

---

## Índice

---

<b>Introdução</b> .....	1
1.1. <i>Ideia e Justificação do Trabalho</i> .....	1
1.2. <i>Metodologia Aplicada</i> .....	2
1.3. <i>Organização do trabalho</i> .....	2
<b>Lubrificantes</b> .....	4
2.1. <i>Generalidades</i> .....	4
2.2. <i>Óleos Lubrificantes</i> .....	4
2.2.1. <i>Classificação de óleos lubrificantes</i> .....	6
2.2.2. <i>Influência da Composição dos óleos nas suas propriedades</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Óleos destilados e residuais</i> .....	8
2.2.2.2. <i>Limitações actuais dos óleos minerais</i> .....	8
2.2.2.3. <i>Aditivos para óleos lubrificantes</i> .....	9
2.3. <i>Massas lubrificantes</i> .....	10
2.3.1. <i>Classificação de massas</i> .....	10
2.3.2. <i>Consistência das massas</i> .....	12
2.3.3. <i>Emprego de aditivos</i> .....	12
<b>Consumo de lubrificantes em Moçambique</b> .....	13
3.1. <i>Introdução</i> .....	13
3.2. <i>Evolução do consumo de Lubrificantes em Moçambique</i> .....	13
<b>Óleos lubrificantes usados</b> .....	16
4.1. <i>Introdução</i> .....	16
4.2. <i>Classificação dos óleos usados</i> .....	16
4.3. <i>Situação actual de gestão dos óleos usados</i> .....	18

<b>Impacto ambiental dos óleos usados</b> .....	21
5.1. <i>Generalidades</i> .....	21
5.1.1 <i>Consequências da poluição ambiental</i> .....	22
5.2. <i>Impacto ambiental dos óleos usados</i> .....	23
<b>Tratamento dos óleos lubrificantes usados</b> .....	26
6.1. <i>Generalidades</i> .....	26
6.2. <i>Trabalho Experimental</i> .....	26
6.3. <i>Tratamentos dos óleos lubrificantes usados</i> .....	27
6.3.1. <i>Reciclagem de óleo lubrificante usado</i> .....	28
6.3.1.1. <i>Reciclagem do óleo usado via regeneração</i> .....	28
6.3.1.2. <i>Reciclagem do óleo usado via reuso</i> .....	45
6.3.2. <i>Incineração de óleos usados</i> .....	46
6.3.2.1. <i>Generalidades</i> .....	46
6.3.2.2. <i>Tratamento de gases</i> .....	48
6.3.3. <i>Deposição de óleos usados em aterros sanitários</i> .....	49
<b>Desenvolvimento de um aplicativo informático</b> .....	50
7.1. <i>Introdução</i> .....	50
7.2. <i>Aplicativo informático</i> .....	51
<b>Caso de estudo aplicado ao mercado nacional</b> .....	59
8.1. <i>Introdução</i> .....	59
8.2. <i>Estudo aplicado ao mercado nacional</i> .....	59
<b>Conclusões e recomendações</b> .....	65
9.1. <i>Conclusões</i> .....	65
9.2. <i>Recomendações</i> .....	66
<b>Anexos</b> .....	> 67

# Capítulo I

## Introdução

### *1.1. Ideia e justificação do trabalho*

Nos dias de hoje, falar de ambiente é em simultâneo questionar sobre a vida das futuras gerações de todas as espécies de seres vivos. Actualmente, são notáveis as alterações climáticas em várias regiões, países e estados. Dentre vários, o efeito de estufa, a diminuição da camada do ozono, as alterações na biodiversidade representam alguns dos factores que dia após dia colocam em causa a continuidade e sobrevivência da humanidade.

O desenvolvimento de qualquer região ou estado encontra-se directamente relacionado com a produção de bens e serviços de natureza diversa (baseados em produtos químicos), com diferentes propriedades e utilidades. Muitas vezes, as diferentes propriedades que estes produtos adquirem durante ou após a sua utilização, podem ser prejudiciais ao meio ambiente quando, sobre eles, não forem aplicados mecanismos para uma gestão consciente e adequada.

Os óleos lubrificantes são produtos que durante a sua utilização em indústrias, sistemas hidráulicos bem como em automóveis contribuem significativamente para o crescimento da economia do país, permitindo um óptimo desempenho e durabilidade dos equipamentos em que são aplicados. Como consequência da sua utilização, este material incorpora na sua composição agentes prejudiciais para o meio ambiente, normalmente partículas de elementos químicos pesados, tóxicos como por exemplo: *Chumbo, Cádmio, Zinco, Cobre, e outros*, que são naturalmente incorporados pelo processo de desgaste das peças. Coloca-se então, a questão de tratamento dos óleos lubrificantes usados para a remoção destas impurezas tóxicas, por forma a minimizar os seus efeitos sobre o meio ambiente.

Foi neste âmbito em que a *Shell Moçambique*, uma empresa licenciada na venda de produtos petrolíferos, ciente da importância de um ambiente saudável, manifestou o interesse em promover estudos sobre análise da situação actual da gestão de óleos lubrificantes usados, com vista a encontrar alternativas de tratamento dos mesmos, que se adequem a preservação e conservação do meio ambiente.

O presente Trabalho de Licenciatura tem como objectivo, realizar um estudo comparativo de tecnologias de gestão e tratamento de óleos lubrificantes usados mais adequadas à conservação do meio ambiente em Moçambique. Irá propôr alternativas que permitam impulsionar uma maior cobertura, de forma a apurar a maneira mais simples de maximizar a recolha e o posterior reaproveitamento destes recursos com custos relativamente baixos e de forma sustentável.

### ***1.2. Metodologia aplicada***

Para a realização do trabalho, foi realizado o estudo do estado da arte em relação aos conceitos sobre óleos lubrificantes novos e usados bem como as próprias tecnologias de produção e de reciclagem. Foi feita a recolha de dados de volumes das vendas dos óleos lubrificantes, dados recolhidos no Instituto Nacional de Estatística (INE) e na Direcção Nacional de Energia (DNE). Para a determinação do teor de impurezas metálicas foram realizadas experiências no Laboratório de Testes de Produtos Petrolíferos da BP Moçambique. Os estudos do estado de arte sobre a gestão de óleos lubrificantes usados, foram feitos em parte com recurso à Internet. Foi produzido um aplicativo informático que contem uma boa interface com o utilizador, visando o cálculo da quantidade de contaminantes produzidos durante a reciclagem dos óleos lubrificantes usados. Com vista a validar o programa informático foi analisado um caso de estudo que consistiu no tratamento de uma quantidade de óleo vendida por uma gasolinera nacional .

### ***1.3. Organização do trabalho***

O trabalho comporta dez capítulos, sendo os dois primeiros relativos à abordagem geral das propriedades e características de óleos e massas lubrificantes. O consumo de lubrificantes em Moçambique é referido no Capítulo três. O Capítulo quatro trata das propriedades dos óleos lubrificantes usados e da situação actual de gestão dos mesmos. O quinto capítulo aborda o impacto ambiental dos óleos lubrificantes usados, enquanto os tratamentos dos mesmos são propostos no Capítulo seis. O Capítulo sete reporta o desenvolvimento do aplicativo e o oitavo capítulo apresenta um caso de estudo aplicado ao mercado nacional. As conclusões e recomendações compõem o Capítulo nove e os anexos constituem o décimo capítulo, onde se

encontram apresentadas figuras que mostram a situação actual da gestão de óleos lubrificantes usados em Moçambique, e diversa informação adicional.

## Capítulo II

### Lubrificantes

#### 2.1. Generalidades

Lubrificantes são produtos sintéticos ou não, compostos de óleos básicos (hidrocarbonetos saturados e aromáticos) que são produzidos a partir de petróleos especiais e aditivos de forma a conferir as propriedades necessárias para a sua utilização como lubrificantes.

Lubrificante é qualquer substância que possa ser introduzida na folga entre as superfícies de peças com movimento relativo e que, separando-as, facilite o seu movimento, reduza ao mínimo, o desgaste das peças em causa e as perdas de potência, podendo desta forma, proporcionar um aumento de rendimento e da vida útil do equipamento. Um lubrificante pode ser:

- *Gasoso*, o caso de ar;
- *Líquido*, por exemplo, óleo para motores, para transmissões (caixas de velocidades e diferenciais), óleo para travões, óleo para sistemas hidráulicos, óleos isoladores para sistemas eléctricos;
- *Plástico*, o caso de massas lubrificantes;
- *Sólido*, como é caso da grafite e películas que se formam pela reacção química de aditivos contidos nos óleos com o metal a lubrificar;

#### 2.2. Óleos Lubrificantes

A maior parte dos combustíveis usados para a produção de energia são obtidos do petróleo, no qual cerca de 2% é representado por óleos lubrificantes. O petróleo tem sua origem em pequenos seres vivos, vegetais e animais, da orla marítima, que foram soterrados entre 10 a 300 milhões de anos atrás. Pela acção de bactérias, pressão, calor e do tempo, esses seres foram transformados em petróleo. Os principais compostos nele encontrados são dentre vários, os hidrocarbonetos (constituindo 50 a 98% do petróleo), compostos oxigenados, compostos sulfurados e os nitrogenados. [Ricardo Feltre, 1974]

De entre vários tipos de lubrificantes anteriormente mencionados, os de aplicação mais frequente são os líquidos e os plásticos, visto que os sólidos, gerados sobre as superfícies pela reacção química dos metais com alguns aditivos contidos nos lubrificantes, empregam-se em casos especiais de órgãos muito carregados, por exemplo em casos de engrenagens, e, a este tipo de lubrificantes são designados por lubrificantes do tipo “extrema pressão”.

