

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

JIMENA HARUMI MIAZAKI OHARA MIYAMURA

LÍVIA KAROLINE RUIZ LIMA

PERSPECTIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROCESSO DE
ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANAS E ADSORÇÃO APLICADO AO
RERREFINO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS E
CONTAMINADOS

São Paulo

2011

JIMENA HARUMI MIAZAKI OHARA MIYAMURA

LÍVIA KAROLINE RUIZ LIMA

**PERSPECTIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROCESSO DE
ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANAS E ADSORÇÃO APLICADO AO
RERREFINO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS E
CONTAMINADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção de Diploma de Engenheiro
Químico

São Paulo
2011

JIMENA HARUMI MIAZAKI OHARA MIYAMURA

LÍVIA KAROLINE RUIZ LIMA

**PERSPECTIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROCESSO DE
ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANAS E ADSORÇÃO APLICADO AO
RERREFINO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS E
CONTAMINADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção de Diploma de Engenheiro
Químico

Orientador: Prof. Dr. Renato Garcia

São Paulo
2011

Dedicamos este trabalho:

Aos nossos pais, com muito amor e eterna gratidão.

Aos demais familiares e amigos com quem sempre pudemos contar.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, Senhor supremo de nossas vidas.

Aos ilustres mestres do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que transmitiram com louvor o conhecimento necessário ao longo dessa jornada rumo à graduação e proporcionaram valioso aprendizado para nossa iniciação nos nobres caminhos da Engenharia Química.

À professora Isabel Guedes, coordenadora de Trabalho de Conclusão do Curso do Departamento de Engenharia Química, pelas recomendações na elaboração do trabalho.

À querida professora Dra. Patrícia Matai, pelos valiosos conselhos e pela assistência na finalização deste documento.

Ainda, e, especialmente, ao Professor Doutor Renato Garcia, que com enorme sabedoria orientou este trabalho.

"A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência."

(Henry Ford)

RESUMO

Símbolos do mundo moderno, os meios de transporte automotivos e as máquinas motorizadas estão plenamente disseminados pelo território nacional. Destinados e adaptados aos mais diversos fins, adotando as mais variadas formas e modelos, todos tem algo em comum: dependem de lubrificação para seu perfeito funcionamento. Com o uso normal ou como consequência de problemas ou acidentes, o óleo lubrificante sofre deterioração ou contaminação e passa a ser um resíduo perigoso, perde suas propriedades ótimas e a possibilidade de ser aplicado com a mesma finalidade com que foi elaborado, e necessita ser substituído. O óleo lubrificante usado e contaminado causa sérios problemas ao meio ambiente 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. É neste contexto que surgiu a iniciativa da realização deste trabalho, com o objetivo de analisar os riscos referentes aos óleos contaminados, os processos de coleta e reciclagem empregados, incluindo os principais métodos de rerrefino, além dos aspectos relacionados à legislação vigente. Para isso, foi realizada uma vasta pesquisa e definiu-se o método de Ultrafiltração com Membranas como o mais vantajoso, o qual passou por uma análise mais aprofundada e um estudo de custos detalhado para avaliá-lo do ponto de vista econômico.

Palavras chave: óleo lubrificante usado, riscos, coleta, reciclagem, rerrefino, ultrafiltração por membranas.

ABSTRACT

Symbols of the modern world, the means of transportation and motor machines are fully disseminated throughout the country. Designed and adapted to several utilities, adopting various forms and models, they all have something in common: they are based on lubrication for flawless performance. With normal use or as a result of problems or accidents, lubricating oil deteriorates or becomes a contaminated and hazardous residue. It loses its optimum properties and no longer serves to the purpose for which it was drawn up, which requires its replacement. Used lubricant oil has caused serious environmental problems, due to its indiscriminate disposal which pollutes rivers, springs and water sources. In addition, when it is burned without control and any care about the emission limits defined by environmental government agencies, it launches oxides and toxicant gases in the atmosphere. In this context, the initiative of this work has emerged, with the objective to analyze the risks related to contaminated lubricant oils, the process of collecting and recycling them, including the main methods of re-refining, as well as the topics related to the Brazilian legislation. An extensive search was conducted in order to obtain more technical information and to define the Ultrafiltration with Membranes method as the more advantageous one, so a depth analysis could be made, as well as a cost analysis, to evaluate it from the economical point of view.

Key-words: used lubricant oil, risks, collection, recycling, re-refining, ultrafiltration with membranes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – IMPORTÂNCIA DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES (AUTORIA PRÓPRIA).....	24
FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES (CARRETEIRO, ET AL., 1987).....	25
FIGURA 3 – CLASSIFICAÇÃO API (MOTORES CICLO OTTO).....	29
FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO API (ENGRENAGENS).....	30
FIGURA 5 – CONTAMINANTES E SINTOMAS PROVOCADOS (TRISTÃO, ET AL., 2011).....	36
FIGURA 6 – CAMINHÃO DE COLETA	40
FIGURA 7 – IDENTIFICAÇÃO E SINALIZAÇÕES ESPECIAIS.....	41
FIGURA 8 – FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE COLETA	41
FIGURA 9 – DIAGRAMA DA COMERCIALIZAÇÃO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES NO BRASIL	42
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DE COLETORES E RERREFINADORES	44
FIGURA 11 - EMPRESAS AUTORIZADAS A EXERCER A ATIVIDADE DE RERREFINO.....	44
FIGURA 12 - CICLO DE RERREFINO DO ÓLEO LUBRIFICANTE (TRISTÃO, ET AL., 2011).....	50
FIGURA 13 – PROCESSO DE OXIDAÇÃO DO ÓLEO BÁSICO (MCMURRY, 2005).....	52
FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO ÁCIDO SULFÚRICO-ARGILA (CARRETEIRO, ET AL., 1987).....	57
FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO KTI (RALDES, ET AL., 1981).....	60
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO EVAPORADOR DE FILME (LWART, 2010)	61
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANAS (AUDIBERT, 1978)	63
FIGURA 18 - CRITÉRIOS DE ESCOLHA – PESOS (AUTORIA PRÓPRIA).....	66
FIGURA 19 - MODELO ESQUEMÁTICO DA FILTRAÇÃO TANGENCIAL EM MEMBRANAS (NÓBREGA, 2005)	68
FIGURA 20 - FORÇA MOTRIZ E TRANSPORTE EM MEMBRANAS POROSAS E DENSAS	70
FIGURA 21 - CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS DE MEMBRANAS (HABERT, ET AL., 2006).....	71
FIGURA 22 - MÓDULO COM MEMBRANAS NA FORMA DE FIBRAS OCAS. (NOBREGA R ET AL, 2005).....	71
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO (AUTORIA PRÓPRIA)	73
FIGURA 24 - DIAGRAMA DO FLUXO DE CAIXA DO PROJETO	88
FIGURA 25 - TABELA NORMAL	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CLASSIFICAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES (CARRETEIRO, ET AL., 1987).....	27
TABELA 2- COMERCIALIZAÇÃO E COLETA DE ÓLEOS LUBRIFICANTES - 2009 (ANP)	43
TABELA 3 - PRINCIPAIS ELEMENTOS CONTAMINANTES TÍPICAMENTE CONTIDOS NOS ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS E CONCENTRAÇÕES ESTIMADAS	48
TABELA 4 - TIPOS DE TRATAMENTOS PARA OS ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS	49
TABELA 5 - COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS DE RERREFINO	64
TABELA 6 - TABELA DE COMPARAÇÃO DE PROCESSOS	66
TABELA 7 - FORÇA MOTRIZ E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS PERMEADOS E RETIDOS EM MEMBRANAS ULTRAFILTRANTES.....	69
TABELA 8- QUADRO RESUMO PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA (AUTORIA PRÓPRIA).....	81
TABELA 9 - EQUIPAMENTOS E PARÂMETROS UTILIZADOS	82
TABELA 10- EQUIPAMENTOS E PARÂMETROS UTILIZADOS (CONTINUAÇÃO)	83
TABELA 11 - DESPESAS OPERACIONAIS	84
TABELA 12 - DESCRIÇÃO DOS ITENS DE INVESTIMENTO INICIAL.....	86
TABELA 13 - INVESTIMENTO INICIAL DO PROJETO	86
TABELA 14 - DEPRECIAÇÃO ANUAL	87
TABELA 15 - DESPESAS OPERACIONAIS	87
TABELA 16 - FLUXO DE CAIXA.....	88
TABELA 17 - VALORES PRESENTES DOS FLUXOS DE CAIXA ANUAIS.....	89
TABELA 18 - DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS ANUAIS	90
TABELA 19 - VALORES MÍNIMOS DE VOLUME E PREÇO DE VENDAS.....	91
TABELA 20 - VALORES INCERTOS DOS FLUXOS DE CAIXA ANUAIS	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
APROMAC	Associação de Proteção ao Meio Ambiente de Cianorte
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IFP	Instituto Francês de Petróleo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NR	Normas Regulamentadoras
ONU	Organização das Nações Unidas
PVC	Cloreto de Polivinila
SAE	Society of Automotive Engineers
SINDIRREFINO	Sindicato Nacional da Indústria do Refinamento de Óleos Minerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 METODOLOGIA	17
2.1 MÉTODO DE PESQUISA	17
2.2 MÉTODO DE PROCEDIMENTO	18
2.3 ETAPAS DE PROCEDIMENTO	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 LUBRIFICAÇÃO	21
3.1.1 <i>Histórico</i>	21
3.1.2 <i>Atrito</i>	22
3.1.3 <i>Lubrificantes</i>	23
3.1.4 <i>A importância dos óleos lubrificantes</i>	23
3.1.5 <i>Classificação dos óleos lubrificantes</i>	24
3.1.6 <i>Outras classificações</i>	27
3.1.6.1 <i>Classificação API</i>	27
3.1.6.2 <i>Classificação SAE</i>	30
3.1.6.3 <i>Classificação ASTM</i>	31
3.1.7 <i>Aditivos dos óleos lubrificantes</i>	32
3.2 COLETA DE ÓLEOS LUBRIFICANTES	34
3.2.1 <i>Riscos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados para a saúde</i>	34
3.2.2 <i>Manuseio</i>	37
3.2.3 <i>Processo de coleta</i>	38
3.2.4 <i>Panorama atual</i>	42
3.2.5 <i>A legislação</i>	45
3.3 RERREFINO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES USADOS	46
3.3.1 <i>Óleos usados – composição</i>	46
3.3.2 <i>Destinação dos Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados</i>	49
3.3.3 <i>Características Gerais e Objetivos do Rerrefino</i>	50
3.3.4 <i>Descrição dos processos físico e químico do rerrefino</i>	52
3.3.4.1 <i>Processos físicos</i>	53
3.3.4.2 <i>Processos químicos</i>	55
3.3.5 <i>Processos de Rerrefino</i>	55
3.3.5.1 <i>Processo clássico Ácido-Argila</i>	56
3.3.5.2 <i>Extração seletiva a propano com tratamento ácido</i>	57
3.3.5.3 <i>Processo de Destilação-Hidrogenação (Kinetics Technology International – KTI)</i>	59
3.3.5.3 <i>Processo Evaporador de Filme (Thin film evaporator)</i>	61
3.3.5.4 <i>Ultrafiltração por Membranas e Adsorção</i>	62
3.3.6 <i>Comparações dos Processos de Rerrefino</i>	64
4 PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANAS E ADSORÇÃO	65
4.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA	65
4.2 DETALHAMENTO DO PROCESSO	67
5 ANÁLISE ECONÔMICA	74
5.1 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE UM PROJETO	74

5.2 ESTUDO ECONÔMICO DO PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANA E ADSORÇÃO	79
5.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE	85
6 DISCUSSÃO E RESULTADOS.....	95
7 SUGESTÃO DE MELHORIAS E PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO.....	97
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS	101
ANEXOS	104

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem é um processo industrial que converte o lixo descartado (matéria-prima secundária) em produto semelhante ao inicial ou outro. Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o que é jogado fora. A palavra reciclagem foi introduzida ao vocabulário internacional no final da década de 80, quando foi constatado que as fontes de petróleo e outras matérias-primas não renováveis estavam se esgotando (AMBIENTEBRASIL, 2003).

A reciclagem traz como benefícios a diminuição da poluição do solo, água e ar; melhora a limpeza da cidade, a qualidade de vida e a produção de compostos orgânicos; gera empregos para a população não qualificada e receita com a comercialização dos recicláveis e contribui para a valorização da limpeza pública e formação de uma consciência ecológica. A reciclagem surgiu como uma maneira de reintroduzir no sistema uma parte da matéria (e da energia), que se tornaria lixo. Assim desviados, os resíduos são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, os quais eram feitos anteriormente com matéria prima virgem. A indústria de reciclagem vem assumindo grande importância no panorama mundial, e vem se destacando como uma maneira rentável e satisfatória de alinhar questões econômicas e ambientais, em prol de uma produção mais limpa e sustentável.

Juntamente a isso, o desenvolvimento industrial demanda, a cada dia, uma maior quantidade de óleos lubrificantes de alta qualidade. A questão da reciclagem de óleos lubrificantes usados ganha cada vez mais espaço neste contexto de conservação ambiental. O descarte indiscriminado de óleos lubrificantes usados tem sido foco de atenção em todo o mundo devido aos problemas que causa ao meio ambiente. O óleo lubrificante usado é um resíduo gerado em quase todas as operações industriais e automotivas, sendo um dos poucos derivados de petróleo que não é totalmente consumido durante o seu uso. Além disso, fabricantes de aditivos e formuladores de óleos lubrificantes vêm trabalhando no desenvolvimento de produtos com maior vida útil, o que tende a reduzir a geração de óleos usados. No entanto, com o aumento da aditivação e da vida útil do óleo, crescem as dificuldades no processo de regeneração após o uso (APROMAC, 2010).

A poluição gerada pelo descarte de 1 t/dia de óleo usado e contaminado para o solo ou cursos d'água equivale ao esgoto doméstico de 40 mil habitantes. A queima indiscriminada do óleo lubrificante usado, sem tratamento prévio de desmetalização, gera emissões significativas de óxidos metálicos, além de outros gases tóxicos, como a dioxina e óxidos de enxofre (AMBIENTEBRASIL, 2003).

Entre 1991 e 1993, a Organização das Nações Unidas (ONU) financiou estudos sobre a disposição de óleos usados. A principal conclusão desses estudos foi que a solução para uma disposição segura de óleos lubrificantes usados é o rerrefino (reciclagem) e esta é, atualmente, a forma de reaproveitamento mais adequada e regulamentada pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). O rerrefino tem a finalidade de recuperar o óleo lubrificante usado, transformando-o em óleo básico novamente, para a formulação de novos produtos lubrificantes (RMAI, 2001).

A reciclagem do óleo usado é definida pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), de 1993, e a fiscalização da coleta de lubrificantes usados fica sob a responsabilidade da ANP. De qualquer forma, é importante lembrar que o descarte inadequado do produto é crime ambiental.

Este trabalho procura realizar uma análise a respeito da composição e histórico dos óleos lubrificantes e suas características, dos principais aditivos usados, dos métodos empregados na coleta dos óleos lubrificantes usados e os processos de reciclagem utilizados. São avaliadas também as regulamentações brasileiras no que se refere à coleta e disposição desses óleos. Em seguida, os principais métodos empregados no rerrefino dos óleos são analisados, com o intuito de determinar aquele que se mostra mais vantajoso, sob critérios previamente definidos, para receber um estudo mais aprofundado, e posterior análise de custos que valida ou não a continuidade de possível estudo econômico (que envolve estudo de mercado) do processo.

