG, G.; XIE, J. A. Application of dielectric spectroscopy for engine lubricating oil degradation monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical* 168(1): p. 22-29, 2011.

GUIA BÁSICO; Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados. Associação de Proteção ao Meio Ambiente de Cia norte (APROMAC). Ed. Gráfica SENAI/SP. 2008.

GUIMARÃES, J. Rerrefino de Óleos Lubrificantes de Motores de Combustão Interna Utilizando o Processo de Ultrafiltração e Adsorção. 2006. *Dissertação* – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

HAMAD, A.; AL-ZUBAIDY, E.; FAYED, M.E. Used lubricating oil recycling using hydrocarbon solvents. *Journal of Environmental Management* 74(2): p. 153-159, 2005.

HSU, S. M. Nano-lubrication: concept and design. *Tribology International*, 37, p. 537-545, 2004.

KANOKKANTAPONG, V.; KIATKITTIPONG, W.; PANYAPINYOPOL, B.; WONGSUCHOTO, P.; PAVASANT, P. Used lubricating oil management options based on life cycle thinking. *Resources, Conservation and Recycling* 53(5): p. 294-299, 2009.

LAM, S. S.; RUSSELL, A. D.; CHASE, H. A. Microwave pyrolysis, a novel process for recycling waste automotive engine oil. *Energy* 35(7): p. 2985-2991, 2010.

LIMA, L. M. R.; SANTOS, J. C. O.; SOUZA, A. G. Thermal and kinetic study of lubricating lithium greases. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 2(4): p. 718-721, 2007.



LORENZETT, D. B.; ROSSATO, M. V. A gestão de resíduos em postos de abastecimento de combustíveis. *Revista Gestão Industrial* 6(2): p. 110-125, 2010.

MAJANO, G.; MINTOVA, S. Mineral oil regeneration using selective molecular sieves as sorbents. *Chemosphere* 78(5): p. 591-599, 2010.

MENZEL, K.; LINDNER, J.; NIRCHL, H. Removal of magnetite particles and lubricant contamination from viscous oil by High-Gradient Magnetic Separation technique. *Separation and Purification Technology* 92: p. 122-127, 2012.

MINJIE, X.; WEIGUO, X.; AILIAN, L.; JIANMING, L. Application of PDSC on oxidation research of lubricants. *Synthetic Lubricants* 1: p. 18-26, 2009.

PARK, S. W.; LEE, J. Y.; YANG, J. S.; KIM, K. J.; BAEK, K. Electrokinetic remediation of contaminated soil with waste-lubricant oils and zinc. *Journal of Hazardous Materials* 169(1-3): p. 1168-1176, 2009.

RALDENS, E.; ASSIS, V. P.; ORNELAS, R.B.. Motivo para reflexão; Atualidades. Conselho Nacional de Petróleo; Ano XIII, Número 78, p. 16-27, 1981.

RINCÓN, J.; CAÑIZARES, P.; GRACÍA, M. T. Regeneration of used lubricant oil by ethane extraction. *The Journal of Supercritical Fluids* 39(3): 315-320, 2007.

RUPRECHT, V. C. *Lubrificação, Fricção e Adesão*. Disponível em: [www.uergs.edu.br](http://www.uergs.edu.br), Acessado em 16 de Janeiro de 2011.

SILVA, E. P.; SILVA, H. M. G.; ALMEIDA, R. S.; MONTEIRO, E. A.; ROCHA, T. M. Determinação do Índice de Acidez em Óleo de Milho para Produção de Biodiesel. *CONNEPI*, 2010.

SILVEIRA, E. L. C.; CALAND, L. B.; MOURA, C. V. R.; MOURA, E. M. Determinação de contaminantes em óleos lubrificantes usados e em esgotos contaminados por esses lubrificantes. *Química Nova*, 29(6): p. 1193-1201, 2006.

SILVEIRA, E. L. C.; COELHO, R. C.; MOITA NETO, J. M.; MOURA, C. V. R.; MOURA, E. M. Determinação de metais em óleos lubrificantes provenientes de motores de ônibus urbano utilizando a FAAS. *Química Nova*, 33(9): p. 1863-1869, 2010.

SINDIRREFINO (SINDICATO NACIONAL DE RERREFINO). Centro de Informação. São Paulo. Disponível em: < <http://www.sindirrefino.org.br/> >. Acesso em: 06 de Janeiro de 2015.

TSAI, W. T. An analysis of used lubricant recycling, energy utilization and its environmental benefit in Taiwan. *Energy* 36(7): p. 4333-4338, 2011.