Para a caracterização física de óleos lubrificantes, os parâmetros mais importantes, segundo várias entidades oficiais ligadas à indústria dos petróleos como, por exemplo a ASTM<sup>1</sup>, são:

- *Viscosidade*, que dá uma ideia da espessura do produto e mede a resistência ao movimento relativo das moléculas do lubrificante;
- *Índice de viscosidade*, parâmetro que permite conhecer a variação relativa da viscosidade com a temperatura;
- *Densidade relativa*, permite estabelecer a relação entre o peso de um determinado volume de óleo e o peso de igual volume da água;
- *Densidade API<sup>2</sup>*, permite fazer a comparação indirecta entre os pesos do óleo e da água;
- *Ponto de inflamação*, representa a temperatura mais baixa a que o óleo liberta vapores que podem ser inflamados por contacto com uma chama, e permite também ter uma ideia da volatilidade do mesmo;
- *Ponto de combustão*, é a temperatura mais baixa a que os gases, libertados pelo óleo e inflamados por uma chama, continuam a arder, mesmo depois de esta ser afastada;
- *Ponto de congelação*, chama-se assim a temperatura mais baixa a que o óleo ainda corre devido ao seu próprio peso;
- *Cor*, este parâmetro determina-se em comparação com as tonalidades de escalas padrão;

Por outro lado, podem ser caracterizados os mesmos óleos usando outros parâmetros, e esta caracterização é feita de acordo com:

- *A sua aplicação mais importante* - óleos para corte de metais, para motores a gasolina ou diesel, óleos para transmissões de viaturas automóveis (caixas de velocidades e diferenciais);

---

<sup>1</sup> AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103

<sup>2</sup> Densidade segundo a “American Petroleum Institute”

- *Os aditivos que contêm* – óleos detergentes, óleos do tipo extrema pressão, óleos compostos (os que contêm óleos fixos animais e vegetais);
- *As vantagens que oferecem* – óleos resistentes à oxidação, óleos com propriedades anti-ferrugem;

### 2.2.1. Classificação de Óleos Lubrificantes

As diferenças de concepção entre os vários equipamentos, motores e transmissões de viaturas automóveis, aliadas às diferenças de temperatura ambiental a que o material fica sujeito e às suas condições mecânicas, obrigam a utilizar óleos com viscosidades diferentes, adequadas para cada caso.

A fim de estabelecer uma forma de entendimento entre os construtores e os utilizadores do material, por um lado, e os fornecedores de óleos lubrificantes, por outro, a SAE<sup>1</sup> criou duas classificações de óleos baseadas exclusivamente na viscosidade a uma determinada temperatura (0<sup>o</sup> F ou 210<sup>o</sup> F, conforme os casos). Refere-se uma aos óleos para motores de combustão interna e outra aos óleos para transmissões, como se mostram nas tabelas seguintes, os limites estabelecidos para as viscosidades de cada grau SAE.

#### Óleos para Motores

Tabela 2.1 - Classificação dos óleos lubrificantes, segundo a SAE

Grau Ou N <sup>o</sup> SAE	Unidades	Amplitude das viscosidades (°C)			
		A 0 <sup>o</sup> F (- 17,8 °C)		A 210 <sup>o</sup> F (99 °C)	
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo
5W	Centistokes Segundos Saybolt Universais		1.300 6.000		
10W	Centistokes Segundos Saybolt Universais	1.300 6.000	2.600 12.000		
20W	Centistokes Segundos Saybolt Universais	2.600 12.000	10.500 48.000		
20	Centistokes Segundos Saybolt Universais			5,7 45	< 9,6 58
30	Centistokes Segundos Saybolt Universais			9,6 58	< 12,9 70

<sup>1</sup> Society of Automotive Engineers



40	Centistokes Segundos Saybolt Universais			12,9 70	< 16,8 85
50	Centistokes Segundos Saybolt Universais			16,8 85	< 22,7 110

Fonte: Princípios de lubrificação de viaturas automóveis, 2ª edição da Mobil, 1967

### Lubrificantes para caixas de velocidade e diferenciais

Tabela 2.2 – Classificação dos óleos lubrificantes, segundo a SAE

Grau SAE	Limites de viscosidade, Saybolt Universal (SSU)			
	a 0 <sup>o</sup> F (aproximadamente - 18 <sup>o</sup> C)		a 210 <sup>o</sup> F (aproximadamente 99 <sup>o</sup> C)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
75		~ 15.000		
80	15.000 (a)			
90			75	120 (b)
140			120	200
250			200	

(a) A viscosidade a 0<sup>o</sup>F pode ser inferior ao limite indicado desde que a 210<sup>o</sup>F não seja inferior a 48 SSU.

(b) A viscosidade a 210<sup>o</sup>F pode exceder o limite indicado desde que a 0<sup>o</sup>F não seja superior a 750.000 SSU

Fonte: Princípios de lubrificação de viaturas automóveis, 2ª edição da Mobil, 1967

## 2.2.2. Influência da Composição dos Óleos nas Suas Propriedades

### 2.2.2.1. Óleos destilados e residuais

Quando se procede à segunda destilação, sob vácuo parcial, das fracções mais pesadas obtidas na destilação à pressão atmosférica dos petróleos brutos destinadas a preparação de óleos lubrificantes, os seus constituintes mais leves volatilizam-se, condensam-se e em seguida, a várias alturas da torre, são recolhidos. Estes produtos são conhecidos por “destilados” ou por “neutrals”. As fracções mais pesadas não destilam às temperaturas de funcionamento das torres e são recolhidas no fundo, e estas recebem o nome de produtos residuais ou “bottoms”.

Os óleos do tipo corrente para a lubrificação de motores de combustão interna são, em geral, constituídos por misturas de produtos destilados e residuais, em proporções diferentes, de acordo com a viscosidade final pretendida. Dado que os componentes residuais dos óleos

lubrificantes têm a tendência de formar mais depósitos carbonosos nas câmaras de combustão dos motores do que os destilados, o emprego dos óleos constituídos unicamente por 'neutrals' tem como principal vantagem a possibilidade de alargar consideravelmente os períodos de descarbonização dos motores em que são utilizados.

#### **2.2.2.2. Limitações actuais dos óleos minerais**

Nas últimas décadas, o desenvolvimento dos motores de combustão interna e, de uma forma geral, de todos os equipamentos, tem imposto condições de trabalho cada vez mais árduas aos lubrificantes necessários para o seu funcionamento. Hoje em dia exigem-se lubrificantes que possam desempenhar a sua função em condições extremas de temperatura, pressão e velocidade, para além dos lubrificantes submetidos a tais condições de serviço, terem de oferecer uma duração útil várias vezes maior do que os óleos que eram utilizados, por exemplo, nas velhas chumaceiras de anel das transmissões, tão generalizadas nas fábricas dos velhos tempos.

Apesar do desenvolvimento tecnológico da refinação dos petróleos, foi fácil reconhecer-se que os óleos minerais puros, qualquer que fosse o processo de refinação seguido, não podiam, por si sós, possuir certas qualidades actualmente requeridas, ou possuíam-nas, apenas, em grau suficiente, daí os produtores de lubrificantes verem-se obrigados ao recurso de incorporação nos seus óleos de variadíssimas substâncias correntemente chamadas de aditivos, com vista aos óleos conferirem as qualidades desejadas.

#### **2.2.2.3. Aditivos para óleos lubrificantes**

Pode-se dizer que todos os óleos de primeira qualidade empregues, hoje em dia, na lubrificação de veículos automóveis contêm aditivos. Estes aditivos têm por fim melhorar as propriedades naturais úteis dos óleos minerais ou conferir-lhes características que eles intrinsecamente não possuem. As características mais importantes, melhoradas ou conferidas pela incorporação de aditivos são:

- *Índice de viscosidade elevado*, para que os óleos não se tornem demasiado viscosos quando frios nem muito fluídos às altas temperaturas existentes em alguns órgãos dos motores em funcionamento.

- *Estabilidade química e resistência a oxidação*, para se aumentar a vida útil dos óleos, reduzindo a formação de resíduos e de produtos corrosivos;
- *Baixo ponto de congelação*, que facilita a circulação do óleo lubrificante à temperatura ambiente durante os meses frios do ano;
- *Detergência elevada*, que tem como finalidade evitar a acumulação de depósitos no interior dos motores, impedindo a formação de partículas que pelas suas dimensões e, conseqüentemente, peso, precipitem e se depositem nos pontos onde a velocidade do óleo em circulação é menor. Por outro lado, em virtude da sua natureza básica, estes aditivos contribuem para a neutralização dos produtos ácidos formados durante a combustão, que podem provocar a corrosão das superfícies metálicas mais expostas – segmentos e cilindros – e, assim, acelerar o desgaste destas peças.
- *Pequena tendência para a formação de espuma*, que permite reduzir ao mínimo a existência permanente de espuma na superfície livre do óleo no cárter, impedindo o funcionamento eficiente das bombas de circulação do lubrificante e em casos extremos, ocasionar derrames.
- *Protecção contra o desgaste*, tem como objectivo impedir o contacto directo e o conseqüente desgaste das superfícies metálicas, quando não existe entre elas uma película lubrificante adequada, o que sucede quando a quantidade de óleo for insuficiente, a velocidade das superfícies ou a viscosidade do óleo demasiado baixas, ou ainda, quando a pressão entre as peças é excessiva;
- *Protecção contra ferrugem*, permite a redução da velocidade de enferrujamento das peças por efeito de humidade, em especial durante paragens prolongadas;
- *Redução do atrito*, tem como função manter o coeficiente de atrito metálico dentro dos valores aceitáveis, durante os períodos em que a lubrificação não se efectua em condições perfeitas, como se referiu ao tratar da protecção contra o desgaste.