Primeiramente, se apresenta a metodologia, onde são abordados os procedimentos de pesquisa que foram utilizados e as etapas que constituíram a realização deste trabalho. Posteriormente, faz-se necessário apresentar os referenciais teóricos, trazendo o contexto e os conceitos que envolvem o tema. Depois, destaca-se a análise dos dados, onde se definem os principais métodos empregados na coleta e reciclagem dos óleos. No capítulo seguinte, faz-se a avaliação da regulamentação vigente. Em seguida, são listados e brevemente

explicados os principais métodos de rerrefino, com a definição do método de Ultrafiltração por Membranas como o mais indicado para aprofundamento teórico e econômico. Assim, realiza-se o estudo de custos deste processo. Por fim, apresentam-se sugestões de melhorias e propostas de otimização do método de rerrefino abordado e, posteriormente a conclusão baseada em todos os aspectos do trabalho realizado.

2 METODOLOGIA

Serão apresentados e discutidos alguns aspectos metodológicos necessários ao adequado processo de desenvolvimento de uma pesquisa científica. Com isso, definiu-se uma base para escolha da técnica de pesquisa que permitiu o desenvolvimento desse trabalho.

Com base nos métodos determinados também estão descritas as etapas de desenvolvimento, ou seja, todos os passos seguidos para a conclusão deste relatório.

2.1 Método de Pesquisa

As abordagens de pesquisa influenciam a condução do processo de investigação aproximando e salientando o fenômeno que se pretende estudar. Ainda, conduz à identificação dos métodos e tipos de pesquisa adequados na busca de soluções (ROSA, et al., 1999). Os vários tipos de pesquisa devem ser utilizados de acordo com o tipo de informação que se pretende obter. Assim, é necessário analisar as características peculiares dos tipos de pesquisas existentes para selecionar entre eles aquele que mais se adequa a uma necessidade específica. A abordagem pode ser qualitativa ou quantitativa.

A pesquisa com abordagem qualitativa enfatiza a interpretação do indivíduo sobre o fenômeno estudado, possibilitando o surgimento de novas variáveis. A compreensão da situação real facilita o entendimento do funcionamento do fenômeno, preconizando a proximidade do pesquisador. A realidade é influenciada por elementos participantes da pesquisa (BRYMAN, 1989). A pesquisa qualitativa tem como principal característica conhecer em profundidade o contexto do objeto em estudo. Através de uma análise verticalizada, ela permite identificar os pontos em comum e os pontos distintos de determinada amostra. Por isso, geralmente, utiliza-se este tipo de pesquisa para explicar os resultados obtidos pela pesquisa quantitativa.

Por outro lado, a pesquisa com abordagem quantitativa abstrai-se sobre hipóteses mensuráveis e bem estruturadas. Enfatiza a causalidade das partes e preocupa-se com a generalização e a capacidade de replicação dos dados. O contexto é visto como uma série de fatos que podem ser medidos e relatados (BRYMAN, 1989). A pesquisa quantitativa caracteriza-se pela busca da quantificação dos dados. Para tanto, é necessário que ela parta de um universo populacional determinado. Após determinar a população pretendida, faz-se necessário elaborar as amostras desta população e interpretá-las, através do uso da análise estatística.

Para a pesquisa do trabalho que se apresenta, é fundamental a compreensão do histórico, de pontos teóricos e técnicos para o entendimento do tema e da situação atual em que está integrado. Dentre outros fatores, faz com que a abordagem qualitativa seja a mais adequada.

2.2 Método de Procedimento

O Método de Procedimento é um conjunto de etapas, ordenadamente dispostas, a serem vencidas na investigação da verdade, no estudo da ciência ou para alcançar determinado fim (GALLIANO, 1979). As metodologias utilizadas se diferenciam em seu conteúdo de acordo com as fontes de dados utilizadas, a amplitude de estudo e o tipo de análise que se pretende fazer. Os principais métodos utilizados são: estudos exploratórios, estudos descritivos e estudos experimentais ou causais (SAMARA, et al., 2007).

Segundo Samara e Barros (SAMARA, et al., 2007), no estudo exploratório busca-se um melhor conhecimento do objeto em estudo. Para isso, utiliza-se de levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado. Geralmente, assume a forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso para que, posteriormente, o objeto seja controlado para se atingir resultados pretendidos. Como é um método fundado na experiência, o objeto é colocado sob

condições ideais, reproduzidas em laboratório ou não, selecionando as hipóteses a serem verificadas.

Os estudos descritivos, por sua vez, são utilizados para descrever fatos, características de grupos ou situações de mercado. Para tanto, se utilizam de dados primários, ou seja, obtidos originalmente através de entrevistas pessoais ou discussões em grupos (SAMARA, et al., 2007).

Por fim, os estudos experimentais ou causais, são aqueles que buscam oferecer uma relação de causa e efeito entre as variáveis em estudo, através de aplicabilidade prática, ou seja, a partir do objeto de estudo, seleciona-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, define-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Este método produz conclusões que dificilmente podem ser produzidas pelos métodos citados anteriormente.

Para o trabalho que se apresenta, utilizou-se fundamentalmente, do método de estudos exploratório. O tema abordado estabelece a necessidade de uma ampla revisão bibliográfica para se obter argumentos concretos para a definição de um melhor método de rerrefino e posterior análise econômica. Além disso, a partir do método estabelecido criaram-se hipóteses para seu melhor funcionamento a fim de sugerir melhorias e propostas de otimização.

2.3 Etapas de Procedimento

A primeira etapa deste trabalho de conclusão de curso foi dedicada ao aprofundamento teórico dos assuntos relacionados ao tema. Para tanto, a partir dos estudos exploratórios, foi realizada uma busca de informações e dados indispensáveis para o entendimento e aprofundamento do tema, com abordagem dos temas que influenciam no foco principal do estudo.

A segunda etapa consistiu no estudo mais detalhado de um único processo de rerrefino, no caso, Ultrafiltração por Membranas e Adsorção e, posterior estudo de custos. Para isso, primeiramente, foram definidos critérios para a escolha do

processo específico e uma análise mais aprofundada das etapas envolvidas. Para o estudo de custos, foi desenvolvida uma pesquisa sobre análise e viabilidade econômica de projetos para o melhor entendimento sobre a abordagem econômica a ser realizada. Depois, foi possível criar argumentos para a continuidade do estudo de viabilidade econômica do processo.

Por fim, concluiu-se o trabalho de conclusão com sugestões de melhorias e propostas de otimização do processo e, principalmente, a validez, a partir do estudo de custos, do processo de rerrefino do ponto de vista econômico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Lubrificação

3.1.1 Histórico

A mais antiga manifestação de lubrificação da qual se tem notícia foi encontrada no Egito, datada de 2.600 a.C., onde em uma gravura é mostrado um tipo de trenó transportando um monumento de pedra e um homem que despeja um líquido para lubrificar os deslizadores do trenó. Na Idade Média, a gordura animal foi usada em pouca quantidade para lubrificar portões de castelos e rodas de carruagem. A partir do século XV, no início das grandes navegações comerciais, o óleo de baleia era usado como lubrificante em moitões e timões de navios e, nessa mesma época, o Petróleo (mineral existente há cerca de 300 milhões de anos), conhecido como “óleo de pedra, óleo mineral e óleo de nafta”, além de proporcionar fins medicinais, também passara a ser empregado para a minimização do atrito. (PETROBRÁS, 1999)

Com o desenvolvimento da civilização e de invenções nos séculos XVII e XVIII, houve uma maior contribuição para o progresso da lubrificação e, no século posterior, com o fenômeno da Revolução Industrial que provocou a mecanização da indústria e dos transportes, também passou a ser utilizado para um melhor funcionamento das máquinas (MOLYKOTE, 2010).

No século XX, com a 2ª Guerra Mundial, e a necessidade de máquinas mais potentes e canhões, o lubrificante proveniente do petróleo foi usado em quantidades espantosas. Com a revolução e o surgimento de diversos equipamentos, houve a necessidade de lubrificações diferenciadas, com o intuito de reduzir ao máximo o atrito e prolongar a vida útil dos equipamentos (BOZZA, 2010).

Com o constante desenvolvimento das máquinas, os lubrificantes também sofreram alterações tecnológicas para o atendimento das diversas necessidades.

Hoje, várias empresas no mercado passaram a fabricar vários tipos de óleos para as diferentes utilizações.

3.1.2 Atrito

É possível encontrarmos o atrito em qualquer tipo de movimento entre sólidos, líquidos ou gases (PETROBRÁS, 1999). O atrito é uma designação genérica da resistência que se opõe ao movimento, sendo que esta resistência é medida por uma força denominada força de atrito.

Tem-se como menor atrito existente o dos gases, vindo a seguir o dos fluidos e, por fim, o dos sólidos. Nesse último caso, o de movimento entre sólidos, o atrito pode ser definido como a resistência que se manifesta ao movimentar-se um corpo sobre outro.

Para evitar o contato sólido com sólido, que provoca aquecimento das peças envolvidas, perdas de energia pelo agarramento das peças, ruído e desgaste, é necessário utilizar-se da lubrificação ou do polimento das superfícies, para que o coeficiente de atrito seja reduzido. No caso da lubrificação, ocorre a interposição de uma substância fluida entre duas superfícies, evitando, assim, o contato indesejado de sólido com sólido, e produzindo o atrito fluido, que é sempre menor que o sólido.

Para a indústria, principalmente, são de grande importância os conceitos de atrito e lubrificação, uma vez que para conservar a forma geométrica os elementos de máquinas, isto é, para evitar o desgaste das superfícies de parceiros de contato, estes devem ser eficientemente separados através de lubrificantes, ou seja, deve-se evitar o contato metal-metal durante o movimento de rolagem ou deslizamento. Nesse caso, a lubrificação pode ser feita através de um filme compacto de graxa ou óleo com capacidade de suportar carga (lubrificação hidrodinâmica) ou através de um revestimento superficial (lubrificação com lubrificantes sólidos) (MOLYKOTE, 2010).

3.1.3 Lubrificantes

Para reduzir o atrito entre as peças e seu consequente desgaste, é preciso manter as superfícies separadas, intercalando-se entre elas uma camada de lubrificante. Com isso, temos o conceito de lubrificação: qualquer material que, interposto entre duas superfícies atritantes, reduza o atrito entre elas (PETROBRÁS, 1999).

A lubrificação é um dos principais itens de manutenção de máquinas industriais e automotivas e deve, portanto, ser entendida e praticada para garantir um real aumento da vida útil dos componentes.

Como descrito no item anterior, existem lubrificantes sólidos, líquidos e gases. A fim de abordar lubrificantes líquidos, que são os mais usados, será tratado a seguir, mais especificamente, óleos lubrificantes.

3.1.4 A importância dos óleos lubrificantes

O óleo lubrificante, além de diminuir o atrito e suas consequências, formando uma película delgada entre duas superfícies móveis, possui outras funções, de acordo com a figura abaixo. (CARRETEIRO, et al., 1987)

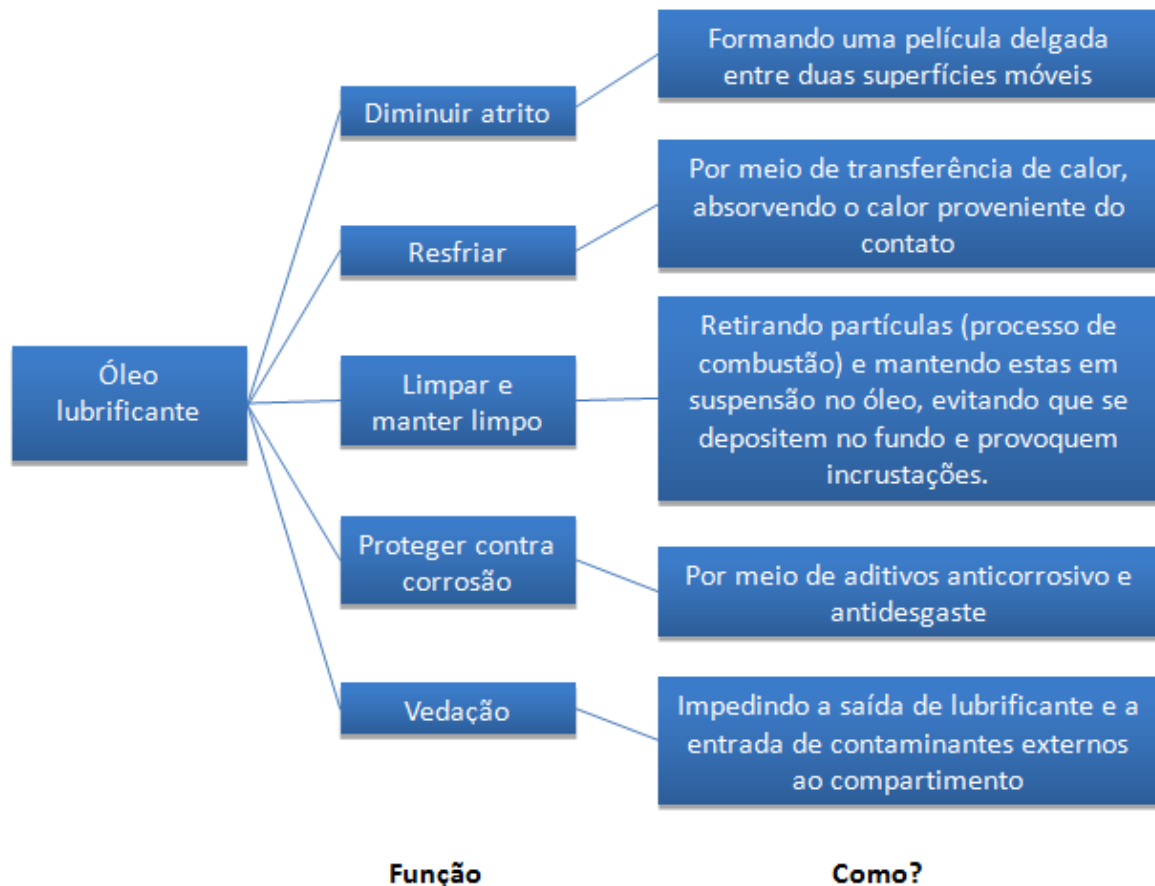


Figura 1 – Importância dos óleos lubrificantes (Autoria própria)

3.1.5 Classificação dos óleos lubrificantes

Os lubrificantes líquidos são os mais empregados na lubrificação. Podem ser subdivididos em: óleos minerais puros, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos, de acordo com sua origem, como descrito na tabela abaixo:

ÓLEOS LUBRIFICANTES		
Classificação	Origem	Principal característica
Óleos graxos	origem animal ou vegetal	instabilidade química, principalmente em altas temperaturas, o que provoca a formação de ácidos e vernizes
Óleos minerais puros	provenientes da destilação e refinação do petróleo	propriedades e qualidades dependem da proveniência e da viscosidade do petróleo cru
Óleos sintéticos	produzidos em laboratório	melhores lubrificantes, mas são também os de custo mais elevado
Óleos aditivados	aditivos somados a óleos minerais puros	os aditivos tem finalidade de reforçar ou acrescentar determinadas propriedades
Óleos compostos	mistura de óleos minerais e graxos	pequena porcentagem de óleo graxo, variando de acordo com a finalidade do óleo (os óleos graxos conferem propriedades de emulsibilidade, oleosidade e extrema pressão)

Figura 2 - Classificação dos óleos lubrificantes (CARRETEIRO, et al., 1987)

Tratando-se dos óleos minerais, estes são usados como lubrificantes com uma adequada viscosidade, originados de petróleos crus e beneficiados através de refinação. Os óleos minerais se distinguem em três tipos (MOLYKOTE, 2010):

- Óleo mineral de base parafínico: o nome Parafina, de origem Latim, indica que estas ligas químicas são relativamente estáveis e resistentes e não podem ser modificadas facilmente com influências químicas. Sendo assim, as parafinas tendem a não oxidar em temperaturas ambientes ou levemente elevadas. Nos lubrificantes elas são partes resistentes e preciosas, que não “envelhecem” ou somente oxidam de forma lenta. A grande desvantagem é seu comportamento em temperaturas baixas: as parafinas tendem a sedimentar-se.
- Óleo mineral de base naftênico: enquanto os hidrocarbonetos parafínicos formam correntes em sua estrutura molecular, os naftênicos formam, em sua maioria, ciclos. Os naftênicos em geral são usados quando precisamos produzir lubrificantes para baixas temperaturas. Desvantagem dos naftênicos é sua incompatibilidade com materiais sintéticos e elastômeros.
- Óleo mineral de base misto: para atender as características de lubrificantes conforme necessidade e campo de aplicação, a maioria dos óleos minerais é misturada com base naftênica ou parafínica em quantidades variadas.

Já os óleos sintéticos, ao contrário dos óleos minerais, não são derivados do petróleo, mas produzidos artificialmente, em laboratório, a partir de ensaios em condições críticas. Eles possuem, na maioria das vezes, um bom comportamento de viscosidade-temperatura com pouca tendência de coqueificação em temperaturas elevadas, baixo ponto de solidificação em baixas temperaturas, alta resistência contra temperatura e influências químicas. Os óleos sintéticos se distinguem em cinco tipos diferentes:

- Hidrocarbonetos sintéticos: entre os hidrocarbonetos sintéticos, destacam-se hoje com maior importância, os polialfaoleofinas (PAO) e os óleos hidrocraqueados. Estes óleos são fabricados a partir de óleos minerais, porém levam um processo de sintetização, o qual elimina os radicais livres e impurezas, deixando-os assim mais estáveis à oxidação. Também se consegue através desse processo um comportamento excelente em relação à viscosidade-temperatura. Estes hidrocarbonetos semi-sintéticos atingem IV (Índices de Viscosidade) até 150.
- Poliolésteres: Para a fabricação de lubrificantes especiais, fluidos de freios, óleos hidráulicos e fluidos de corte, os poli-alquilenoglicóis, miscíveis ou não em água, tem hoje cada vez mais importância.
- Diésteres: São ligações entre ácidos e alcoóis através da perda de água. Certos grupos formam óleos de éster que são usados para a lubrificação e, também, fabricação de graxas lubrificantes. Os diésteres estão hoje aplicados em grande escala em todas as turbinas da aviação civil por resistir melhor a altas e baixas temperaturas e rotações elevadíssimas. Dos óleos sintéticos, estes representam o maior consumo mundial.
- Óleos de silicone: Os silicones destacam-se pela altíssima resistência contra temperaturas baixas, altas e envelhecimento, como também pelo seu comportamento favorável quanto ao índice de viscosidade. Para a produção de lubrificantes, destacam-se os Fenil-polisiloxanes e Metil-polisiloxanes. Os Fluorsilicones possuem grande importância na elaboração de lubrificantes resistentes à influência de produtos químicos, tais como solventes, ácidos, etc.
- Poliésteres Perfluorados: Óleos de flúor e fluorclorocarbonos tem uma estabilidade extraordinária contra influência química. Eles são quimicamente

inertes, porém, em temperaturas acima de 260°C, eles tendem a craquear e liberar vapores tóxicos.

3.1.6 Outras classificações

Os óleos lubrificantes também são classificados em API, SAE e ASTM. Diferentemente da classificação supracitada, estas derivam das propriedades do óleo, conforme pode ser visto a seguir.

Tabela 1- Classificação dos óleos lubrificantes (CARRETEIRO, et al., 1987)

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
SAE	responsável para avaliação e promulgação de novas classes
API	responsável pela identificação das categorias e descrição do tipo de serviço
ASTM	responsável pela descrição básica do óleo, e pelo estabelecimento de métodos de ensaio e limites de performance

3.1.6.1 Classificação API

A classificação Grau API foi regulamentada pelo American Petroleum Institute (API). É uma classificação dos óleos para motor a partir da densidade, baseada em condições operacionais, ou seja, estabelecendo categorias de desempenho (PETROBRÁS, 1999).

Esta classificação não oferece definições precisas quanto à qualidade dos óleos. Conscientes das deficiências, e em conjunto da ASTM (American Society for Testing Materials), o API elaborou a especificação abaixo:

- Lubrificantes para motores a gasolina ou por centelha (*spark ignition*) - prefixo S (Motores ciclo OTTO):

API - SE / SF / SG / SI / SJ / SL

- Lubrificantes para motores a diesel ou de ignição por compressão (*compression ignition*) - prefixo C (Motores ciclo Diesel)

API - CC / CD / CF / CG / CH

Sendo as classes designadas por A, B, C, D, E, em ordem crescente de acordo com o grau de severidade.

-Lubrificante para engrenagem (*gear lubricant*) – prefixo GL

API - GL -5 / GL-6

Mais especificamente temos:

DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO API	DESCRIÇÃO ASTM
SA	Lubrificantes para motores diesel e gasolina, em serviços leves. Não requerem dados de performance.	Óleos sem aditivação.
SB	Lubrificantes para motores a gasolina, em serviços leves.	Óleos com alguma capacidade antioxidante e
SC	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de 1964. Devem proporcionar o controle dos depósitos em altas e baixas temperaturas, do desgaste, da oxidação e da corrosão.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores de 1964 a 1967.
SD	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de 1968. Devem proporcionar proteção contra depósitos em altas e baixas temperaturas, contra o desgaste, a ferrugem e a corrosão. Podem substituir qualquer um dos anteriores.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores de 1968 a 1971.
SE	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de 1972. Devem proporcionar maior resistência à oxidação, à formação de depósitos em altas e baixas temperaturas, à ferrugem e à corrosão que os SD. Podem ser usados onde esses são recomendados.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores de 1972 a 1979.
SF	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de 1980. Devem proporcionar maior estabilidade contra a oxidação e melhor desempenho antidesgaste que os SE. Também proporcionam proteção contra depósitos, ferrugem e corrosão. Podem substituir qualquer um dos anteriores.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores de 1980 a 1988.
SG	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de 1989. Podem substituir qualquer um dos anteriores.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores a partir de 1989.
SH	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de julho de 1993. Podem substituir qualquer um dos anteriores.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores a partir de 1993.
SJ	Lubrificantes para motores a gasolina, sob garantia a partir de agosto de 1997. Podem substituir qualquer um dos anteriores.	Óleos que atendem aos requisitos dos fabricantes dos motores a partir de 1997.

Figura 3 – Classificação API (Motores Ciclo OTTO)

DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO API
GL-1	Lubrificantes para engrenagens de transmissões que operam com baixas pressões e velocidades, onde um óleo mineral puro apresenta bons resultados. Inibidores de oxidação, antiespumantes e abaixadores do ponto de mínima fluidez podem ser utilizados, agentes de extrema pressão e modificadores de atrito não devem constar na formulação.
GL-2	Lubrificantes para engrenagens que operam sob condições mais críticas que as anteriores, quanto a cargas, temperaturas e velocidades. Neste caso, um API GL-1 não tem um desempenho satisfatório.
GL-3	Lubrificantes para engrenagens que operam sob condições moderadas de carga e velocidade.
GL-4	Lubrificantes para engrenagens que operam sob condições muito severas, como algumas hipóides em veículos automotivos. Os lubrificantes desta categoria tem que alcançar a performance descrita pela ASTM STP-512 e os níveis de proteção do CRC (Reference Gear Oil) RGO-105.
GL-5	Lubrificantes para engrenagens que operam sob condições muito severas, como algumas hipóides em veículos automotivos. Os lubrificantes desta categoria tem que alcançar a performance descrita pela ASTM STP-512 e os níveis de proteção do CRC Reference Gear Oil RGO-110.
GL-6	É uma categoria obsoleta, listada somente para referência histórica.

Figura 4 – Classificação API (Engrenagens)

3.1.6.2 Classificação SAE

A classificação SAE (Society of Automotive Engineers) é a mais antiga para lubrificantes automotivos. Define faixas de viscosidade, mas não leva em conta os requisitos de desempenho. É indicada por um número. Quanto maior este número, mais viscoso é o lubrificante (PETROBRÁS, 1999).

-Lubrificantes de motor:

Grau SAE para motor (clima quente)

SAE 20 - menos viscoso (óleo fino)

SAE 60 - mais viscoso (óleo grosso)

Grau SAE para motor (clima frio) - W = *winter* (inverno)

5W - menos viscoso (óleo fino)

25W - mais viscoso (óleo grosso)

-Lubrificantes engrenagens:

Grau SAE para engrenagem (clima quente)

SAE 90 - menos viscoso (óleo fino)

SAE 250 - mais viscoso (óleo grosso)

Grau SAE para engrenagem (clima frio)

5W - menos viscoso (óleo fino)

25W - mais viscoso (óleo grosso)

-Lubrificantes multiviscosos:

SAE 20W-40, 20W-50, 15W-50

3.1.6.3 Classificação ASTM

Essa especificação de óleo lubrificante descreve as exigências mínimas e métodos de teste para produtos, determinados pelo fabricante de máquinas. Para a determinação dessas exigências e métodos, existem normas de ensaio, como por exemplo, normas DIN, ASTM, ISO VG, etc.

ASTM (American Society for Testing Materials) é a associação de profissionais nos Estados Unidos para a normatização de métodos de testes e determinações para especificações de lubrificantes. Essas normas existem para facilitar a melhor escolha do lubrificante a ser utilizado, a fim de que o elemento de máquina obtenha um bom funcionamento durante sua vida útil (PETROBRÁS, 1999).

3.1.7 Aditivos dos óleos lubrificantes

Os óleos lubrificantes acabados são óleos formulados a partir do óleo básico com adição de aditivos. Aditivos são substâncias químicas usadas para melhorar ou conferir certas propriedades necessárias aos óleos (CARRETEIRO, et al., 1987). Devido ao surgimento de condições específicas cada vez mais severas, tornou-se necessário o uso de aditivos especiais para, por exemplo, melhorar o índice de viscosidade, reduzir o ponto de fluidez, agir como detergente dispersante, antidesgaste e antiespumante e aumentar a resistência à oxidação. Os principais tipos de aditivos empregados na formulação de óleos, suas características e ação efetiva sobre as propriedades físico-químicas específicas para os óleos lubrificantes são discutidas a seguir: (CARRETEIRO, et al., 1987) (PETROBRÁS, 1999)

- 1) Antioxidante: usados para aumentar a resistência dos óleos básicos à oxidação, retardando o envelhecimento do óleo, aumentando o período de estocagem e a vida útil do mesmo e prevenindo a formação de vernizes e borra. Os mais empregados são os fenóis, ditiofosfato de zinco e compostos de enxofre.
- 2) Desativadores metálicos: utilizados para reduzir a ação catalítica dos metais, retardando, assim, a oxidação. O mais utilizado é o benzotriazol.
- 3) Antiespumantes: empregados para promover a aglutinação das microbolhas formadas no lubrificante, tornando-as maiores, que se rompem mais facilmente. Os mais usados são compostos de silicone e poliacrilatos.
- 4) Antiferrugem: usados para prevenir a oxidação dos compostos ferrosos dos equipamentos. Os mais utilizados são ácidos ou ésteres orgânicos e fosfatos.
- 5) Anticorrosivos: empregados para prevenir a corrosão de superfícies metálicas não ferrosas. Os mais utilizados são os derivados aminoácidos, sulfurados e fosforados.
- 6) Antidesgastes: utilizados para minimizar o desgaste causado pelo contato entre as superfícies metálicas lubrificadas. Os mais comuns são ditiofosfato de zinco, tricresil fosfato, compostos clorados e sulfurados.

- 7) Agentes de extrema pressão: empregados para prevenir soldagem, desgaste ou falha pelo contato entre as partes metálicas sujeitas às condições de lubrificação limítrofe (extrema pressão ou impacto). Os mais utilizados são compostos de fósforo, enxofre e cloro.
- 8) Dispersantes/detergentes: utilizados para manter em dispersão e finamente dispersos os produtos de oxidação do óleo, retardando a formação de borra, que pode depositar-se nos componentes metálicos. Os produtos mais empregados são os sulfonatos metálicos e sabões de cálcio, magnésio e bário.
- 9) Melhoradores do índice de viscosidade: empregados para diminuir a variação de viscosidade do óleo em função da temperatura, possibilitando a permanência de película lubrificante em uma faixa mais ampla de temperatura. Os mais utilizados são os polimetacrilatos e os ésteres.
- 10) Abaixador do ponto de fluidez: utilizados para abaixar o ponto de fluidez, ou seja, permitir que o lubrificante flua a baixas temperaturas. São, portanto, utilizados em ambientes frios. Os mais empregados são também os polímeros metacrilato de alto peso molecular.
- 11) Bactericidas: utilizados para evitar o crescimento de microorganismos (fungos, bactérias e leveduras) em emulsões lubrificantes, impedindo a rápida degradação do fluido e a formação de subprodutos. Os mais utilizados são fenóis, álcoois e compostos clorados.
- 12) Corantes: usados para fornecer coloração distinta ao óleo, possibilitando sua identificação visual.

3.2 Coleta de óleos lubrificantes

Os óleos lubrificantes usados ou contaminados são resíduos perigosos e tem de ser corretamente manuseados, armazenados e destinados, para que o meio ambiente, a saúde da população e dos trabalhadores diretamente ligados à sua manipulação não sofram danos. Esses óleos usados ou contaminados são matéria-prima nobre e essencial para a produção de óleo lubrificante e, após armazenamento e coleta, devem ser enviados para reciclagem (rerrefinador) que retirará os contaminantes e recuperará, dessa maneira, o máximo de óleo lubrificante básico. No processo de coleta, há um pagamento de aproximadamente R\$ 0,40 a R\$ 0,60 por litro por parte do coletor. Esse pagamento não é destinado ao posto, mas sim ao frentista ou ao funcionário responsável pelas trocas (APROMAC, 2010).

Todo o processo de coleta, armazenamento e reciclagem, com o intuito de garantir a segurança, é definido por normas e leis de órgãos ambientais (CONAMA/MMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente) e de reguladores da indústria do petróleo, combustíveis e derivados (ANP – Agência Nacional do Petróleo), assunto especificado no próximo item – “3.2.5 A legislação”.