### **2.3. Massas Lubrificantes**

Massas lubrificantes são produtos com uma percentagem elevada de “bottons”, o que os permite ter uma consistência superior a dos óleos lubrificantes. A sua aplicação é tal como a dos óleos diferindo apenas nos tipos de estruturas em que são empregues.

#### **2.3.1. Classificação de massas**

Uma das formas para classificação das massas lubrificantes baseia-se no tipo da substância utilizada para lhes dar consistência, e que, nos casos mais correntes, é um sabão. Esta classificação tem maior importância prática, dado que o tipo de sabão, principalmente a sua base metálica, tem influência afectiva sobre as suas propriedades e, portanto, sobre o campo de aplicação das mesmas.

No entanto, é importante ter em conta que as qualidades finais das massas são muito influenciadas por outros factores, dentre os quais sobressaem o tipo de óleo e o processo de fabrico, além dos aditivos e outras substâncias como a grafite, o bissulfureto de molibdénio, que lhes podem ser incorporados. Assim, se obtêm produtos com propriedades nitidamente distintas das massas vulgares, ainda que com a mesma base, como assegurar se indicam:

- *Sabões de alumínio* – Dão massas macias, filantes e resistentes à acção da água. Possuem uma estrutura com estabilidade aceitável e podem ser utilizadas até cerca de 70<sup>0</sup> C. Aplicam-se com facilidade por meio de bombas, em rolamentos de baixa velocidade e em “chassis” de automóveis.
- *Sabões de cálcio* - As massas com esta base têm aspecto gorduroso, semelhante ao da manteiga. Possuem estrutura bastante estável em serviço até cerca de 77<sup>0</sup> C, e são resistentes a acção da água. Podem ser utilizadas na lubrificação de “chassis”, bombas de água e outras chumaceiras lisas de material automóvel.
- *Sabões de sódio* – Produzem massas normalmente fibrosas. Não resistem a acção da água, mas podem ser utilizadas, sem alterações da sua estrutura, até cerca de 150<sup>0</sup> C. São aplicáveis na lubrificação de chumaceiras de rolamentos, cubos de rodas, juntas universais e outros pontos em que se atingem, em serviço, temperaturas elevadas.

- *Sabões de lítio* – Dão massas gordurosas, resistentes à água e com estrutura estável, mesmo quando submetidas a uma larga gama de temperaturas (até cerca de 150<sup>0</sup> C). São especialmente recomendados como massas de aplicação múltipla para veículos automóveis, pois conciliam em si as propriedades dos sabões de alumínio, cálcio e sódio, evitando o uso de massas diferentes na lubrificação de viaturas e assim os erros de aplicação.
- *Sabões de bário* – As massas com esta base têm características e campo de aplicação semelhantes aos das massas fabricadas a partir de sabões de lítio.
- *Sabões de bases mistas* – Empregam-se, por vezes, misturas de sabões com o fim de se obterem massas com qualidades superiores às das massas fabricadas isoladamente a partir de cada um dos tipos de sabão. Por exemplo, aplicam-se com frequência, em equipamento muito pesado misturas de cálcio e chumbo que permitem obter massas com características das de base de cálcio, acrescidas de uma enérgica acção redutora do desgaste, sob cargas pesadas, conferida pelo sabão de chumbo.
- *Engrossadores inorgânicos* – O engrossamento do óleo é obtido não pela incorporação de um sabão metálico, mas sim de uma substância inorgânica.

### **2.3.2. Consistência das massas**

A consistência de uma massa define a sua dureza e é medida pela resistência que oferece à penetração de uma peça metálica. A penetração ASTM, normalmente determinada à temperatura de 77<sup>0</sup> F (25<sup>0</sup> C), é dada pela penetração do cone, em décimos de milímetro, ao fim de 5 segundos, unicamente por acção do seu próprio peso. Como é evidente, quanto mais macia for a massa, isto é, menos consistente, maior será a penetração.

### **2.3.3. Emprego de aditivos**

É corrente empregarem-se aditivos para melhorar as qualidades, quer da massa, quer do óleo utilizado no seu fabrico. Em geral, os aditivos utilizados têm por fim aumentar a estabilidade química e a resistência à oxidação das massas, assim como a protecção contra o desgaste, a ferrugem e a corrosão das superfícies lubrificadas. Por vezes, a finalidade dos aditivos é

melhorar a adesividade do lubrificante aos metais. Assim, à algumas massas referidas são adicionados, em proporções diferentes, lubrificantes sólidos, como a grafite, com o fim de responder as condições especiais de funcionamento mecânico.

## Capítulo III

### Consumo de Lubrificantes em Moçambique

#### 3.1. Introdução

Moçambique é um país em vias de desenvolvimento onde diversas instituições de diferentes áreas funcionam com um objectivo comum: desenvolvimento económico. A área de produtos petrolíferos é explorada por diversas companhias, como a *BP Moçambique Lda*, *Petromoc*, *Shell Moçambique Lda*, *Mobil*, *Total*, *Engen*, *Galp* e a *Caltex*, sendo o óleo lubrificante um dos produtos comercializados por estas companhias.

Os lubrificantes são, normalmente comercializados, pelas estações de serviço. Geralmente no momento em que se realiza a manutenção preventiva do automóvel, faz-se a substituição do óleo usado pelo novo. Além desta forma de comercialização, os lubrificantes são também vendidos, em embalagens apropriadas, em que o automobilista realiza a substituição do óleo usado ou acréscimo ao que existe no motor, fora da estação. As garagens são outros locais onde se realiza a comercialização destes produtos, de diversas maneiras.

#### 3.2. Evolução do Consumo de Lubrificantes em Moçambique

Em Moçambique, como em qualquer outro país ou estado do mundo, o sector de transporte (rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo), bem como o industrial, representam a chave para o crescimento da economia, do bem estar social e permitem um rápido crescimento das infra-estruturas operacionais, deste e de outros estados, conseqüentemente, do mundo.

Um dos produtos consumidos em quantidades significativas nestes sectores que acabam de ser mencionados, é o óleo lubrificante, que depois de utilizado, torna-se, como anteriormente referido, um resíduo perigoso devido a sua contaminação durante o período de sua utilização.

Os dados estatísticos até então analisados para Moçambique entre 1996 e 2003, mostram que há um consumo estável de lubrificantes, visto que actualmente, grande parte das empresas do sector industrial encontram-se operando com várias dificuldades ou mesmo encerradas. No

entanto, este facto não afecta significativamente o nível de consumo de lubrificantes, dado que, o crescimento constante que se verifica no sector rodoviário ou do parque automóvel , permite uma compensação no que diz respeito ao consumo global destes produtos.

Por outro lado, as tecnologias hoje empregues no sector industrial, são de tal forma que proporcionam uma redução no consumo deste tipo de produtos ou materiais, permitindo em simultâneo a minimização dos custos de produção, resultando num aumento no rendimento e fundamentalmente garantindo um nível de eficiência apreciável.

Com estes factos, estima-se que Moçambique consome uma média anual de 8 500 toneladas, quantidade esta que normalmente gera 5 000 toneladas de óleos lubrificantes usados, o correspondente a 60 % da quantidade inicial, dado que os restantes, 40 %, são consumidos durante a sua utilização, devido a perdas que ocorrem por combustão nos motores e nas folgas dos equipamentos. Entretanto, até então, não se encontram disponíveis dados sobre a recolha deste material, considerado perigoso para o ambiente, o que serve de indicador de que grande quantidade do mesmo é lançada directamente ao solo ou mar, sem qualquer tratamento prévio ou cuidado.

Um aspecto particular que merece atenção no levantamento estatístico dos dados sobre a venda de óleos lubrificantes e a sua subsequente recolha, é a presença do mercado “paralelo”, que se encontra em diversas “esquinas”. Devido a falta de registos sobre as vendas de óleos lubrificantes efectuadas nestes locais, a quantificação destes materiais torna-se de certo modo, difícil exigindo assim um trabalho mais profundo às entidades responsáveis.

Por outro lado, estes locais não têm políticas de armazenamento dos óleos lubrificantes usados recolhidos, sendo muitas vezes drenados directamente ao solo e/ou levados para usos diversos não claros nem aprovados.

Na tabela seguinte apresentam-se os dados das vendas dos óleos lubrificantes a nível nacional e as quantidades esperadas na recolha dos óleos lubrificantes usados.



Tabela 3.1 – Dados de vendas de óleos lubrificantes a nível nacional

Ano	Quantidade Vendida (ton)	Quantidade óleo lubrificante usado esperada (ton)
1996	8 410	5 046
1997	8 131	4 879
1998	9 219	5 531
1999	8 671	5 203
2000	7 840	4 704
2001	8 550	5 130
2002	7 200	4 320
2003	8 524 *(Valor estimado)	5 114
Valor médio	<b>8 300</b>	<b>5 000</b>

Fonte: Dados estatísticos da BP e da Direcção Nacional de Energia

Para melhor ilustração dos valores da Tabela 3, é em seguida apresentado o gráfico de barras que permite uma comparação flexível das vendas e recolha dos óleos lubrificantes.