3.2.1 Riscos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados para a saúde

O óleo lubrificante usado ou contaminado, quando disperso no meio ambiente, causa grandes prejuízos, afetando grande número de pessoas, a fauna e a flora, principalmente quando associado com outros poluentes comuns nas áreas mais urbanizadas. Além de carregar essa carga original de perigo, recebe um reforço extra em sua toxicidade porque os seus componentes, ao sofrerem degradação, geram compostos mais perigosos para a saúde e o ambiente, tais como dioxinas, ácidos orgânicos, cetonas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Somado a isso, o óleo lubrificante usado ou contaminado contém diversos elementos tóxicos (por

exemplo, cromo, cádmio, chumbo e arsênio), oriundos da fórmula original e absorvidos do próprio motor ou equipamento (CEMPRE, 2010). Esses contaminantes são em sua maioria bioacumulativos (ficam no organismo) e causam diversos problemas graves de saúde, como mostrado na tabela abaixo:

Contaminante	Problemas
Chumbo	• Intoxicação aguda – dores abdominais, vômito, diarreia, oligúria, sensação de gosto metálico, colapso e coma; • Intoxicação crônica – perda de apetite, perda de peso, apatia, irritabilidade, anemia. Danos nos sistemas nervoso, respiratório, digestivo, sanguíneo e aos ossos; • Cancerígeno para rins e sistema linfático; • Teratogênico (malformações nos fetos, ossos, rins e sistema cardiovascular); • Acumula principalmente nos ossos.
Cádmio	• Intoxicação aguda – diarreia, dor de cabeça, dores musculares, dores no peito e nas pernas, salivação, sensação de gosto metálico, dores abdominais, tosse com saliva sangrenta, fraqueza, danos no fígado e falha renal. • Intoxicação crônica – perda de olfato, tosse, dispnéia, perda de peso, irritabilidade, debilitação dos ossos, danos aos sistemas nervoso, respiratório, digestivo, sanguíneo e aos ossos. • Cancerígeno para pulmões e traquéia. • Acumula principalmente nos rins, ossos e fígado.
Arsênio	• Intoxicação aguda – violenta gastroenterite, queimação no esôfago, diarreia sanguinolenta, vômito, queda da pressão sanguínea, suor sangrento, dispnéia, edema pulmonar, delírio, convulsões e coma; • Intoxicação crônica – dermatite, escurecimento da pele, edema, danos no sistema nervoso central, cardiovascular, nefrite crônica, cirrose hepática, perda de olfato, tosse, dispnéia, perda de peso, irritabilidade, debilitação dos ossos, danos nos sistemas nervoso, respiratório, digestivo, sanguíneo e aos ossos; • Cancerígeno para pele, pulmões e fígado.
Cromo	• O cromo hexavalente – Cr(VI) - é extremamente tóxico diferentemente do cromo trivalente – Cr(III) - que é essencial na potencialização da insulina. O Cr (VI) é gerado em processos a partir do Cr (III). • Intoxicação aguda – vertigem; sede intensa; dor abdominal; vômito; oligúria e anúria. • Intoxicação crônica – dermatite; edema de pele; ulceração nasal; conjuntivite; náuseas; vômito; perda de apetite; rápido crescimento do fígado. • Cancerígeno para pele; pulmões e fígado.
Dioxinas	• São substâncias organocloradas, persistentes na natureza, extremamente tóxicas, carcinogênicas e teratogênicas. • Essas substâncias agressivas são geradas quando da queima do óleo lubrificante usado ou contaminado, que é ilegal. • As várias dioxinas possuem, cada uma, diversos efeitos danosos à saúde humana. • Apesar da variedade de sintomas, a título ilustrativo, é possível generalizar destacando que todas elas são cancerígenas para sistema respiratório e causam vômito, dores e fraqueza muscular, falhas na pressão sanguínea, distúrbios cardíacos.
Hidrocarbonetos Policíclicos (Polinucleares) Aromáticos	• Compostos caracterizados por possuírem dois ou mais anéis aromáticos (por exemplo benzeno) condensados; • Têm longa persistência no ambiente; • São cancerígenos; • Quando resultantes da queima do óleo lubrificante, que é ilegal, afetam os pulmões, o sistema reprodutor e o desenvolvimento do feto (teratogênico).

Figura 5 – Contaminantes e sintomas provocados (TRISTÃO, et al., 2011)

A má destinação desse resíduo também causa danos ambientais relevantes como listados abaixo (CEMPRE, 2010):

- difícil decomposição - leva dezenas de anos para desaparecer do ambiente por não ser biodegradável;
- inutilização do solo atingido, refletindo tanto na agricultura, quanto na edificação, matando a vegetação e os microorganismos, destruindo o húmus, causando infertilidade da área, que pode se tornar uma fonte de vapores de hidrocarbonetos;
- contaminação do lençol freático e inutilização dos poços da região de entorno;
- apenas 1 litro de óleo lubrificante usado ou contaminado tem capacidade de contaminar 1 milhão de litros de água, comprometendo sua oxigenação;
- apenas 1 litro de óleo lubrificante usado ou contaminado pode atingir 1.000 m² de superfície aquosa;
- se jogado no esgoto, o óleo lubrificante irá comprometer o funcionamento das estações de tratamento de esgoto, chegando a alguns casos a causar a interrupção do mesmo;
- quando queimados (ato ilegal) causam forte concentração de poluentes num raio de 2 km, em média;
- quando queimados (ato ilegal) geram grande quantidade de particulados (fuligem), produzindo precipitação de partículas, grudam na pele e penetram no sistema respiratório humano.

3.2.2 Manuseio

Para a prevenção do trabalhador, deve ser seguida a orientação prevista nas normas regulamentadoras (NR's) do Ministério do Trabalho. O uso de equipamentos de proteção individual (EPI), principalmente luvas impermeáveis (PVC, polietileno ou neoprene) é recomendado para evitar contato direto com o coproduto que contem óleo lubrificante residual.

É também recomendado que a área de manuseio possua ventilação local natural ou mecânica, que todos os elementos condutores do sistema em contato

com o coproduto devam ser aterrados eletricamente e que o uso de ferramentas seja feito com equipamentos antifaiscantes.

3.2.3 Processo de coleta

Como descrito no item 3.2.1 (“Risco dos óleos lubrificantes usados ou contaminados para a saúde”), o óleo lubrificante usado ou contaminado é um resíduo perigoso que pode causar danos à saúde humana e ao meio ambiente. Por esse motivo, os órgãos ambientais (CONAMA e MMA) e reguladores da indústria do petróleo, combustíveis e derivados (ANP e MME) decidiram que o melhor destino para esse resíduo perigoso é a coleta e o envio obrigatório a um rerrefinador que retirará os contaminantes do óleo lubrificante usado ou contaminado e recuperará a máxima quantidade possível de óleo lubrificante básico.

O início do processo envolve todos aqueles que geram óleo lubrificante usado ou contaminado, de forma direta (dono do carro, por exemplo) ou indireta (mecânico que retira o óleo do carro) e são chamadas pela legislação aplicável de “geradores”. A estes, a legislação atribui um papel fundamental que pode ser descrito basicamente por duas obrigações (APROMAC, 2010):

- 1 – os geradores devem cuidar para que o óleo retirado do veículo ou equipamento fique corretamente armazenado enquanto espera sua destinação, de forma que não contamine o meio ambiente e não seja ele próprio contaminado por outros produtos ou substâncias que dificultem ou impeçam a sua recuperação através do rerrefino;
- 2 – os geradores devem entregar o óleo lubrificante usado ou contaminado ao seu revendedor ou diretamente para um coletor autorizado pela ANP. Isso significa que quem é dono de um automóvel, seja ele um carro, uma motocicleta ou caminhão, ou de um equipamento que utiliza óleo lubrificante (trator, colheitadeira, barco, motor estacionário, gerador, etc.) tem obrigação de escolher um serviço de troca (posto, oficina mecânica, supertroca, troca em domicílio, etc.) que atenda a legislação ambiental. Também significa que aqueles que trabalham trocando o óleo de veículos ou equipamentos devem possuir boas condições de armazenagem do óleo

lubrificante usado ou contaminado e devem entregá-lo somente para coletores autorizados.

Para o caso de geradores que não possuem meios de levar seus equipamentos ao um ponto de troca pela natureza de sua atividade ou aplicação, por exemplo, de donos de colheitadeiras, tratores, barcos, frotistas e industriais em geral, devem possuir uma equipe técnica treinada para efetuar a substituição do óleo lubrificante com segurança ou contratar um serviço especializado.

A segunda etapa do processo de coleta é de responsabilidade do revendedor. É considerado revendedor todo aquele que direta ou indiretamente comercializa óleos lubrificantes (postos de serviço, oficinas, supermercados, lojas de autopeças, atacadistas, etc.) e a este são atribuídas atividades para as finalidades de gestão do óleo lubrificante usado ou contaminado (APROMAC, 2010).

A legislação atribui ao revendedor um papel de ligação entre os consumidores do óleo lubrificante acabado (geradores) e os agentes da cadeia de recuperação/reciclagem do óleo lubrificante usado ou contaminado (coletores). São obrigações do revendedor (APROMAC, 2010):

1 - receber dos geradores todo o óleo lubrificante usado ou contaminado por eles entregue;

2 - dispor de instalações adequadas devidamente licenciadas pelo órgão ambiental competente para a substituição do óleo usado ou contaminado e seu recolhimento de forma segura, em lugar acessível à coleta, utilizando recipientes propícios e resistentes a vazamentos, de modo a não contaminar o meio ambiente;

3 - adotar as medidas necessárias para evitar que o óleo lubrificante usado ou contaminado venha a ser misturado com produtos químicos, combustíveis, solventes, água e outras substâncias que prejudiquem ou inviabilizem o seu rerrefino;

4 - alienar os óleos lubrificantes usados ou contaminados exclusivamente a coletores autorizados pela ANP, exigindo:

a) que o coletor apresente as licenças e autorizações emitidas pelo órgão ambiental do Estado ou Município e pela ANP para a atividade de coleta;

b) que o coletor emita e entregue o respectivo certificado de coleta de óleos lubrificantes.

5 – manter, para fins de fiscalização, os documentos comprobatórios de compra de óleo lubrificante acabado e os Certificados de Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado, pelo prazo de cinco anos;

6 – divulgar, em local visível ao consumidor, no local de exposição do óleo acabado posto à venda, a destinação disciplinada na Resolução CONAMA nº 362/2005;

7 - manter cópia do licenciamento fornecido pelo órgão ambiental competente para venda de óleo acabado, quando aplicável, e do recolhimento de óleo usado ou contaminado em local visível ao consumidor.

Já o coletor deve ser uma pessoa jurídica (empresa), licenciada pelo órgão ambiental do seu Estado ou Município e autorizada pela ANP para exercer a atividade de coleta, ou seja, recolher dos diversos pontos de geração o óleo lubrificante usado ou contaminado para entregá-lo ao rerrefinador. O coletor necessariamente deve operar com caminhões especiais, com equipamentos específicos e identificação e sinalização especiais, como nos exemplos mostrados nas figuras a seguir, e também deve emitir e entregar o “certificado de coleta”, que é o documento que demonstrará conformidade com a Lei, com responsabilidade social e ambiental.



Figura 6 – Caminhão de coleta



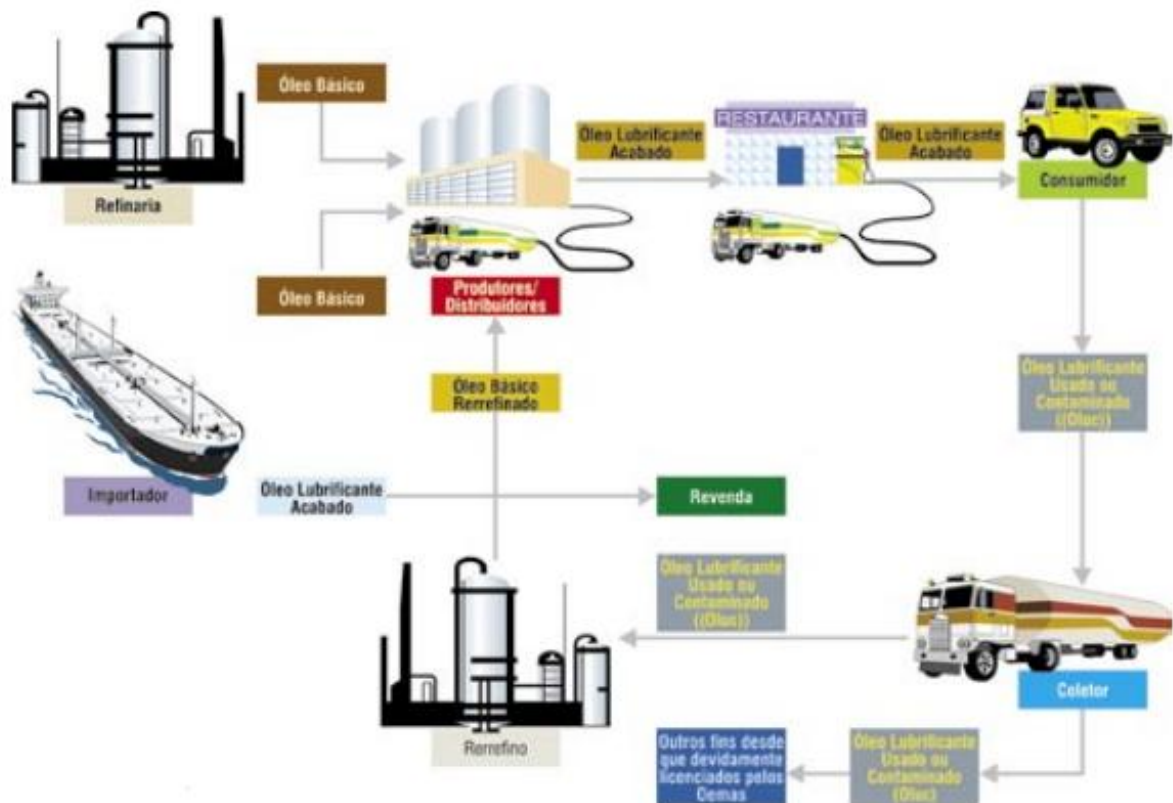
Figura 7 – Identificação e sinalizações especiais

Por fim, para dar a correta conclusão ao processo (figura 8), após coletado, o óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser entregue pelo coletor autorizado para um rerrefinador regularmente licenciado perante o órgão ambiental competente e autorizado pela ANP.



Figura 8 – Fluxograma simplificado do processo de coleta

Abaixo é apresentado o fluxograma simplificado da comercialização dos óleos lubrificantes no Brasil, incluindo o processo de coleta.



Fonte: ANP/modificado Ibama

Figura 9 – Diagrama da comercialização de óleos lubrificantes no Brasil

3.2.4 Panorama atual

Levantamentos indicam que a coleta de óleos lubrificantes usados ou contaminados nos 12 meses de 2009 superou a meta fixada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. A quantidade recolhida corresponde a 37,63% do óleo lubrificante consumido no Brasil, acima, portanto, da meta de 33,4% estabelecida por portaria interministerial do Meio Ambiente e das Minas e Energia. Atualmente, o Brasil ocupa a quinta posição no ranking mundial de reciclagem de óleo. Em 2009, foram recolhidos para rerrefino 359.453 m³ de óleos lubrificantes usados em veículos e em equipamentos diversos (SINDIRREFINO, 2010). A quantidade de óleos encaminhada para rerrefino aumentou de forma significativa, mas ainda há muita perda. Falta consciência da população que troca, por exemplo, o óleo do seu veículo

e despeja em locais não apropriados e das empresas não cadastradas junto à ANP, que fazem a troca e não encaminham o produto usado para o destino adequado.

Abaixo se encontram números referentes ao ano de 2009:

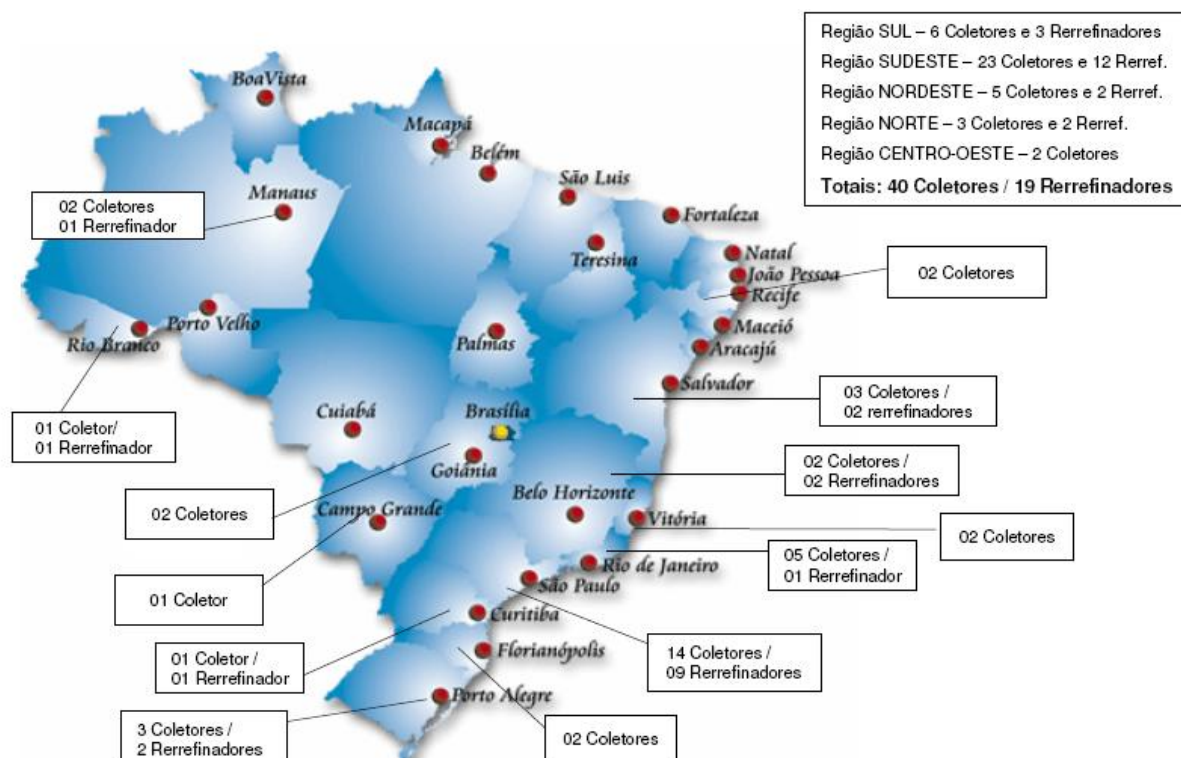
Tabela 2- Comercialização e coleta de óleos lubrificantes - 2009 (ANP)

REGIÃO	Norte	Nordeste	C. Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Comercializado	76.863	134.988	106.717	628.926	229.387	1.175.290
Dispensado de coleta	8.649	16.465	9.499	148.770	36.886	220.269
Coletado	13.002	24.819	26.705	224.278	70.629	359.453
Meta de coleta (%) *	17	19	27	42	33	33
% de coleta atingida	19,06	20,94	27,47	46,71	36,7	37,63

Fonte: SINDIRREFINO

*Metas de coleta com base na Portaria Interministerial MME/MMA N° 464/07

Na região Sudeste existe grande concentração de coletadores e rerrefinadores, uma vez que nela são utilizados mais da metade dos óleos lubrificantes comercializados no país. As regiões norte, nordeste e centro-oeste, juntas, consomem 25% dos lubrificantes no Brasil. As longas distâncias até uma rerrefinaria e a pulverização dos pontos de consumo dificultam a coleta e encaminhamento dos resíduos para o rerrefino. Abaixo, tem-se a distribuição de unidades de coleta e rerrefino de óleos em escala nacional.



Fonte: ANP Nov-2008

Figura 10 – Distribuição de coletores e rerrefinadores

Hoje estão em operação no Brasil, associadas à ANP, 19 unidades de rerrefino (tabela abaixo), sendo que a maioria opera com a tecnologia ácido-argila e *thermo cracking*, seguidas da tecnologia da destilação por flash e evaporação pelicular para desasfaltamento e, depois, a tecnologia do rerrefino a solvente seletivo a propano. (LIMPO, 2011)



AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP
 SUPERINTENDÊNCIA DE ABASTECIMENTO - SAB
 EMPRESAS AUTORIZADAS A EXERCER A ATIVIDADE DE
 RERREFINO DE ÓLEO LUBRIFICANTE USADO OU CONTAMINADO
 ATUALIZADO EM JULHO DE 2011

#	EMPRESA	CNPJ	ENDEREÇO
1	BRAZÃO LUBRIFICANTES LTDA	50.045.897/0001-48	Rod. Aguiar-Pirassununga, km 1,5 – Aguiar - SP
2	ETERNAL INDÚSTRIA, COMÉRCIO SERVIÇOS E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA AMAZÔNIA LTDA.	84.527.274/0001-23	Rua Guiana Francesa nº 01 – Estrada Aleixo Km 12 – Bairro Mauzinho
3	FÁBRICA QUÍMICA PETRÓLEO E DERIVADOS LTDA.	05.853.347/0001-09	Avenida Jamil Nahas, nº 1.071
4	FALUB INDUSTRIA E COMÉRCIO DE LUBRIFICANTES LTDA	00.384.068/0001-11	Rodovia Dom Gabriel Paulino, nº 94 km Pedregulho – Itu – SP
5	INDÚSTRIA PETROQUÍMICA DO SUL LTDA	92.678.432/0001-74	Av. Amo da Silva Feijó, 2777 Distrito Industrial – Alvorada - RS
6	LUBRASIL LUBRIFICANTES LTDA	49.396.591/0001-57	Rod. Piracicaba São Pedro Km 173 Santa Terezinha – Piracicaba - SP
7	LUBRIFICANTES FÊNIX	59.723.874/0001-10	Av. Paris, 3716 Centro Industrial – Paulínia - SP
8	LUBRINOR – LUBRIFICANTES DO NORDESTE LTDA	11.498.284/0001-04	Av. Sudene, 795 CIS Tomba – Feira de Santana - BA
9	LWART LUBRIFICANTES LTDA	46.201.083/0001-88	Rod. Mal. Rondon, km 303,5 – Lençóis Paulista - SP
10	LWART LUBRIFICANTES DO NORDESTE LTDA.	05.013.978/0001-12	Rua dos Industriários, s/nº, Quadra D, Lote 17, Tomba – CIS, Feira de Santana – BA
11	MULTIMINERAL QUÍMICA LTDA	94.738.848/0001-77	RS 118 km 26 nº 12500 Distrito Industrial – Alvorada - RS
12	NORTOIL LUBRIFICANTES LTDA	75.261.198/0001-66	Rod. Pr 317, km 5 Estrada 200 Pq. Industrial especial s/n – Maringá - PR
13	PERFILUB INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS DE PETROLEO LTDA	01.566.500/0001-58	Rod. SP 340 km 194,5 s/n mato Seco – Mogi Guaçu - SP
14	PETROLUB INDUSTRIAL DE LUBRIFICANTES LTDA	17.195.231/0001-09	Rod. BR 040 Km 461, s/nº, Sete Lagoas – MG
15	PROLUB RERREFINO DE LUBRIFICANTES LTDA	52.554.300/0001-16	Av. Sívio Domingos Roncador, 309 Distrito Industrial – Presidente Prudente - SP
16	PROLUMINAS LUBRIFICANTES LTDA	23.821.178/0001-00	Avenida Zizi Campos Nogueira, n.º 65 – Jardim Sion - Varginha - MG
17	QUÍMICA INDUSTRIAL SUPPLY	68.377.894/0001-77	Av. Castelo Branco nº 3.100 – Distrito Industrial Tapirai - SP
18	RERREFINADORA BRASILEIRA DE ÓLEOS LUBRIFICANTES LTDA	58.383.613/0001-35	Rodovia Campinas/ Mogi Mirim, Km 146,9 Pirapitingui – Sto. Antonio de Posse - SP
19	TASA LUBRIFICANTES LTDA	28.726.412/0001-22	Rod. Pres. Dutra, 20000, km 183 Comendador Soares – Nova Iguaçu - RJ

Fonte: ANP

Figura 11 - Empresas autorizadas a exercer a atividade de rerrefino

3.2.5 A legislação

Atualmente está vigente a Resolução Conama 362/2005 (vide Resolução completa em ANEXOS), que torna severa a punição pelo descumprimento das normas relativas ao gerenciamento, coleta, transporte e rerrefino dos óleos usados. Caso o descarte for realizado de qualquer outra forma, o responsável estará cometendo crime ambiental por lei (PROLUMINAS, 2010).

Pontos a serem destacados dessa Resolução são:

“Art. 1º Todo óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final, de modo que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos constituintes nele contidos, na forma prevista nesta Resolução.

“Art. 2º Para efeito desta Resolução serão adotadas as seguintes definições:

I - coletor: pessoa jurídica devidamente autorizada pelo órgão regulador da indústria do petróleo e licenciada pelo órgão ambiental competente para realizar atividade de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado;

II - coleta: atividade de retirada do óleo usado ou contaminado do seu local de recolhimento e de transporte até a destinação ambientalmente adequada;”

“Art. 3º Todo o óleo lubrificante usado ou contaminado coletado deverá ser destinado à reciclagem por meio do processo de rerrefino.”

“Art. 5º O produtor, o importador e o revendedor de óleo lubrificante acabado, bem como o gerador de óleo lubrificante usado, são responsáveis pelo recolhimento do óleo lubrificante usado ou contaminado, nos limites das atribuições previstas nesta Resolução.”

“Art. 6º O produtor e o importador de óleo lubrificante acabado deverão coletar ou garantir a coleta e dar a destinação final ao óleo lubrificante usado ou contaminado, em conformidade com esta Resolução, de forma proporcional em relação ao volume total de óleo lubrificante acabado que tenham comercializado.”

Com isso, fica evidente que o revendedor também possui um papel importante junto ao coletor. A responsabilidade dos revendedores é dupla: de um lado têm todas

as obrigações dos geradores no sentido de evitar que o óleo lubrificante usado ou contaminado polua o meio ambiente, ou seja, misturado com produtos ou substâncias que inviabilizem o seu rerrefino; por outro lado, como agentes dos produtores e importadores do óleo lubrificante, tem a obrigação de dar todo o suporte ao recolhimento seguro e a sua entrega aos coletores autorizados.

Em relação ao volume de coleta, a atual Portaria 127/99 da ANP (outubro de 2001), determina que pelo menos 30% do volume de óleo comercializado seja coletado e destinado ao rerrefino. Além disso, como descrito anteriormente, as empresas de coleta e rerrefinadores de óleos lubrificantes devem ser cadastradas na Agência Nacional do Petróleo (ANP) - antigo Departamento Nacional de Combustíveis (DNC), conforme exigência das Portarias 125, 127 e 128 da própria Agência Nacional do Petróleo, respeitando normas de recolhimento, coleta, transporte e destinação final (MMA, 2010).

Portanto, como a maioria das empresas que realizam a coleta também são responsáveis pelo rerrefino, uma empresa de coleta de óleo lubrificante deve estar credenciada para atividade de rerrefino por meio de Licença de Funcionamento, estar registrada na ANP para atender às Portarias 125, 127 e 128, como coletor, rerrefinador de óleo lubrificante e produtor de óleos básicos rerrefinados e deve ser certificada por órgãos fiscalizadores através de emissões de licença de operações.

3.3 Rerrefino de óleos lubrificantes usados

3.3.1 Óleos usados – composição

De acordo com a portaria ANP 125/99 e a resolução Conama 09/93, óleo lubrificante usado ou contaminado é o óleo lubrificante que, em função do seu uso normal ou por motivo de contaminação, tenha se tornado inadequado à sua finalidade original. Os óleos lubrificantes, após certo período de uso, perdem suas características iniciais, tornando-se necessária sua substituição, para garantir melhor desempenho

e uma vida útil mais longa. Porém, este óleo usado nunca perde suas qualidades lubrificantes, apenas se suja com o uso e tem suas propriedades afetadas. A análise de um óleo lubrificante usado demonstra que as impurezas representam 20 a 35% de seu volume. (AMBIENTEBRASIL, 2003)

Abaixo seguem os contaminantes geralmente presentes nos óleos já utilizados:

- Água: normalmente proveniente da condensação de umidade presente no ar ou de uma infiltração; fica retida em suspensão como defesa dos equipamentos lubrificados.
- Produtos voláteis: consistem dos combustíveis líquidos, tais como a gasolina e o óleo diesel. As causas da diluição do óleo lubrificante pela incorporação dessas frações leves são, entre outras, as misturas ricas de combustíveis, partidas repetidas com motor a frio, possíveis folgas nos cilindros, vazamento ou má combustão.
- Partículas sólidas: carvão (fuligem), poeira, fragmentos metálicos (decorrentes do atrito), entre outros, que são insolúveis no óleo.
- Compostos insolúveis: aditivos degradados, podendo gerar sulfatos de chumbo, óxidos de chumbo, etc.
- Compostos solúveis: aditivos não degradados, decompostos devido ao calor, com geração de hidrocarbonetos insaturados, oxigenados e poli insaturados. Estes tendem a polimerizar formando resinas, verniz, gomas, outras matérias asfálticas, e altos polímeros, além de compostos halogenados, fenóis, entre outros.

Tabela 3 - Principais elementos contaminantes tipicamente contidos nos óleos lubrificantes usados e concentrações estimadas

Elementos	Origem	Limites (ppm)
Ba	Aditivos detergentes	< 100
Ca	Aditivos detergentes	1000 - 3000
Mg	Aditivos detergentes	100 – 500
Zn	Aditivos antidesgastes	500 – 1000
Fe	Degradação do motor	100 – 500
Cr	Degradação do motor	Traços
Ni	Degradação do motor	Traços
Al	Mancal	Traços
Cu	Mancal	Traços
Sn	Mancal	Traços
Si	Aditivos/ água	50 –100
S	Óleo basico/produtos da combustão	0,2 –1%
Água	Combustão	5 – 10%
Hidrocarbonetos leves	Combustível	5 – 10%
PAH	Combustão incompleta	< 1000

Fonte: CONCAWE (1996)

As reações químicas que podem resultar em contaminação de um óleo lubrificante são:

- Oxidação da superfície metálica
- Oxidação de hidrocarbonetos e formação de ácidos
- Polimerização de hidrocarbonetos e formação de filmes resinosos
- Hidrólise dos aditivos
- Oxidação dos aditivos
- Interação dos componentes

O caráter poluente dos óleos usados é caracterizado por suas características:

- Produto preto e viscoso cobrindo a água e impedindo seu contato com o ar;
- Sua penetração no solo é facilitada pela presença de agentes tensoativos;

- São rejeitados ao nível do consumidor, ou seja, de maneira bastante dispersa.

Resumindo, o problema de reciclagem (ou regeneração) de óleos usados deve ser considerado à luz de três pontos básicos:

- 1) Óleo usado é um resíduo bastante poluente;
- 2) Óleos usados podem ser queimados e consequentemente são uma fonte de energia;
- 3) Óleos usados podem ser rerrefinados em novos óleos básicos e consequentemente podem ser considerados como matéria prima.