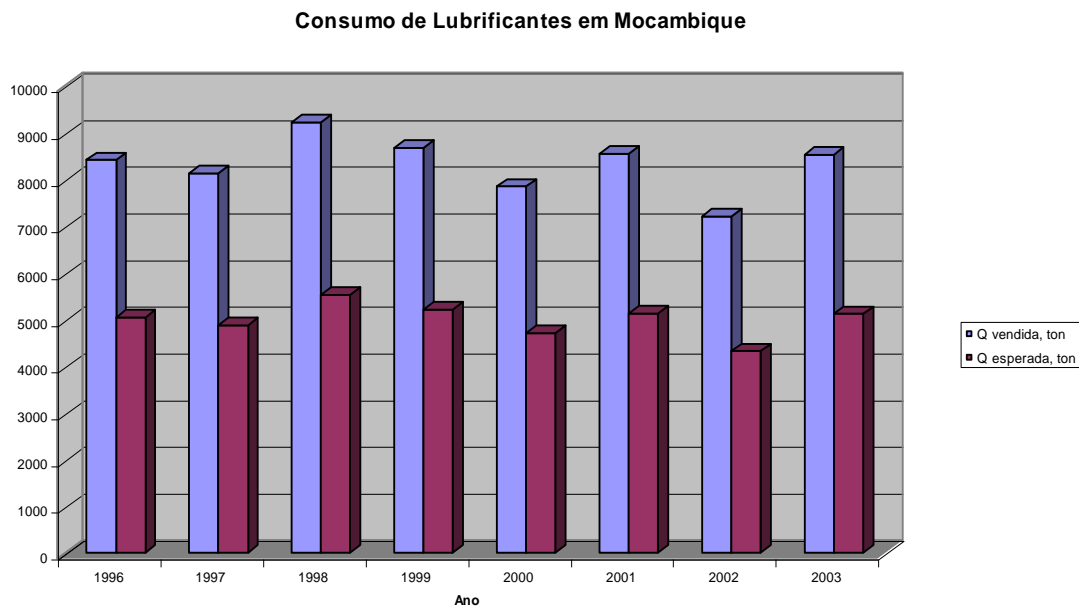


Gráfico 3.1 – Gráfico ilustrativo de volumes de venda e volumes esperados na recolha de óleos lubrificantes em Moçambique, para os anos 1996 – 2003

## Capítulo IV

### Óleos Lubrificantes Usados

#### 4.1. Introdução

A grande parte dos óleos lubrificantes é empregue para fins automotivos ou industriais. Durante o fabrico destes materiais são incorporados neles produtos diversos chamados aditivos, cuja função é atribuir ao lubrificante determinadas características específicas para o equipamento a que se destina.

Após os períodos de uso recomendados pelos fabricantes dos equipamentos os aditivos, anteriormente incorporados nos lubrificantes, perdem as suas propriedades. Como consequência, o lubrificante deteriora-se parcialmente, formando compostos como ácidos orgânicos, aromáticos polinucleares, resinas. A reposição ou substituição destes óleos é muito importante, pois, além de, parte destes óleos serem queimados no motor, durante o seu funcionamento (redução de volume), adquirem outros contaminantes, como metais pesados (arsénio, cádmio, chumbo).

A literatura define este material de várias maneiras, no entanto, em geral, os óleos lubrificantes usados são quaisquer óleos lubrificantes de base mineral ou sintética impróprios para o uso a que estavam inicialmente destinados, nomeadamente, os óleos lubrificantes usados de motores de combustão, sistemas de transmissão, óleos minerais para máquinas, turbinas e sistemas hidráulicos.

Daí, surge então, o popularmente denominado *óleo queimado*, mundialmente considerado como um resíduo perigoso, por ser tóxico e apresentar grande potencial de risco para o meio ambiente e a saúde pública.

#### 4.2. Classificação dos óleos lubrificantes usados

Segundo o CER<sup>3</sup>, os óleos lubrificantes usados são classificados como resíduos industriais perigosos, como se mostra na tabela seguinte:

Tabela 4.1 – Classificação de óleos lubrificantes usados segundo o CER

<b>CÓDIGO CER</b>	<b>DESIGNAÇÃO</b>
13 00 00	Óleos lubrificantes usados (excepto óleos alimentares e as categorias 05 00 00 e 12 00 00)
13 01 00	Resíduos de óleos hidráulicos e fluídos de travões
13 01 01	Óleos hidráulicos contendo PCB ou PCT
13 01 02	Outros óleos hidráulicos clorados (excepto emulsões)
13 01 03	Óleos hidráulicos não clorados (excepto emulsões)
13 01 04	Emulsões cloradas
13 01 05	Emulsões não cloradas
13 01 06	Óleos hidráulicos contendo apenas óleo mineral
13 01 07	Outros óleos hidráulicos
13 01 08	Fluidos de travões
13 02 00	Óleos de motores, transmissões e lubrificação
13 02 01	Óleos clorados de motores, transmissões e lubrificação
13 02 02	Óleos não clorados de motores, transmissões e lubrificação
13 02 03	Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação
13 03 00	Resíduos de óleos isolantes e de transmissão de calor e outros líquidos
13 03 01	Óleos isolantes/de transmissão de calor e outros contendo PCB ou PCT
13 03 02	Óleos isolantes ou de transmissão de calor e outros líquidos, clorados
13 03 03	Óleos isolantes ou de transmissão de calor e outros líquidos, clorados
13 03 04	Óleos isolantes ou de transmissão de calor e outros líquidos, sintéticos
13 03 05	Óleos isolantes ou de transmissão de calor minerais
13 04 00	Óleos de marinha
13 04 01	Óleos de marinha para navegação em águas interiores

<sup>3</sup> Catálogo Europeu de Resíduos, 1993

13 04 02	Óleos de marinha de gases de propulsão
13 04 03	Óleos de marinha de outros tipos de navegação
13 05 00	Conteúdo de separadores de óleos/água
13 05 01	Resíduos sólidos provenientes dos separadores de óleo/água
13 05 02	Lamas provenientes dos separadores de óleo/água
13 05 03	Lamas provenientes de interceptor
13 05 04	Lamas ou emulsões dessalinizadas
13 05 05	Outras emulsões
13 06 00	Outros óleos lubrificantes usados não especificados
13 06 01	Outros óleos lubrificantes usados não especificados

Fonte: *Catálogo europeu de resíduos, 1993*

Segundo a Portaria portuguesa nº 240/92, estes óleos podem ainda ser classificados segundo o tipo, da seguinte forma:

- Óleos do tipo A – óleos do motor;
- Óleos do tipo B – óleos industriais, e
- Óleos do tipo C – outros óleos;

A Tabela 4.2, que adiante se mostra, apresenta as propriedades físicas dos óleos lubrificantes usados, onde se observam os valores típicos (médios) das suas propriedades relevantes.

Tabela 4.2 - *Propriedades físicas gerais dos óleos lubrificantes usados*

<i>Propriedade</i>	<i>Valores típicos</i>
Densidade API	25 – 30
SSU @ 100 °F	40 – 140
Água, %	2 – 10
Enxofre, %	0.15 – 0.35
Partículas, %	0.2 – 1.5
Ponto de congelamento, °F	10 – 20

---

Ponto de inflamação, °F	100
-------------------------	-----

---

Fonte: Waste Management, Vol. 14 Nos. 3 – 4, pp. 231 – 235, 1994

### **4.3. Situação Actual de Gestão dos Óleos Lubrificantes Usados**

Para conhecer a situação actual da gestão dos óleos lubrificantes usados, foram visitadas, durante a preparação deste Trabalho, diferentes entidades ligadas a substituição destes produtos, concretamente estações de serviços, ao nível da cidade do Maputo. Nessas visitas foi possível recolher diversa informação tanto oral como sob forma de imagens disponível no Anexo 10.3. No entanto, em geral, com base nos resultados obtidos das visitas efectuadas, pode-se relatar o seguinte:

#### **a) Recolha**

A recolha dos óleos lubrificantes usados na maioria das estações de serviço visitadas é feita de modo arcaico; coloca-se o automóvel numa plataforma de cerca de 1.7-2.5 metros de profundidade e com um recipiente de 10 a 20 litros de capacidade assente sobre o piso da plataforma é aberto o bujão do cárter permitindo o escoamento do óleo por gravidade para o recipiente.

Várias vezes, nas estações de serviço em que a lavagem do automóvel e a sua lubrificação são feitas no mesmo local, devido às dificuldades em colocar na mesma linha de acção, o bujão do cárter e a boca do recipiente, alguma parte do óleo tem escapado para o piso da plataforma, e nestes casos, o óleo derramado mistura-se com as águas usadas na lavagem do automóvel, formando várias misturas, desde óleos livres (que se elevam à superfície da mistura) até emulsões. Estas misturas são escoadas através de canais ligados aos esgotos municipais, levando-as até aos receptores hídricos (águas do mar), sem qualquer tratamento prévio.

No entanto, no caso das estações de serviço em que a lavagem e a lubrificação do automóvel são feitas em locais diferentes (veja as Figuras 5a e 6a do Anexo 10.3), é de salientar que não acontecem situações semelhantes as referidas há pouco, visto que têm sido da responsabilidade do funcionário os eventuais derrames dos óleos, e isto permite uma gestão responsável destes materiais, embora alguma parte dos mesmos que verteram através das fugas dos componentes do automóvel se misturem com as águas durante a lavagem, carecendo assim de algum sistema de recolha deste óleo (tanques de sedimentação munidos de sistemas de recolha).

### ***b) Armazenamento***

Depois da recolha destes óleos, algumas estações de serviço colocam-no em tambores de cerca de 200 litros de capacidade, que por vezes se apresentam sem meios de protecção à contaminação externa (tampas). Os óleos colocados em tambores sem protecção à acções externas ficam sujeitos a misturar-se com águas de diversas fontes, plásticos, papéis e areias que tornam este material cada vez mais contaminado. Por outro lado, devido a falta de protecção dos seus conteúdos, estes óleos podem sofrer derrames com muita facilidade, o que, em casos deste facto ocorrer, causa uma contaminação ao solo.

Paralelamente a este facto, em outras estações visitadas os óleos lubrificantes usados são armazenados em tanques subterrâneos durante um período indefinido, dependendo assim da capacidade do tanque e da demanda de substituição dos óleos lubrificantes usados.

### ***c) Destino actual dos óleos lubrificantes usados***

Actualmente o destino que se dá aos óleos lubrificantes usados não é claro nem específico. Segundo alguns funcionários das estações de serviço visitadas, os óleos lubrificantes usados recolhidos são encaminhados de duas formas; uma parte deles é posteriormente oferecida a qualquer interessado, sem alguma explicação para que estes óleos são destinados, muito menos autorização para o manuseamento dos mesmos. A outra parte é armazenada em tanques subterrâneos e quando a capacidade destes tanques se esgota, estes óleos são removidos por bombagem para o tanque dum carro reboque, dando um destino não conhecido pelos “funcionários” da estação.

Outro facto importante relaciona-se com a qualidade de óleos lubrificantes usados recolhidos. Os óleos lubrificantes usados substituídos fora do prazo não são colocados ou armazenados em recipientes ou tanques de armazenamento, mas sim são descartados para os solos ou lançados para os esgotos municipais.

Para certas gasoleiras com sistemas de recolha, assim o fazem e depois armazenam ou fornecem a locais onde estes materiais são usados como combustíveis, sendo queimados em condições não aconselháveis por não terem merecido algum tratamento prévio ou uma redução dos seus contaminantes.

## Capítulo V

### Impacto Ambiental dos Óleos lubrificantes usados

#### 5.1. Generalidades

A poluição ambiental é a alteração desfavorável do meio ambiente pelos subprodutos e resíduos resultantes da actividade humana. Esta alteração do meio ambiente pode implicar também, em alterações no nível de transferência de energia, das radiações recebidas pelos seres vivos, da composição físico-química do meio e do tamanho médio da população.

Qualquer factor que, directa ou indirectamente, modifica o meio ambiente de modo a torná-lo nocivo à vida, designa-se por poluente. Essa modificação pode ocorrer, por um lado, pela introdução da substância em quantidade superior àquela que o ecossistema pode suportar ou por outro lado, pelo facto do ecossistema não estar adaptado a ela.

Dependendo do elemento atingido, a poluição pode ser considerada de:

- Poluição hídrica;
- Poluição atmosférica;
- Poluição do solo;
- Poluição sonora;
- Poluição visual;
- Poluição luminosa, e
- Poluição radioactiva;

#### a) Poluição hídrica

A água é um recurso natural tão necessário aos seres vivos, pelo que a sua poluição é deveras preocupante. A poluição da água é qualquer alteração das suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, que possa importar um prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar das populações, causar danos à flora e à fauna, ou comprometer o seu uso para fins sociais e



económicos. Quando se aborda a poluição das águas, devem ser consideradas não só as águas superficiais como também as subterrâneas.

### ***b) Poluição atmosférica***

O ar é um dos constituintes da atmosfera e, é também um dos elementos mais afectados devido a constantes emissões de poluentes resultantes tanto das diferentes actividades humanas como de fenómenos naturais. Existem várias fontes de poluição do ar, que podem ser fixas como o caso de indústrias, hotéis, lavanderias, e outros, e móveis tais como veículos automotores, aviões, navios, locomotivas e outros similares. A poluição do ar é causada essencialmente pela queima de carvão, óleos combustíveis e petróleo nas habitações, fábricas e centrais termoeléctricas e ainda pelos gases dos escapes de carros, transportes públicos e camiões.

### ***c) Poluição do solo***

A contaminação do solo é a mistura de qualquer substância perigosa quer sólida ou líquida que ocorre naturalmente com o solo. Esta contaminação resulta quando substâncias quimicamente perigosas são derramadas ou enterradas directamente no solo ou ainda quando estas substâncias emigram devido a um derrame ocorrido algures. Outra fonte de poluição do solo ocorre quando águas residuais provenientes de diversos postos de lavagens, contendo substâncias perigosas são lançadas no solo sem algum tratamento prévio.

## ***5.1.1. Consequências da Poluição Ambiental***

A poluição ambiental tem graves consequências no sistema do ciclo de vida, pois conduz a alterações de vários factores, sendo os mais notáveis nos dias de hoje, os seguintes:

### ***a) Chuvas ácidas***

A chuva é considerada ácida quando tiver um pH inferior a 5.0. Este fenómeno pode ocorrer não apenas sob a forma de chuva, mas também como neve, geada ou neblina. Ocorre devido a queima de combustíveis fósseis, que produzem gás carbónico, formas oxidadas de carbono, nitrogénio e enxofre. O dióxido de enxofre provoca a chuva ácida quando se combina com a

água presente na atmosfera, sob a forma de vapor. As gotículas de ácido sulfúrico resultantes dessa combinação geram sérios danos às áreas atingidas.

**b) Efeito de estufa**

O efeito de estufa é a elevação da temperatura média da Terra, que ocorre pelo aumento considerável da concentração de gás carbónico na atmosfera, provocado principalmente pela queima de combustíveis fósseis e desmatamentos, formando assim uma espécie de “coberta” sobre a Terra, impedindo a expansão do calor. O crescente aumento do teor do gás carbónico na atmosfera faz com que a temperatura da Terra esteja em constante crescimento, o que pode ocasionar grandes distúrbios climáticos.

**c) Redução da camada de ozono**

O ozónio está presente na troposfera, que é a camada da atmosfera em que vivemos, e também em zonas mais altas da estratosfera, entre 12 e 50 km de altitude, tendo como função principal proteger o planeta da incidência directa dos raios ultravioleta, que constituem um dos componentes da radiação solar.

Com a diminuição desta camada de ozónio, os raios ultravioleta atingem a Terra de forma mais agressiva, provocando graves doenças no ser humano, tais como câncer de pele, distúrbios cardíacos e pulmonares, queimaduras, problemas de visão e outros. O ambiente também é directamente atingido pelas modificações na cadeia alimentar, visto que certas espécies de animais e plantas são extremamente sensíveis a essa radiação, como os anfíbios anuros (sapos, rãs e outros). Além disso, a destruição desta camada de ozónio pode contribuir para o derretimento de parte do gelo da calote polar, causando o super aquecimento do planeta.

**5.2. Impacto Ambiental dos Óleos Lubrificantes Usados**

Os óleos lubrificantes usados são perigosos para o ambiente, devido às propriedades nocivas que apresentam, colocam em risco a saúde dos seres vivos ou afectam gravemente os recursos naturais quando lançados no solo ou nas águas, ou ainda quando queimados em condições desaconselháveis ou tecnicamente inadequadas.

A contaminação dos óleos pode ser externa ou interna. A contaminação externa do óleo é feita por papéis, desperdícios, areias, água, e outros materiais, como líquidos (corrosivos e/ou não corrosivos) que podem entrar no sistema, e estes são frequentemente os fluidos de refrigeração, produtos de limpeza, ácidos, solventes, tinta ou ainda, a mistura com outros óleos.

Ao nível interno, a contaminação é devida à perda das propriedades dos seus constituintes, e consequentemente a perda das suas qualidades como lubrificante. Por vezes, durante a manutenção, são introduzidos aditivos que podem causar problemas sérios se não se sabe qual o estado do lubrificante. A mudança de lubrificantes também está associada ao consumo dos aditivos do óleo. Muitos aditivos são consumidos e/ou alterados quimicamente, o que implica uma alteração das suas capacidades.

Sobre estes materiais (óleos lubrificantes usados), é importante saber-se que, quando lançados no solo, contaminam os solos e as águas subterrâneas. Quando lançados nos esgotos provocam estragos nas estações de tratamento de águas residuais e poluem os meios receptores hídricos. Quando queimados, provocam a libertação de substâncias tóxicas como compostos benzenos poli clorados (PCBs), metais pesados como arsénio, cádmio, chumbo, e compostos orgânicos como benzeno e naftaleno.

Sabe-se que, cinco litros de óleo usado são suficientes para cobrir uma superfície de água de 5000 m<sup>2</sup>, impedindo a oxigenação da mesma, a entrada da luz solar e, consequentemente, danificando a vida aquática. Na queima da mesma quantidade de óleo usado, libertam-se para a atmosfera 20 g de chumbo, que é suficiente para poluir a quantidade de ar que uma pessoa respira durante 3 anos [ <http://www.ideal.es/waste/reciclajeaceites.htm>].

Os óleos lubrificantes usados contêm elevados níveis de hidrocarbonetos e de metais pesados, sendo os mais representativos, o Chumbo (Pb), o Zinco (Zn), o Cobre (Cu), o Crómio (Cr), o Níquel (Ni) e o Cádmio (Cd), que são, como anteriormente referido, substâncias tóxicas. Para além destes elementos, há ainda a considerar a presença de Cloro (Cl) e Bromo (Br), que se deve em parte à utilização de gasolinas com chumbo. Uma das principais diferenças entre um óleo novo e um usado, que lhe confere o seu carácter de

resíduo perigoso, reside na presença de metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares.

Estudos modernos, mostram que apenas um litro de óleo lubrificante usado contamina a potabilidade de um milhão de litros de água, substância cada vez mais escassa. Sabe-se hoje, que menos de um por cento da água no nosso planeta é potável e que, devido à poluição diversa, tal recurso vital está cada vez mais raro ou mesmo não existe em diversas regiões do planeta.