3.3.2 Destinação dos Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados

Os óleos lubrificantes usados ou contaminados devem obter tratamentos distintos para assumir características de óleo reutilizado, reciclado ou regenerado. Em resumo, as definições referentes a esses tratamentos devem considerar os seguintes conceitos básicos:

Tabela 4 - Tipos de tratamentos para os óleos lubrificantes usados

Tratamento	Conceito	Entrada do Processo	Saída do Processo	Exemplo
<u>Reuso</u>	Reutilização do resíduo, sem que haja tratamento para transformar suas características físicas ou físico-químicas.	Resíduo	Produto final ou matéria prima	Queima do óleo usado com aproveitamento energético; utilização do óleo usado na produção de asfaltos.
<u>Reciclagem</u>	Tratamento do resíduo, de modo a possibilitar seu reaproveitamento.	Resíduo	Matéria prima	<u>Rerrefino</u> de óleos lubrificantes usados.
<u>Regeneração</u>	Tratamento do resíduo até a restauração do produto original.	Resíduo	Produto final	<u>Rerrefino</u> de óleos lubrificantes usados + Produção de óleos acabados.
<u>Rerrefino</u>	Processo de obtenção de óleos lubrificantes básicos.	Resíduo	Matéria prima	<u>Rerrefino</u> através de <u>ultrafiltração</u> por membranas e adsorção. O <u>rerrefino</u> é um tipo de reciclagem.

Como o presente trabalho tem interesse em focar nos processo de rerrefino dos óleos, será desprendida uma atenção inicial para suas definições e características.

3.3.3 Características Gerais e Objetivos do Rerrefino

Conforme exposto acima, o rerrefino é um processo de obtenção de óleos básicos, através de uma sequência de processos (métodos de limpeza) que remove todos os contaminantes, incluindo água, partículas sólidas, produtos de diluição, produtos de oxidação e os aditivos previamente incorporados ao óleo básico, tornando o óleo adequado para uso posterior, como mostra a figura que segue (RALDES, et al., 1981).

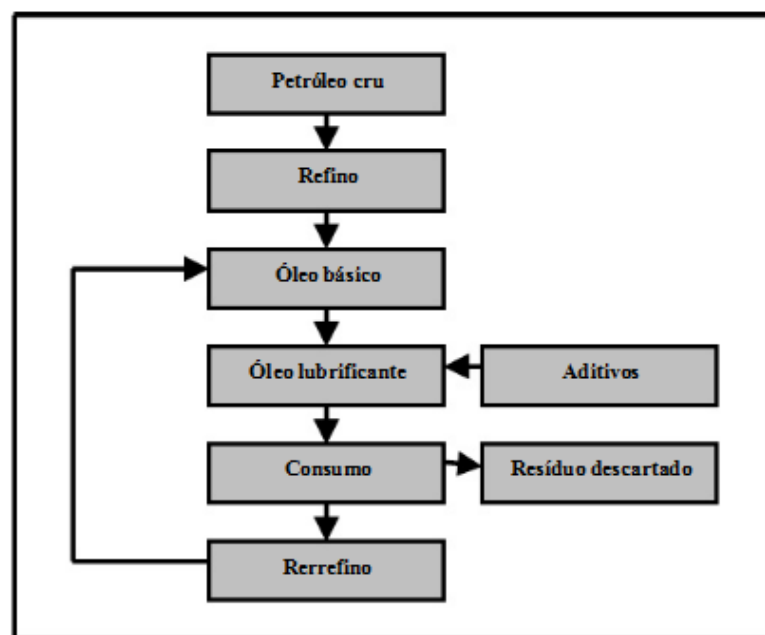


Figura 12 - Ciclo de rerrefino do óleo lubrificante (TRISTÃO, et al., 2011)

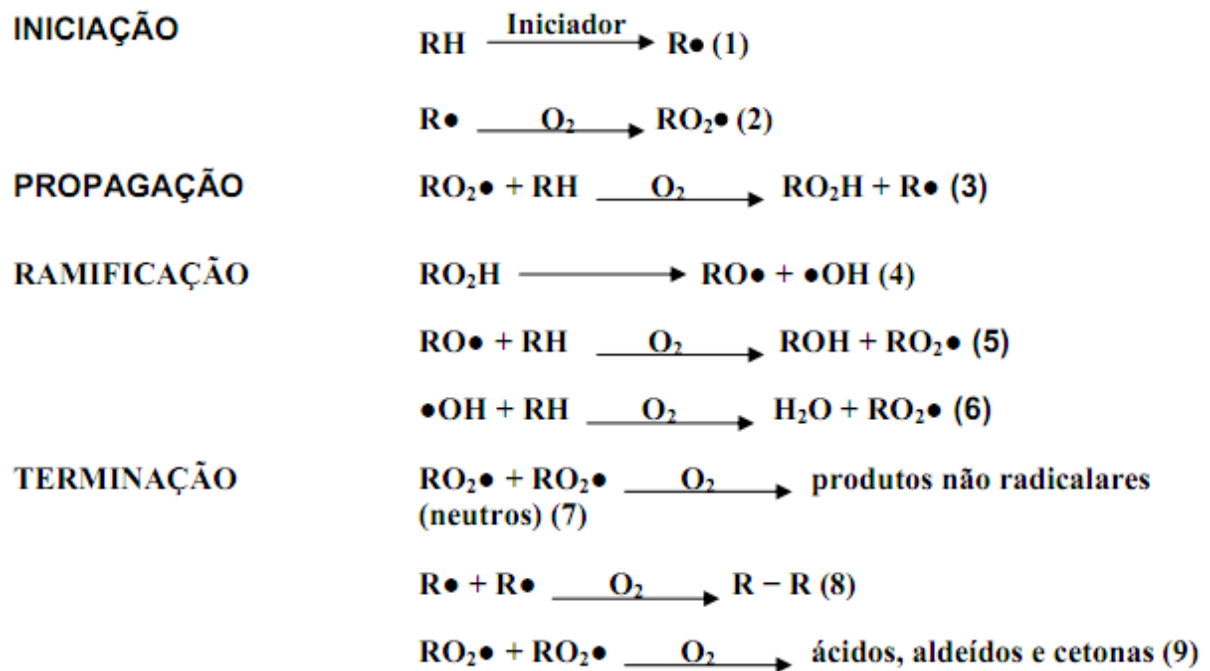
De acordo com (IBAMA-MMA, 2008), o processo industrial de rerrefino promove a remoção de contaminantes (chumbo, arsênio, cádmio, cromo, 111–triclouroetano, tricloroeteno, tetracloroeteno, percloroetileno, tolueno e naftaleno) e

dos demais produtos de degradação dos aditivos gastos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados, conferindo-lhes características de óleos básicos.

Os métodos podem incluir decantação, aquecimento, desidratação, filtração e centrifugação. Trata-se de uma solução prática e racional para os problemas de poluição ambiental e produção dos óleos, que evita a poluição, o desperdício e aumenta a produção de lubrificantes, além de economizar energia, uma vez que a energia gasta no rerrefino é um terço da energia despendida para produzir a mesma quantidade de óleo virgem (primeira destilação).

O rerrefino propriamente dito é o uso, após passarem pelos métodos acima, de processos básicos de refino em óleos usados para produzir óleos básicos de alta qualidade. Pode incluir destilação, hidrotratamento e/ou tratamentos empregando ácido sulfúrico, soda cáustica, solvente, argila e/ou produtos químicos.

O mecanismo a seguir, mostra o processo de oxidação do óleo básico. As reações de oxidação envolvem radicais livres formados a partir de agentes externos (por exemplo: homólise por radiação luminosa ou termólise) (reação 1). Os radicais iniciais formados se combinam com moléculas de oxigênio (reação 2) para formarem novos radicais que, por reações de propagação, (reação 3) reagem com moléculas neutras do óleo (RH), formando novos radicais. As moléculas de hidroperóxidos que se formam (reação 3) podem formar novos radicais (ROy e HOy) por homólise da ligação O-O (reação 4) que, por sua vez, podem reagir com moléculas neutras de óleo para gerarem novos radicais (reações 5 e 6). A combinação de dois radicais livres dá origem a novas moléculas neutras (reações 7, 8 e 9) normalmente de massas molares mais altas que podem espessar o óleo (MCMURRY, 2005).



Onde:

RH: hidrocarboneto

RO₂H: hidroperóxido

R•: radical livre de hidrocarboneto

RO₂•: radical livre a partir do hidroperóxido

Figura 13 – Processo de oxidação do óleo básico (MCMURRY, 2005)

3.3.4 Descrição dos processos físico e químico do rerrefino

Será apresentada, a seguir, uma breve descrição das etapas envolvidas no rerrefino de óleos lubrificantes usados. Dentre essas etapas, estão envolvidos um conjunto de processos, alguns de natureza física (utilizam apenas as diferenças entre as propriedades físicas dos compostos, para separá-los em diversos produtos) e outros de natureza química (utilizam reações químicas para obtenção de produtos e purificação dos mesmos).

3.3.4.1 Processos físicos

a) Sedimentação: consiste em armazenar o óleo usado em um tanque de fundo cuneiforme, sem agitação, por um período de tempo suficiente e adequado. Este método depende da densidade da água e das impurezas sólidas do óleo. Os produtos oxidados que tem a mesma densidade do óleo não serão removidos. Algumas impurezas se separam lentamente, outras, mais rapidamente. Os óleos mais fluidos se separam das matérias em suspensão com maior facilidade do que os mais viscosos.

Algumas impurezas são tão leves, que se torna impossível purificar o óleo sem a utilização de certos procedimentos que aceleram a decantação. Estes procedimentos incluem o aquecimento pelo vapor ou água quente, adição de coagulantes, etc. A introdução de vapor (a 70 ou 80°C) não só aquece o óleo, como também atua de tal forma que as impurezas leves são arrastadas para o fundo do tanque juntamente com as mais pesadas. Quando se deixa o óleo em repouso, é importante que o aquecimento seja desligado, caso contrário haveria a formação de correntes que dificultariam a sedimentação das impurezas.

b) Filtração: consiste em fazer passar o óleo através de certos materiais que retêm as partículas sólidas. Podem ser classificados em quatro tipos genéricos:

- Filtro de placa;
- Filtros de algodão, estopa, papel e celulose;
- Filtros que empregam argilas ativadas;
- Filtros magnéticos.

c) Centrifugação: é um processo mecânico pelo qual a separação das impurezas dos líquidos é acelerada, fazendo-se girar em altas velocidades periféricas. A força centrífuga é, portanto, o agente acelerador. Este processo é econômico para grandes volumes de óleo. Não remove aditivos e ocupa pequeno espaço.

d) Desidratação térmica: consiste em passar o óleo lubrificante em uma coluna de dois estágios, que operam independentemente. O primeiro estágio consiste em aquecer o óleo na faixa de 160 a 200°C, sob pressão normal. O óleo circula em um fluxo contínuo através de um trocador de calor e, na coluna inferior,

com uma bomba de circulação, atravessa o trocador de calor e retorna à coluna superior. Deste circuito, uma certa quantidade de óleo desidratado é removida para o segundo estágio, na parte superior da coluna, onde de lá é resfriado. A água e as frações leves são retiradas pelo topo da coluna e condensadas em um condensador.

e) Extração por solvente: pode ser aplicado a qualquer tipo de óleo lubrificante, de origem parafínica. A matéria prima, além de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, contém também indesejáveis resinas, borras, compostos asfálticos, etc. A ação do solvente é distribuir o óleo em duas fases miscíveis: fase de extração e fase de refinado. A escolha do solvente depende dos seguintes fatores:

- Características do óleo lubrificante;
- Características das fases;
- Facilidade de recuperação do solvente.

O propano pode ser usado em combinação com outros solventes, tais como fenol e ácido cresílico, fenol e furfural estão entre os solventes mais usados para incrementar a qualidade do óleo lubrificante.

No processo fenol, os constituintes indesejáveis são removidos por uma mistura de fenol e água. Em um sistema típico, o óleo a ser tratado flui através de uma torre de tratamento em contracorrente a um vapor da mistura fenol-água. A pressão na torre é atmosférica e a temperatura varia na faixa de 60 a 90°C.

f) Destilação: devem ser considerados os seguintes fatores:

- Faixa dos pontos de ebulição dos componentes;
- Estabilidade térmica;
- Especificações das frações a serem obtidas.

Cabe recordar que destilação é a operação unitária que faz uso das diferenças de volatilidade entre os componentes de uma mistura líquida para separá-los. No entanto, certos óleos possuem pontos de ebulição tão elevados que não podem ser vaporizados à pressão atmosférica. Nestes casos, utiliza-se a destilação sob vácuo ou pelo uso de grande quantidade de vapor. Temperaturas elevadas resultam em uma perda de lubrificante viscoso devido ao possível craqueamento.

3.3.4.2 Processos químicos

a) Acidulações: o uso de ácido sulfúrico concentrado é especialmente indicado para a produção de certos tipos de minerais, óleos medicinais, óleos brancos e óleos isolantes. O ácido ataca os hidrocarbonetos insaturados, produzindo ésteres, alcoóis, polímeros e produtos oxidados. Em temperaturas normais (30 a 40°C), o ácido sulfúrico reage menos com os hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos. A tendência à emulsificação e à formação de resíduo carbonoso é sensivelmente reduzida.

O tratamento por ácido sulfúrico (92 a 98% puro) compreende um reator central provido de uma bomba dosadora, tanque de sedimentação, tanque intermediário, tanque para a borra ácida e instrumentação. Geralmente, é necessário um tempo de sedimentação da ordem de 24 horas para a completa sedimentação da borra (formada pelos elementos atacados pelo ácido: compostos oxidados, aditivos não degradados e compostos insaturados).

b) Neutralização: consiste em adicionar soda ou potassa cáustica no óleo, com o objetivo de neutralizar os ácidos presentes, convertendo-os em sais. Este tratamento é feito em um tanque de fundo abaulado provido de um agitador.

c) Hidroacabamento: o hidrogênio age para saturar os hidrocarbonetos instáveis. Além de melhorar a cor, obtém-se uma melhor resistência à oxidação e uma redução do resíduo de carbono. O hidrogênio no reator atinge de 30 a 50kgf/cm², a uma temperatura de 280 a 340°C, em uma taxa de reciclagem na ordem de 100 a 200 m³ de hidrogênio puro por m³ de óleo a 15°C, sob 1kgf/cm².

3.3.5 Processos de Rerrefino

Existem inúmeros processos complexos de rerrefino de óleos lubrificantes. Serão citados alguns dos mais utilizados a seguir.