A queima em condições desaconselháveis de óleos lubrificantes usados, em maçaricos de fundições e em outras actividades industriais, é outra modalidade de crime ambiental: lança metais pesados, como os já referidos, e dioxinas para atmosfera, compostos causadores de câncer de pele, e prejudiciais à saúde de todos os que se encontram nas proximidades da queima.

## Capítulo VI

### Tratamentos dos Óleos Lubrificantes Usados

#### 6.1. Generalidades

É reconhecida a perigosidade que os óleos lubrificantes usados representam para o meio ambiente devido às propriedades nocivas que apresentam, tornando incapaz a vida dos seres vivos e afectando gravemente os recursos naturais. Por outro lado, tratando-se de um material de origem não renovável, como é o caso dos óleos base, estudos para o seu reaproveitamento ou um encaminhamento adequado tendo como base a preservação do meio ambiente, têm levado várias entidades e estados a conferenciar no sentido de encontrar formas apropriadas, tomando em consideração o objectivo principal, *a protecção do meio ambiente*.

Como foi referido no capítulo anterior, o óleo lubrificante usado é considerado um resíduo perigoso, devido a presença relevante de metais pesados que nele são incorporados com o desgaste das superfícies lubrificadas, durante a sua utilização. Neste contexto, a escolha do método de tratamento apropriado depende do conhecimento da composição desses óleos, que é determinada experimentalmente. Para a elaboração do presente trabalho realizaram-se experiências com vista a determinação das características e da composição (teor de metais) do óleo lubrificante usado.

#### 6.2. Trabalho Experimental

A parte experimental deste trabalho foi realizada no laboratório de análises de produtos petrolíferos da BP Moçambique Lda, onde foi adquirido óleo lubrificante usado do motor, com os seguintes parâmetros (Designação: Rino SAE 30; tempo de funcionamento: 460 horas; data de extracção: 29/7/2002; Tempo de serviço da máquina: 110.000 horas) e determinou-se o teor de metais nele existentes, aplicando o método de absorção atómica, tendo-se obtido os resultados apresentados na Tabela 6.1 que a seguir se mostra.

Tabela 6.1 - *Concentrações de constituintes nos óleos lubrificantes usados*

<i>Elemento</i>	<i>Valor médio (ppm)</i>	<i>Valores limites</i>
Ba	2.9	< 1 - 7
Pb	49.2	< 20 - 146
Cd	1.65	< 0.25 – 6.6
Cr	3.33	< 2 – 6.8
Cu	36	< 30 - 50
Ni	1.5	1 - 3
Zn	1152	568 - 2370
Cl	-----	< 100 - 439
S <sup>c</sup>	-----	1200 - 4140
Fe	0	-----
Mg	7	-----
Partículas	-----	0.32 – 0.87 wt%

### 6.3. Tratamentos dos óleos lubrificantes usados

Estudos modernos, até então realizados e de acordo com a legislação aplicada nos diferentes quadrantes mundiais, encontram como soluções três diferentes modos de encaminhamento do óleo lubrificante usado, que a seguir se destacam:

- a) **Reciclagem do óleo usado** – consiste no seu reuso ou na sua regeneração. A reciclagem via reuso envolve a utilização do mesmo como substituto de um produto comercial ou utilização como matéria-prima em outro processo industrial. A reciclagem via regeneração (refinação) envolve processamentos que permitem a remoção de contaminantes nele presentes, produtos degradados e aditivos gastos, conferindo aos mesmos características de óleos básicos, conforme as especificações. Portanto, a escolha da forma de reciclagem do óleo usado depende fundamentalmente do nível de contaminação do mesmo.
- b) **Incineração** – consiste na queima sob condições controladas, cujo objectivo é fundamentalmente a destruição do produto tóxico ou indesejável, de formas a não causar danos ao meio ambiente.

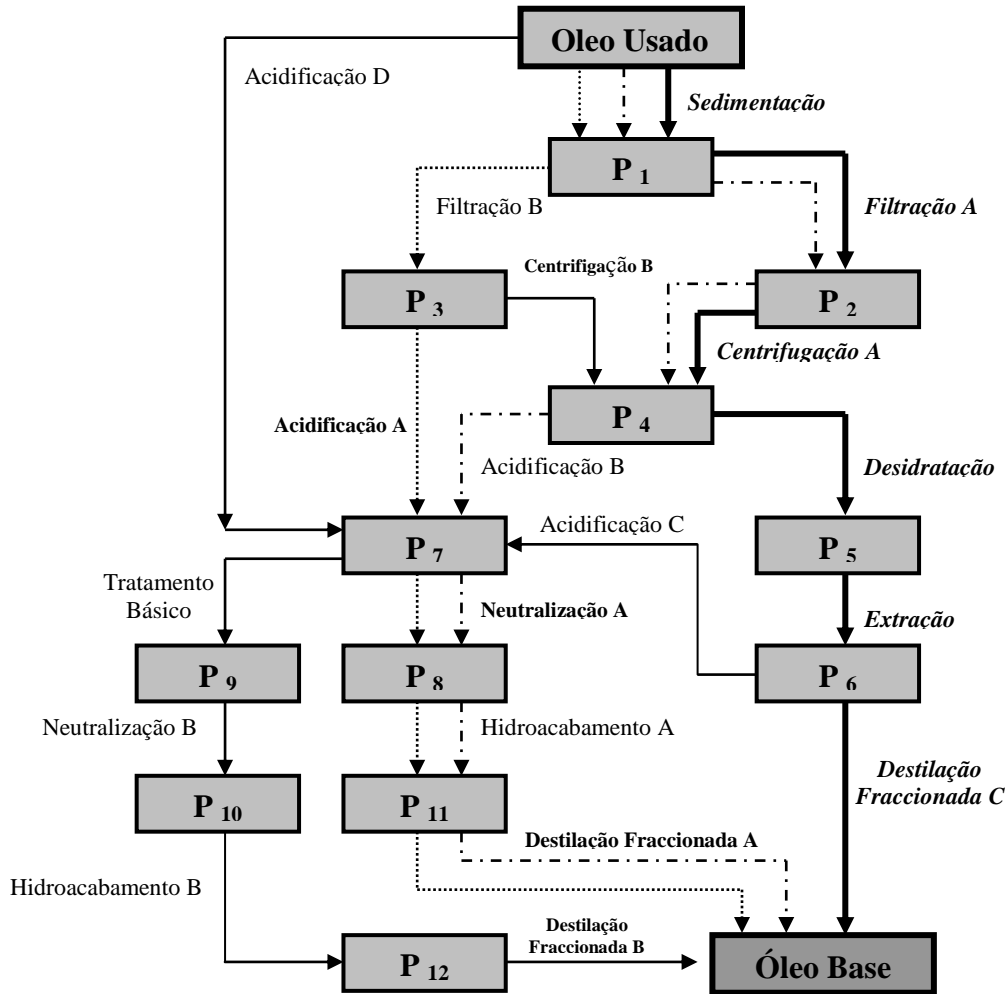
- c) **Deposição** – é o processo de acondicionamento do material com especificações que não permitem a utilização de nenhum dos processos acima descritos, ou ainda aos subprodutos resultantes dos processos principais.

No tratamento do óleo lubrificante usado a escolha do método a aplicar representa o primeiro critério, visto que, o método a escolher deverá oferecer a maior eficiência, e ele, por sua vez, será escolhido em função das características físicas e químicas do óleo usado, previamente determinadas experimentalmente. O segundo critério que se deve tomar em consideração na escolha do método, relaciona-se com o meio ambiente; isto é, que o método deverá garantir resultados favoráveis à preservação do meio ambiente. Por último, o referido método deverá ser o mais económico possível. Portanto, o método a ser escolhido será o que, relacionando todos estes factores, terá de oferecer baixos custos, emitir quantidade mínima de resíduos para o meio ambiente permitindo deste modo a preservação do mesmo.

### **6.3.1. Reciclagem de óleo lubrificante usado**

#### **6.3.1.1. Reciclagem de óleo usado via regeneração**

Para melhor abordar questões sobre o ambiente, o conhecimento de processos de reciclagem tem sido imprescindível, tanto para o sector público como o privado. Os benefícios das operações de reciclagem são claros: menos desperdícios, menos poluição e mais utilização dos preciosos recursos. Dado este facto, o Esquema 6.1 mostra os diferentes processos de reciclagem do óleo usado, sendo o caminho com a linha grossa o que mereceu maior atenção nos estudos realizados, por este ser ambientalmente aceitável, razão pela qual, esta linha será descrita dando maior ênfase as etapas chaves.



Esquema 6.1 – Fluxograma dos processos usados na regeneração de óleos lubrificantes usados

### 1. Sedimentação

O objectivo principal da sedimentação é a remoção das partículas mais pesadas existentes no óleo usado. Este processo, consiste em deixar o óleo usado em tanques de fundo cónico de grande capacidade, sem agitação, durante um tempo suficiente, para que todas partículas pesadas, presentes no óleo usado, sedimentem por acção gravítica.

O sedimento é retirado pelo fundo, enquanto o líquido límpido é retirado através de um tubo de saída ajustável, pela parte superior do tanque. Portanto, a eficiência da sedimentação



depende dos factores de projecto que variam desde as dimensões e a configuração do tanque, o tempo de residência, o peso das partículas e as condições de operação.

## **2. Filtração**

A filtração é a etapa conduzida após a sedimentação. Consiste em fazer passar o óleo resultante da sedimentação através de meios porosos (filtros) que retêm as partículas sólidas nele suspensas. Os aparelhos filtrantes variam largamente em função do princípio de operação, custo e desempenho. As condições de filtração também variam bastante conforme o tipo de equipamento e a escolha do equipamento depende dentre vários factores das propriedades do fluído (*viscosidade, densidade, corrosibilidade e outros*), a natureza do sólido (*dimensão e forma, distribuição granulométrica, características do empilhamento*), concentração do sólido em suspensão, quantidade de material a movimentar e o seu valor, tipo de material valioso (*sólido, líquido ou ambos*).

A suspensão é introduzida no filtro e obrigada a passar através dos poros do meio de filtração (meio mecânico) por um diferencial de pressão, que constitui a “força motriz” do processo de filtração. No estudo dos processos mostrados no esquema acima, foram empregues filtros de papel (designado por método A) e filtro de algodão (designado por método B).

## **3. Centrifugação**

A purificação centrífuga é um processo mecânico com os mesmos objectivos que os dois primeiros mencionados (sedimentação e filtração). Contudo, a centrifugação é o processo pelo qual a separação das impurezas (partículas sólidas ou líquidos) dos líquidos é conduzida fazendo-se girar a mistura, num aparelho específico, a altas velocidades periféricas. O processo de separação centrífuga é bastante útil devido a sua eficiência, isto é, consegue-se através dela separar partículas mais finas que normalmente escapam nos processos de sedimentação e filtração. Daí, conclui-se que o processo de filtração é economicamente viável para grandes volumes de óleo.

## **4. Desidratação**

A separação do óleo da água, que se encontra frequentemente sob forma de mistura, representa uma etapa fundamental no tratamento de óleos lubrificantes usados. Esta separação é conduzida de diversas maneiras, dependendo do tipo de mistura que os constituintes o fazem. Dentre várias formas de separação, são mais frequentes as seguintes:

*a) Separação Gravítica*

A remoção da água ou de outra matéria presente nos óleos lubrificantes usados (sob forma de partículas), por gravidade é o processo mais simples aplicado na recuperação de óleos lubrificantes usados. Este é um processo que se baseia na diferença de densidades entre a água e o óleo, isto é, consiste em deixar repousar a mistura durante um tempo previamente calculado, permitindo a água e/ou outras partículas sedimentarem. Os equipamentos utilizados no processo de separação gravítica podem ser tanto os separadores API como as placas interceptoras paralelas (PPI).

O óleo livre, que é mais leve que a água, eleva-se a superfície. Uma vez completa a separação do óleo e água, o óleo é retirado do topo para um tanque de armazenamento do óleo recuperado, processo este que é feito por bombagem ou qualquer outra forma viável. O separador API é apropriado para a remoção de “oil droplets” abaixo de 150 microns de tamanho. [Department of Natural Resources, King County, Washington, October 1995]

*b) Separação por Coalescência*

Uma unidade de separação por coalescência é apropriada para misturas não emulsionadas. O separador apresenta elementos com propriedades especiais, nomeadamente, oleofílicas e oleofóbicas. Geralmente as substâncias oleofílicas são também hidrofóbicas. Similarmente, as substâncias oleofóbicas são hidrofílicas.

Quando a mistura entra em contacto com tais elementos, o óleo presente na mistura forma uma camada e este por sua vez é adsorvido pelas superfícies oleofílicas dos elementos. O mesmo acontece com a água presente, esta é adsorvida pelas superfícies oleofóbicas dos elementos.

O separador por coalescência (placa interceptora de coalescência – CPI) é um equipamento tipicamente projectado para remover “oil droplets” abaixo de 60 microns de tamanho. Este equipamento pode atingir um efluente com uma concentração do óleo entre 10 a 20 ppm.

*c) Quebra de Emulsão*

O processo de quebra de emulsão é o que produz resultados apreciáveis na recuperação de óleos lubrificantes usados presentes numa emulsão. O aumento da temperatura no processo ajuda na quebra da emulsão. Neste processo são usados produtos químicos e é importante usar-se uma dose óptima, pois, a adição de produtos químicos como carbonato de cálcio altera o pH da solução o que conduz a efluentes ácidos, afectando deste modo a eficiência do processo e tornando as operações mais caras. Quando bem sucedida a operação, o óleo é separado da água através dos métodos acima descritos ou através de flutuação por ar.

*d) Flutuação por Ar*

A flutuação por ar é um processo usado para separar partículas ou substâncias com baixa densidade e hidrocarbonetos sólidos de líquidos. O ar é introduzido na mistura líquida sob forma de “sopro” que ataca o óleo livre (e partículas suspensas) e eleva-o a superfície. Através de processos mecânicos são separadas partículas presentes na superfície enquanto as águas são drenadas do fundo do tanque.

Um sistema de flutuação por ar, pode remover “oil droplets” abaixo de 5 microns de tamanho. Este mecanismo é normalmente usado como um tratamento secundário, e produz um efluente contendo 1 a 25 ppm de óleo. O sistema de flutuação por ar é apropriado para remoção de emulsões instáveis. [Department of Natural Resources, King County, Washington, October 1995]

*e) Ultra Filtração*

A ultra filtração é um método alternativo para o tratamento de óleo sob forma de emulsão. Este processo consiste em bombear a emulsão sobre uma membrana a uma pressão estática. A membrana permite a passagem de água e diversas substâncias dissolvidas (compostos com

cloro, sulfatos e outros), enquanto moléculas maiores (caso das moléculas do óleo), são retidas. A ultra filtração pode ser operada num *batch*, ou em estágios contínuos simples, ou ainda em cascata de *batches*.

#### *f) Destilação à Vácuo*

Na destilação à vácuo, a água é evaporada sob vácuo, à baixas temperaturas de ebulição, em que o óleo não evapora, o que permite em simultâneo haver um baixo consumo de energia. O óleo que se apresenta como resíduo é posteriormente processado. A água é condensada como forma da sua recuperação, tendo em seguida aplicações em outras áreas.

No entanto, recentemente foi descoberto que a emulsão constituída por água e óleo das instalações de refinação de óleo lubrificante usado, não pode ser emulsionada significativamente usando os métodos acima mencionados. O método de congelamento/derretimento frequentemente usado nos sistemas de tratamento de lamas nas regiões frias foi considerado mais eficiente dos experimentados para o efeito [6].

O processo de congelamento/derretimento na emulsificação das lamas é executado por expulsão de partículas sólidas através dos interstícios do gelo seguido da compressão dos bio-sólidos durante o seu congelamento. Este processo altera a natureza biológica dos sólidos, por isso, não é possível a retenção total de partículas existentes na água na primeira etapa de derretimento. Contudo, o nível de eficiência deste processo de congelamento/derretimento depende de vários factores, que dentre os quais se destacam: a temperatura de congelação, o tempo de congelamento, a velocidade de derretimento e sua temperatura, condições de acabamento dos produtos finais (água e óleo), e finalmente o mecanismo usado na emulsificação.

No processo de congelamento/derretimento, a razão de remoção da água existente na emulsão depende inicialmente do teor da mesma, da temperatura de congelamento e de derretimento, do tempo de congelamento e da velocidade de derretimento. Experimentalmente, concluiu-se que a temperatura de congelamento óptima anda a volta de -40 °C para as lamas obtidas nos processamentos de óleos lubrificantes usados. Quanto maior

for o teor inicial de água maior será a razão de remoção da mesma; quanto mais suave for o conduzido processo de derretimento melhores serão os resultados da emulsificação.

As melhores condições de derretimento são obtidas inclusive em ar, à condições ambientais ou em “banho-maria” à temperatura de 20 °C. A água recolhida da separação contém algum material orgânico com um COD de cerca de 10000 – 15000 mg/l. Durante o processo de congelamento/derretimento há normalmente formação de novas partículas de surfactante, e estas têm afinidades tanto com o óleo como com água. A separação da água do óleo depende conclusivamente da estabilidade destas novas moléculas formadas.

## **5. Extração**

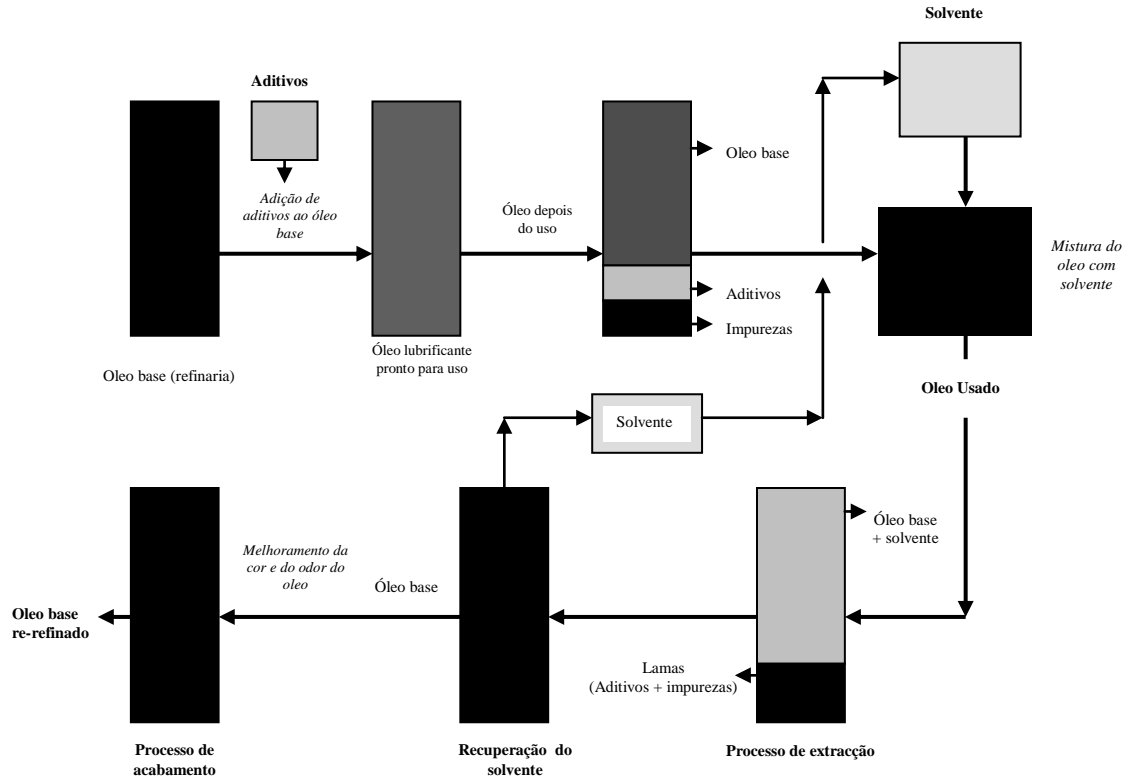
Depois do processo de separação do óleo e água, conduzido sob diversas maneiras, dependendo do tipo de mistura, segue a fase de extração do material com valor, que é a etapa fundamental do processo de reciclagem de óleos lubrificantes usados.