3.3.5.1 Processo clássico Ácido-Argila

Esse processo (Figura 14) é bem antigo e foi desenvolvido na Alemanha Ocidental, por Bernd Meiken. Compreende as seguintes etapas (CARRETEIRO, et al., 1987):

- a) Filtração Primária: o óleo usado é peneirado para a remoção de impurezas sólidas grosseiras (granulação maior que 3 mm).
- b) Decantação e desidratação: o óleo peneirado é mantido sob determinadas condições de temperatura e pressão (aproximadamente 160°C e 1atm) para a eliminação da água e de algumas frações leves presentes no produto.
- c) Destilação (à vácuo): sob temperatura de 280°C e pressão de aproximadamente 58 mmHg são separadas, por destilação, as frações classificadas como leves (gasolina, óleo diesel e outros lubrificantes de baixa viscosidade), as quais, em geral, são aproveitadas como combustível no próprio processo de rerrefinação.
- d) Acidulação ou Sulfonação (tratamento ácido): após a destilação, o produto é resfriado para uma temperatura de 30 a 40°C e, a seguir, bombeado para os tanques de acidulação, onde, após o óleo receber certa dosagem de ácido sulfúrico concentrado deverá permanecer por 24 horas (tempo de residência). O ácido ataca compostos oxidados, aditivos não degradados, compostos insaturados, polímeros e asfaltos, fazendo com que estes elementos formem uma borra ácida no fundo do tanque, a qual é drenada e descartada em locais preestabelecidos pelos órgãos de meio ambiente.
- e) Neutralização (tratamento alcalino): devido ao tratamento ácido que o óleo sofre, é necessário neutralizá-lo (com soda ou potassa cáustica, adicionadas gradativamente e em proporções definidas).
- f) Clarificação: através de argila clarificante (2,5%), a uma temperatura de 150°C por determinado período de tempo.
- g) Destilação e Fracionamento de diferentes óleos básicos: após a clarificação, o óleo é enviado para um aquecedor, de onde os compostos voláteis vão para uma coluna, chamada *spindle* que opera sob um vácuo de 80 mmHg. Assim, os derivados leves remanescentes são separados e obtêm-se os óleos lubrificantes básicos rerrefinados.

- h) Acabamento: através de argila para os *spindle* e *neutrals*; através de ácido/argila para o *bright stock*.
- i) Filtração: o óleo é tratado em filtros prensa para a separação da argila utilizada e eliminação de partículas de carbono e materiais coloridos remanescentes no produto.

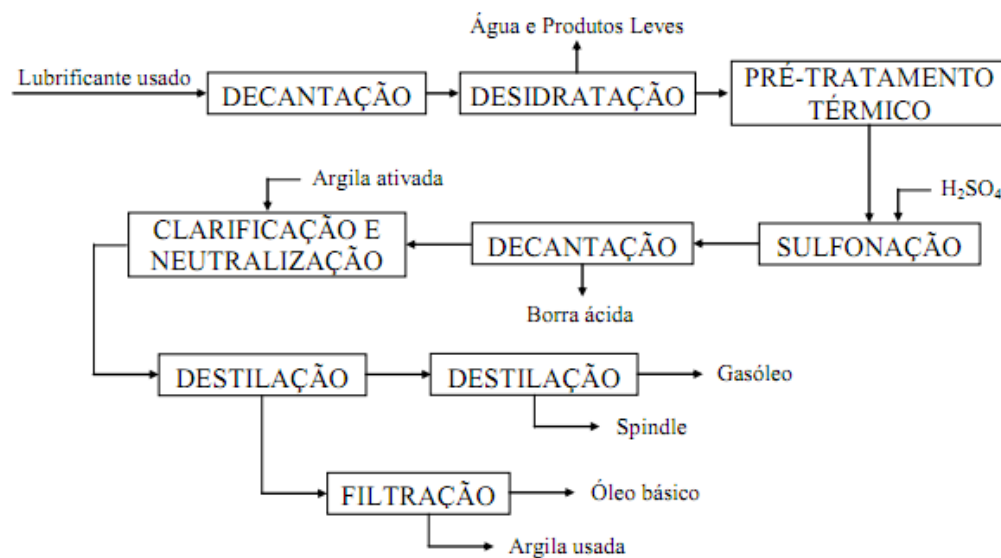


Figura 14 - Fluxograma do processo ácido sulfúrico-argila (CARRETEIRO, et al., 1987)

Muitos rerrefinadores no Brasil usam esse processo, que já está em desuso nos países mais desenvolvidos. Os inconvenientes são o alto custo de produção, uma vez que há maior consumo de ácido sulfúrico, argila ativada, neutralizantes e clarificantes. Além disso, há geração de maior quantidade de borra ácida (poluente de difícil eliminação) e rendimento em torno de 75%. As vantagens são a possibilidade de poder tratar pequenas quantidades de óleo usado e as instalações requererem menores investimentos iniciais. (MOREIRA, 1980)

3.3.5.2 Extração seletiva a propano com tratamento ácido

Foi desenvolvido, pelo Instituto Francês de Petróleo. Várias indústrias européias adotaram esse processo, que tem algumas vantagens sobre o processo convencional Ácido-Argila, como a redução de ácido sulfúrico, redução da borra ácida, redução do consumo de argila, aumento do rendimento de produção de 75%

para 83% e a obtenção de óleos de melhor qualidade (MOREIRA, 1980). Além da extração com solvente, utiliza tratamento ácido (com ácido em proporções muito menores que o processo convencional) (RINCÓN, 2003).

O processo segue as seguintes etapas:

- a) Decantação
- b) Desidratação e eliminação dos voláteis: constituído por um balão de flash ou uma coluna para eliminação da água e dos voláteis. A água presente em condições variáveis (0,5 a 5%) é eliminada ao mesmo tempo em que os poluentes voláteis do tipo fenóis e outros derivados de aditivos. A eliminação desses diversos produtos é essencial por causa do seu odor e seu efeito prejudicial possível sobre os tratamentos subseqüentes. Uma parte dos voláteis polares é automaticamente eliminada com a água devido às interações moleculares.
- c) Extração de contaminantes por solventes utilizando propano: como segunda etapa do rerrefino, o IFP propõe uma purificação física profunda utilizando a clarificação com propano. Uma vantagem evidente deste processo é a separação das impurezas sem a eliminação dos hidrocarbonetos que não estão combinados no resíduo asfáltico. A clarificação do propano permite eliminar as partículas em suspensão (carbono, poeiras, metais devido à fricção, derivados de aditivos, moléculas oxidadas condensadas, etc.) assim como os compostos de peso molecular elevado não solúveis no propano, nas condições de utilização. Enfim, são extraídos aditivos, resíduos de combustão e resíduos provenientes da degradação térmica. O óleo decantado e desidratado é misturado com propano. A unidade de extração por propano opera a 500 psig e a elevada temperatura. O propano contendo óleo dissolvido é extraído pelo topo da unidade, enquanto que os produtos asfálticos e oxidados são removidos pelo fundo. Este resíduo (4% de óleo usado) pode ser queimado em forno especial depois de adequadamente misturado com combustível. A solução óleo/propano é enviada para uma unidade de recuperação de propano e o óleo segue para as demais etapas.
- d) Tratamento com ácido sulfúrico (etapa de refino): consiste em adicionar ao óleo desidratado uma grande quantidade de ácido (por exemplo, 5 a 18% em peso). Ainda aceitável há 15 ou 20 anos, este processo tornou-se obsoleto

para novas instalações devido ao incomodo e ao custo que representa a utilização importante de ácido e a produção de rejeitos correspondentes. Este processo, também, perde sua eficácia no caso de óleos usados ainda muito ativos.

- e) Tratamento com argila ativada (2%) ou percolação: com o objetivo de neutralização e primeiro ajuste das especificações desejadas, após o tratamento ácido e a separação das borras, a adição de terra permite adsorver as finas partículas de restantes em suspensão. Após destilação a vácuo (próxima etapa) de um óleo global descolorado (por tratamento ácido e argila ou hidrogenação catalítica), uma adsorção adicional do resíduo oleoso com argila é geralmente recomendada. De uma maneira geral, uma adsorção com pequena quantidade de argila pode ser considerada como um meio de ajustar a cor, o resíduo de carbono Conradson e o índice de acidez às especificações, sendo também melhoradas outras propriedades.
- f) Destilação fracionada a vácuo: é a etapa de separação das várias frações do óleo em função das diversas viscosidades.
- g) Filtração.

3.3.5.3 Processo de Destilação-Hidrogenação (*Kinetics Technology International – KTI*)

Processo (Figura 15) desenvolvido por técnicos holandeses e americanos. Apresenta a grande vantagem de eliminar o uso de ácido sulfúrico e incluir técnicas modernas que permitem completa automatização e a obtenção de um produto de alta qualidade. Não há formação de borras ácidas ou argilosas, o que constitui sua principal vantagem com relação aos processos anteriores, isto é, menores perdas e, conseqüentemente, maior rendimento. Porém, o grande inconveniente é o investimento inicial: só se torna econômico para uma produção mensal mínima de 20.000 m³ para poder funcionar em plena carga, o que no Brasil se torna impraticável, pois não é possível se coletar tanto óleo usado. As etapas deste processo incluem:

- a) Pré-tratamento: desidratação e a remoção de produtos leves sob condições controladas.
- b) Destilação fracionada à vácuo: por esta etapa são obtidos os gasóleos e destilados próprios para a produção posterior de óleos básicos. Os resíduos podem ser destinados à produção de asfalto.
- c) Tratamento com hidrogênio: estabilização do óleo, com melhoria da cor e do odor. O óleo destilado é misturado com um gás rico em hidrogênio, aquecido entre 270°C e 320°C e, em seguida, escoado através de um catalisador (CoMo/Al₂O₃) contido em um reator, cuja pressão varia entre 15-30 kgf/cm². A atividade do catalisador e as condições de operação são tais que ocorre pouco ou nenhum craqueamento. Os produtos do reator são separados e a maior parte do gás rico em hidrogênio é reciclado por um compressor. O hidrogênio necessário à esse tratamento é produzido numa unidade anexa de reforma catalítica de naftas de destilação direta.
- d) Tratamento final: o óleo hidroacabado sofre uma remoção final de componentes mais voláteis (*stripping*) com vapor, para obter-se um produto com as especificações requeridas. É depois secado numa coluna a vácuo obtendo-se os óleos básicos prontos, que são bombeados para os tanques de estocagem. Assim, são obtidos óleos básicos de alta qualidade. (ALI, 1995).

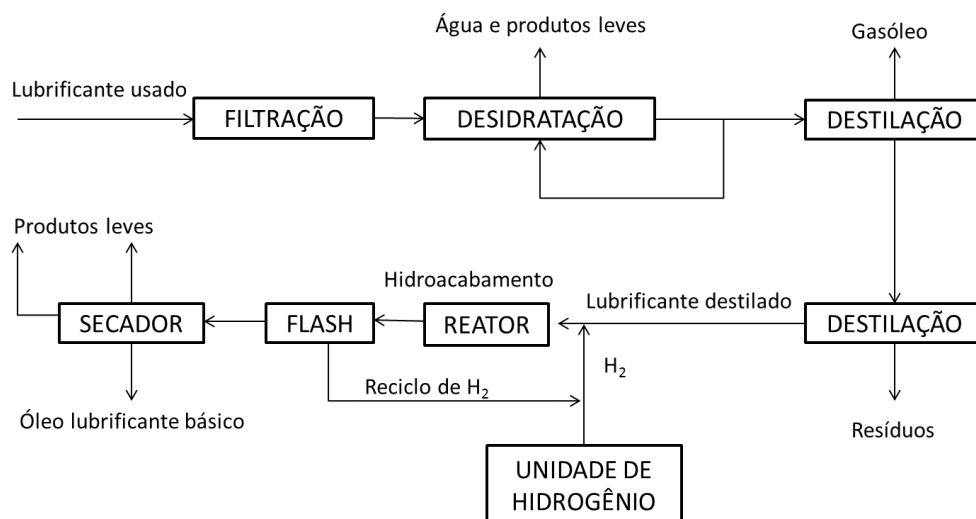


Figura 15 - Fluxograma do processo KTI (RALDES, et al., 1981)

3.3.5.3 Processo Evaporador de Filme (*Thin film evaporator*)

Este método (Figura 16) foi desenvolvido e patenteado pela Pflauser & Co Ltda, dos Estados Unidos. Na realidade, inicialmente houve uma adaptação ao rerrefino, uma vez que esse processo era utilizado no reaproveitamento de produtos químicos e recuperação de solventes, posteriormente substituiu o processo de extração por solvente. É um processo que exige menor quantidade de ácido sulfúrico na etapa de sulfonação.

A utilização do processo evaporador de filme a vácuo, nas atividades industriais de rerrefino envolve as seguintes seqüências: sulfonação, clarificação, neutralização e filtração e, possui como resíduo a borra neutra que pode ser encaminhada para indústrias cimenteiras ou usada na composição de asfaltos. É um processo que exige menor quantidade de ácido sulfúrico na etapa de sulfonação e os efluentes líquidos são tratados em lagoas aeradas. As fases desse processo, tais como desidratação, sulfonação, clarificação, neutralização e filtração, foram descritos no processo ácido sulfúrico-argila (LWART, 2010).

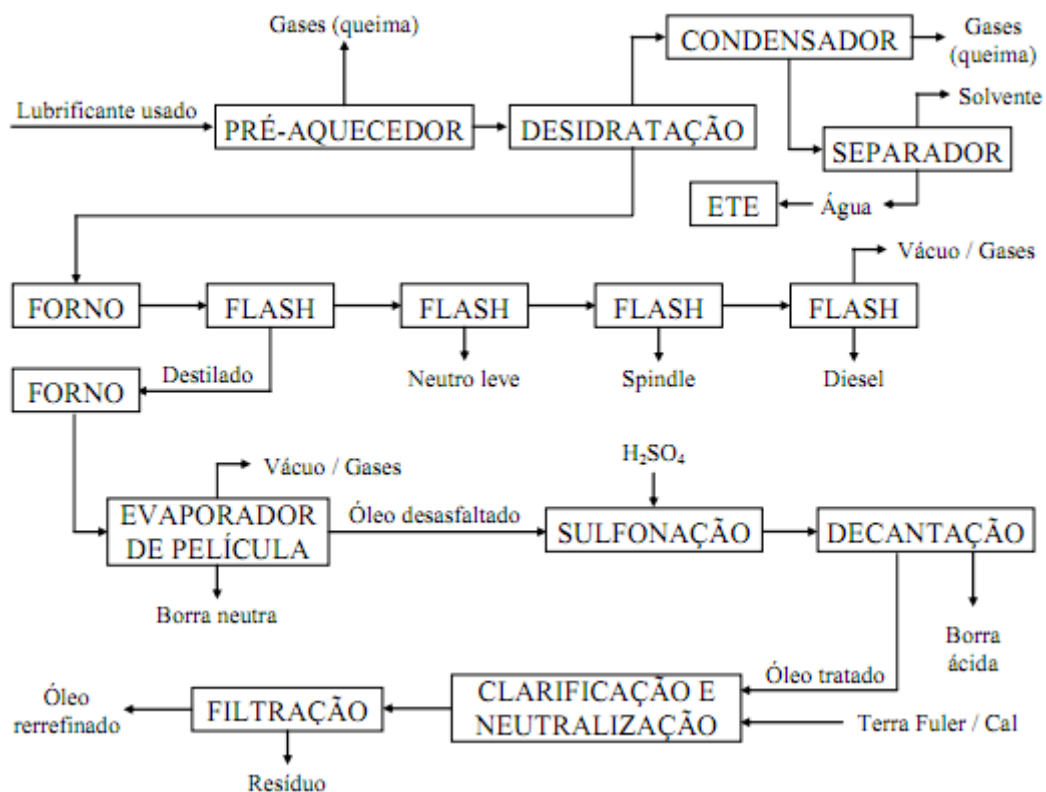


Figura 16 - Fluxograma do Processo Evaporador de Filme (LWART, 2010)

3.3.5.4 Ultrafiltração por Membranas e Adsorção

Os primeiros estudos realizados com rerrefino de óleo lubrificantes de combustão interna utilizando membranas de ultrafiltração, foram feitos no Instituto Francês de Petróleo (IFP), pelos pesquisadores Audibert, et al, em cooperação com a indústria Rhône-Poulenc. A técnica de ultrafiltração é nada mais que uma filtração em escala molecular: uma membrana retém substâncias de massa molar maior, enquanto as de massa molar menor são permeadas. Este processo compreende as seguintes etapas iniciais:

- a) Filtração Primária: o óleo usado é peneirado para a remoção de impurezas sólidas grosseiras.
- b) Decantação: o óleo peneirado é mantido sob determinadas condições de temperatura e pressão (aproximadamente 160°C e 1atm) para a eliminação da água e de algumas frações leves presentes no produto.
- c) Desidratação e eliminação dos voláteis: conforme mencionado anteriormente, esta fase consiste de um balão de flash ou uma coluna para eliminação da água e dos voláteis. Os solventes são aproveitados como combustível para os fornos e a água é enviada para tratamento.
- d) Destilação Flash: uma vez desidratado, o óleo é bombeado para um forno onde é aquecido até uma temperatura de 280°C. A partir daí, o óleo entra no sistema de vasos de flasheamento sob alto vácuo (28 mbar). Aqui são separadas as frações leves do óleo usado: óleo neutro leve, óleo *spindle* e óleo diesel. O óleo neutro leve entra na formulação de óleo com média viscosidade. O óleo *spindle* é usado em formulações diversas. O óleo diesel é empregado como combustível no próprio processo.