### **5.1. Introdução**

Diferentes técnicas têm sido praticadas para a reciclagem de óleos lubrificantes usados, como se mostra no Esquema 6.1,. Dentre os processos alternativos propostos nos últimos anos, o processo de *extração por solvente* teve uma considerável atenção [5-8]. Este processo substitui com sucesso o tratamento clássico ácido-argila (mostrado no Esquema 1), pois há produção de lama de matéria orgânica ao em vez da lama acídica e tóxica produzida no tratamento ácido-argila [9].

A extração por solvente é um processo simples. O óleo lubrificante usado e o solvente são misturados em proporções apropriadas para garantir uma completa miscibilidade do óleo base com o solvente. O solvente de extração deverá, para além de ter boa miscibilidade com o óleo base, rejeitar os aditivos e impurezas com traços de carbono que normalmente se encontram em óleos lubrificantes usados. Estas impurezas são floculadas e sedimentadas por acção gravítica. A recuperação do solvente é feita na etapa seguinte, através da destilação.

O Esquema 6.2 ilustra o ciclo geral do óleo lubrificante incluindo a produção, uso e o processo de reciclagem por solvente.



Esquema 6.2 – Diagrama do ciclo do óleo lubrificante, desde a produção, passando pelo uso até a reciclagem aplicando a extracção por solvente

O processo de extracção por solvente, quando bem aplicado, remove cerca de 10 – 14% de óleo usado na forma de contaminantes, o que corresponde grosseiramente a quantidade de aditivos e impurezas encontradas normalmente nos óleos lubrificantes usados. [7]

A etapa crítica na aplicação deste processo relaciona-se com no dimensionamento apropriado do sistema de extracção por solvente, que consiste na escolha do tipo de solvente, na determinação dos parâmetros de extracção (temperatura, pressão) e na determinação da razão de mistura: solvente/óleo. Este sistema ao ser dimensionado deverá certamente garantir a aptidão de separar a quantidade máxima possível de partículas presentes na mistura do óleo usado e, em simultâneo, oferecer mínimas perdas do óleo base que se encontra na fase de mistura.

Diferentes métodos vêm sendo testados com objectivo de encontrar as condições óptimas de extracção, em que são álcoois, cetonas e hidrocarbonetos como solventes [5, 7, 8, 9]. Estes métodos diferem na optimização do processo baseado na capacidade de separar o sedimento do óleo usado. Tanto os dados experimentais como as propriedades físicas (nomeadamente os parâmetros de solubilidade do solvente e o polímero polisobutileno encontrado geralmente nos aditivos dos óleos lubrificantes) têm sido usados como indicadores para análise da performance do solvente.

O uso de parâmetros de solubilidade e de aderência entre as substâncias permite com maior facilidade correlacionar e pré-estimar as propriedades adesivas e coesivas do material apenas por conhecimento das suas propriedades [11]. Reis e Jermino [5, 12] correlacionaram a percentagem de remoção das lamas do óleo lubrificante usado com diferença entre o parâmetro de solubilidade do solvente e do polímero polisobutileno, atrás referenciado. Esta correlação apoia as conclusões finais obtidas por eles em que referem que, quanto maior for a diferença de solubilidade maior será a capacidade do solvente extrair os aditivos e as impurezas que se encontram nos óleos lubrificantes usados.

Ainda no desenvolvimento desta técnica Elbashir [8] introduziu a energia de anti-solvência ( $E_s$ : joule<sup>1/2</sup>) como um novo parâmetro. A  $E_s$  permitiu relacionar por um lado o efeito do solvente sobre o volume do polímero e por outro lado a temperatura de extracção à diferença de solubilidade entre o polímero e o solvente. A correlação de  $E_s$  com os parâmetros de extracção, razão de mistura: solvente/óleo, e a percentagem de remoção das lamas foi posteriormente usada para encontrar valores preliminares dos parâmetros de operação do sistema de extracção por solvente. Os valores correlacionados mostraram estarem em concordância com os valores obtidos experimentalmente [10].

Ainda no estudo deste sistema, a  $E_s$ , que representa a diferença entre os parâmetros de solubilidade ( $J^{1/2}$ ) do solvente e do óleo base foi correlacionada com a percentagem de perdas do óleo presente na fase de lama. A percentagem das perdas de óleo base é outro factor que mereceu consideração no processo de optimização do sistema. A mesma correlação esteve em concordância com as hipóteses estabelecidas por Elias [13], cujas hipóteses referem que, quanto mais diminuem os valores dos parâmetros da diferença de solubilidade do solvente e

do óleo, a miscibilidade do solvente no óleo aumenta, conseqüentemente, a percentagem das perdas de óleo base diminuem. Estas perdas de óleo foram determinadas experimentalmente em diferentes condições de extracção.

**Procedimento experimental:** Para o estudo desta técnica foi utilizado o óleo lubrificante usado (do motor). Este óleo foi armazenado num tanque de 20 litros de capacidade com um fundo cónico, projectado especificamente para permitir que partículas maiores da suspensão sedimentem por acção gravítica. O óleo foi deixado durante três dias antes do teste para a sua homogeneização. Por causa do elevado performance que ofereceram os três solventes, de entre vários testados, o *2-propanol*, *metil-etil-cetona (MEC)* e o *1-butanol*, foram seleccionados para investigar os seus níveis de eficiência na remoção de impurezas à diferentes condições de extracção, como a razão de mistura: solvente/óleo e à três temperaturas de extracção (20 °C, 28 °C e 50 °C).

Em seguida, foram misturados 20 g de óleo lubrificante usado como amostra que se designou ( $W_{oleo}$ ) com o solvente ( $W_{sol}$ ) a uma determinada razão e agitada a mistura a 275 rpm durante 15 minutos, dado que estas condições asseguram uma mistura adequada sem perdas de óleo no frasco. A mistura foi, em seguida, deixada repousar para sedimentarem as partículas por acção gravítica por 24 horas. Depois da sedimentação da mistura observou-se claramente uma lama preta no fundo do tanque.

O peso da lama sedimentada foi designado por  $W_s$ . A mistura solvente-óleo foi separada da lama húmida e esta por sua vez lavada por 2-propanol e n-hexano como descrito por Reis e Jermino [5]. O processo de lavagem permitiu remover cerca de 95% do óleo que se encontrava nos interstícios da lama. A lama resultante da lavagem foi exposta a uma temperatura de 100 °C durante 5 minutos para que o solvente em excesso evaporasse. A lama seca designou-se por  $W_d$ . A percentagem de perdas do óleo foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Percentagem de perdas de oleo} = \frac{(W_s - W_d)}{W_{oleo}} \times 100\%$$

Barton [11] mencionou diversas correlações empíricas para estimação de propriedades coesivas e de valores de solubilidade. O método de cálculo dos parâmetros de solubilidade



em termos de unidade de energia ( $J^{1/2}$ ) usando correlações empíricas propostas por Barton foi antecipadamente desenvolvido [6], por esta razão, neste estudo somente são apresentadas as equações principais. A equação que se segue, de Hildebrand [14] foi usada para o cálculo da solubilidade  $\delta$  ( $J/cm^3$ ) referente ao solvente e ao óleo base.

$$\delta = \sqrt{\frac{\Delta H_v - RT}{v_m}}$$

O método de medição dos parâmetros de solubilidade dos solventes à diferentes temperaturas de extracção é descrito por N. O. Elbashir [10]. Os valores calculados por correlações empíricas concordaram com os obtidos experimentalmente. A entalpia de vaporização do óleo base foi determinada a partir de cartas de propriedades físicas do óleo lubrificante [14]. A densidade e grau API do óleo base foram determinados experimentalmente e usados os resultados para prever o peso molecular do óleo base. Avaliado o parâmetro de solubilidade do óleo ( $\delta$  em  $J/cm^3$ )<sup>1/2</sup> usando a equação de Hildebrand, este parâmetro, em termos de unidade de energia ( $J^{1/2}$ ) foi calculado usando a equação que adiante se apresenta.

$$\delta^* = \delta \cdot \sqrt{V}$$

A  $E_s$  foi seguidamente calculada como a diferença absoluta entre a solubilidade do solvente ( $\delta_1^*$ ) e a solubilidade do óleo base ( $\delta_2^*$ ).

$$E_s = |\delta_1^* - \delta_2^*|$$