Em seguida, o óleo é diluído com hexano, a fim de diminuir a viscosidade, e com etanol e isopropanol, cuja finalidade é permitir a molhabilidade da membrana, facilitando a permeação, e entra nos módulos de ultrafiltração. Depois, segue-se a destilação dos solventes, neutralização e percolação em leito de adsorvente polimérico regenerável ou argilas ativadas (AUDIBERT, 1978). O fluxograma do processo é mostrado na figura 17.

A membrana é definida como uma barreira permeável e seletiva, que restringe a transferência de massa entre duas fases. A grande vantagem é o descarte total de produtos agressivos ao meio ambiente, que são, geralmente, de difícil eliminação, como as borras ácidas. As maiores desvantagens são o preço e a durabilidade das membranas. Além disso, o fluxo permeado tende a cair em função do tempo de operação por polarização de concentração ou *fouling* (deposição e acumulação de sólidos na superfície das membranas, podendo ocorrer a redução do fluxo de permeado, a elevação da pressão trans-membrana (PTM) e a deterioração da qualidade do permeado) (AUDIBERT, 1978). Por outro lado, as membranas filtrantes, devido a sua diversidade, constituem uma grande inovação na tecnologia utilizada em vários processos, tais como, tratamento de água e de esgoto e em vários processos industriais, com as seguintes vantagens: baixo consumo energético, sistemas compactos, seja em bateladas ou contínuos e podem ser utilizados em combinação com vários outros processos tradicionais (NÓBREGA, 2005).

Após a ultrafiltração o óleo apresenta-se purificado, desprovido de quase todos contaminantes, a exceção de alguns produtos de oxidação que são solúveis, não retidos pela membrana. Ficam retidos os aditivos, os produtos da oxidação, substâncias asfálticas resultante da combustão incompleta do diesel ou da gasolina, poeira e metais provenientes do desgaste. Os produtos solúveis são retidos na percolação, cuja finalidade é adsorver os produtos de oxidação e efetuar a clarificação.

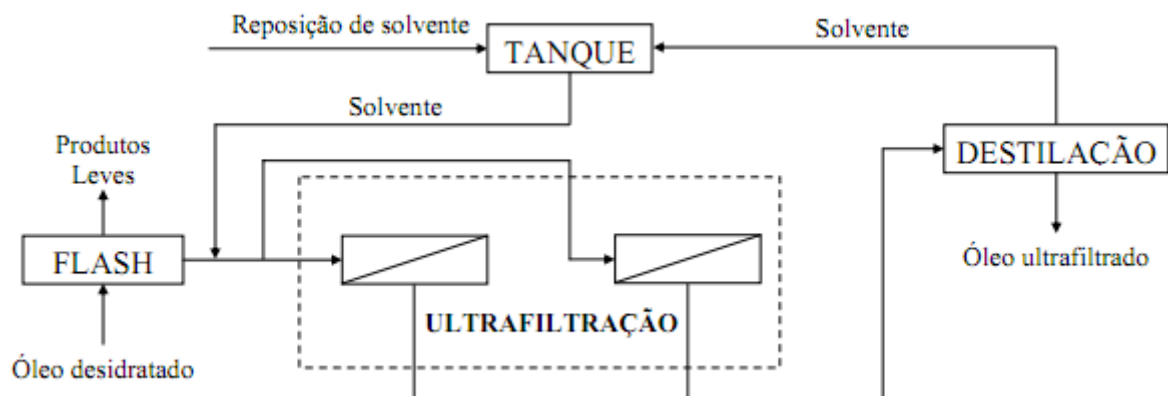


Figura 17 - Fluxograma do processo de Ultrafiltração por Membranas (AUDIBERT, 1978)

3.3.6 Comparações dos Processos de Rerrefino

A tabela a seguir demonstra os processos de rerrefino descritos acima, com o pré-tratamento e etapa principal de cada processo.

Tabela 5 - Comparação dos processos de rerrefino

PROCESSO	PRÉ-TRATAMENTO	ETAPA PRINCIPAL	ETAPA DE ACABAMENTO
<i>Ácido-Argila</i>	Decantação e desidratação	Tratamento com ácido sulfúrico	Tratamento com argila
<i>Extração por solvente</i>	Desidratação e remoção de contaminantes leves	Extração com propano	Tratamento com argila
<i>Processo de Destilação-Hidrogenação</i>	Decantação e desidratação	Destilação fracionada à vácuo e tratamento com hidrogênio	Tratamento com vapor e destilação
<i>Evaporador de Filme</i>	Desidratação e remoção de contaminantes leves	Destilação em evaporador de película	Clarificação e neutralização
<i>Ultrafiltração por Membrana e Adsorção</i>	Decantação e desidratação	Ultrafiltração por membranas e adsorção	Tratamento com argila

4 PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO POR MEMBRANAS E ADSORÇÃO

4.1 Critérios de escolha

Segundo (FERREIRA, 2008), critério é o princípio que se toma como referência e que permite distinguir o verdadeiro do falso, isto é, negar, avaliar. Com base nisso, foram definidos cinco critérios de escolha a fim de criar um padrão de comparação entre todos os processos de rerrefino estudados. A decisão de escolha pelo estudo mais detalhado do processo de rerrefino de Ultrafiltração por Membrana e Adsorção foi baseada a partir desses critérios:

- Custo;
- Consumo de matérias primas;
- Quantidade de resíduos;
- Custos com tratamento de poluentes;
- Rendimento.

A seguir encontra-se tabela de comparação abordando os critérios de escolha. As informações contidas nesta tabela foram coletadas com base no item “3.3.5 Processos de Rerrefino”:

Tabela 6 - Tabela de Comparação de Processos

		Crítérios de Escolha				
		<i>Custos Investimento Inicial</i>	<i>Custos Produção</i>	<i>Quantidade de Resíduos (borras ácidas)</i>	<i>Custos com Tratamento de Poluentes</i>	<i>Rendimento</i>
Processos	<i>Processo Clássico Ácido-Argila</i>	Baixo	Alto	Alta	Alto	Médio
	<i>Extração por Solvente</i>	-	Médio	Médio	Médio	Médio
	<i>Processo de Destilação-Hidrogenação</i>	Alto (econômico apenas para altos volumes)	Alto (econômico apenas para altos volumes)	Não há formação de borras ácidas	Baixo	Alto
	<i>Evaporador de Filme</i>	Baixo	Médio	Médio	Baixo	-
	<i>Ultrafiltração por Membrana e Adsorção</i>	Baixo	Baixo	Muito Baixa	Resíduos podem ser reutilizados	Alto

Adotando-se pesos de 1 a 10 para os critérios definidos, sendo 1 o pior cenário (custos altos e quantidade de resíduos alta) e 10, um cenário ótimo (custos muito baixos e baixa quantidade de resíduos), temos:

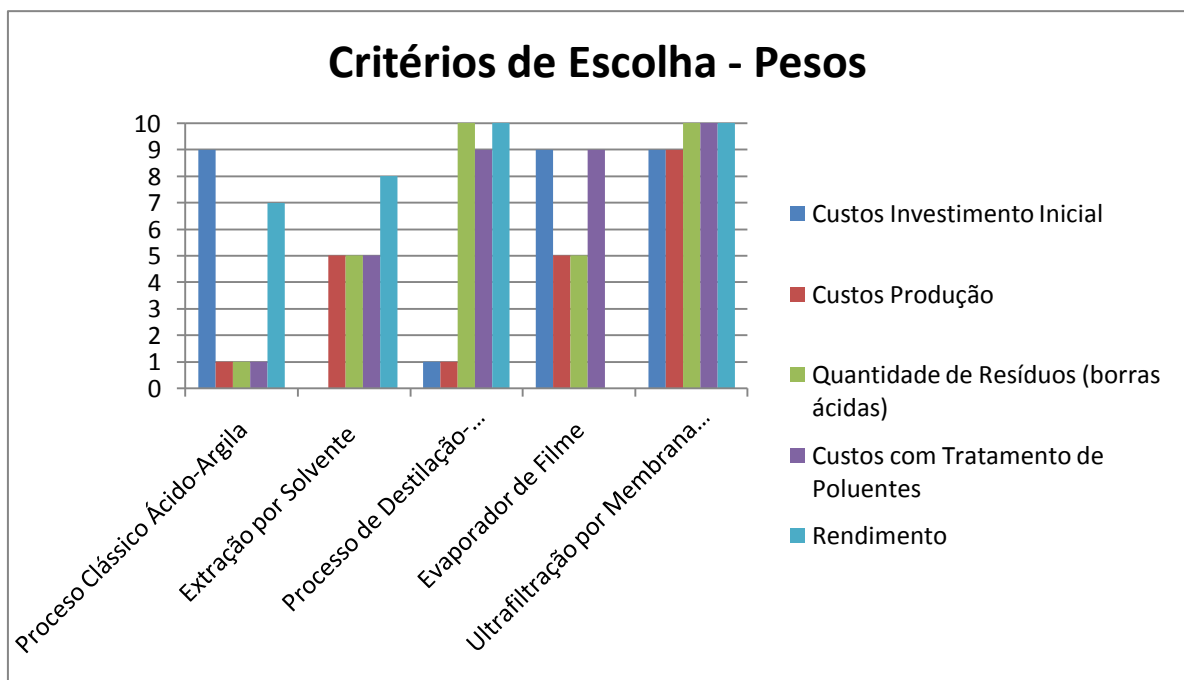


Figura 18 - Crítérios de escolha – Pesos (Autoria própria)

Portanto, o processo de rerrefino de Ultrafiltração por Membrana e Adsorção, foi o escolhido para obter um maior detalhamento, devido aos benefícios econômicos, energéticos e ambientais frente aos outros processos analisados. Ressaltam-se os seguintes pontos:

- i. Aspecto ambiental - uma das vantagens do processo de ultrafiltração é que não gera grande quantidade de produtos agressivos ao meio ambiente como, por exemplo, as borras ácidas. Os resíduos gerados, como as tortas de ultrafiltração, são de fácil descarte como, por exemplo, o seu uso na produção de produtos asfálticos. A argila quando inativada é usada em olarias ou indústrias cimenteiras.
- ii. O processo - a técnica de ultrafiltração apresenta um desempenho satisfatório no rerrefino de óleos lubrificantes. As vantagens apresentadas incluem menor consumo de energia, investimento inicial relativamente pequeno e a possibilidade de ser ampliado gradativamente em função das necessidades.
- iii. Aspecto econômico - baixo investimento inicial, além de custo de produção e de tratamento de resíduos reduzido.

4.2 Detalhamento do Processo

Como já descrito no item 3.3.5.4 (Ultrafiltração por Membranas e Adsorção), as primeiras etapas deste processo de rerrefino consistem basicamente em filtração primária, decantação, desidratação e eliminação dos voláteis e destilação flash. Após esta última, o óleo é diluído com solventes e entra na etapa de ultrafiltração por membranas e adsorção propriamente dita.

Segundo (CHEREMISNOFF, 1998) o processo de separação por membranas filtrantes surgiu a partir do início da década de 1970, como uma inovação em relação aos clássicos processos, como destilação, filtração, absorção, troca iônica, centrifugação, extração por solvente e cristalização. As membranas são como barreiras permeáveis e seletivas, que restringem a transferência de massa entre duas fases. Os processos de separação por membranas, considerando-se apenas solvente puro, se enquadram na definição clássica de filtração, ou seja, são

processos hidrodinâmicos onde a vazão volumétrica de fluido é diretamente proporcional a um gradiente de pressão transversal ao meio filtrante, e inversamente proporcional à resistência ao escoamento imposta pela conectividade, tortuosidade, tamanho médio de poros e torta de filtração gerada no decorrer da operação.

Existem dois modos básicos de operar os processos de separação por membranas. Pode-se promover a operação frontal clássica ou a operação em fluxo cruzado ou tangencial, diferentes devido à direção do fluxo em relação à membrana. (NÓBREGA, 2005)

No caso do processo em questão, usa-se a alimentação em escoamento tangencial como mostra o modelo na figura 19. A solução que será tratada (corrente de alimentação) é alimentada de forma paralela à superfície da membrana. Esta ação minimiza o acúmulo de componentes na superfície e no interior do meio filtrante, possibilitando assim que a operação seja conduzida em regime estabelecido. Há produção de duas correntes efluentes: permeado e concentrado. O permeado é a corrente que passa pela membrana, e nele são encontradas poucas ou nenhuma partícula maior que o tamanho médio de poros da membrana. O concentrado, por sua vez, é a corrente rica em partículas maiores, que são incapazes de permear a membrana (MULDER, 1991).

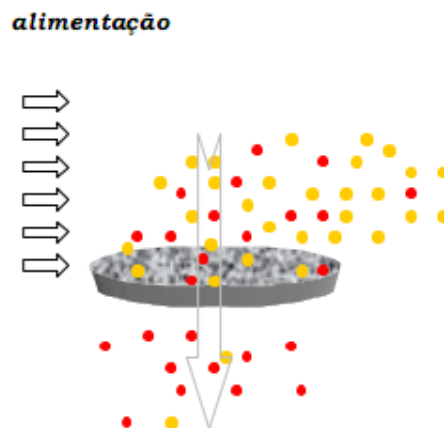


Figura 19 - Modelo esquemático da filtração tangencial em membranas (NÓBREGA, 2005)

Devido às diversas aplicações assumidas, as membranas apresentam diferentes morfologias, podendo ser classificadas, basicamente, como densas ou porosas (Figura 20). A escolha por uma delas é definida a partir das características da membrana que está em contato com a superfície a ser separada. No caso de membranas densas, a capacidade seletiva depende da afinidade das diferentes

espécies com o material da membrana (etapa termodinâmica) e da difusão das mesmas através do filme polimérico (etapa cinética). (HABERT, et al., 2006)

Independente do tipo de membrana usada, os parâmetros característicos dos processos que as utilizam são: propriedades de transporte como permeabilidade a gases e líquidos, e a capacidade seletiva. A seletividade pode ser variada por meio da modificação do tamanho dos poros ou pela alteração das propriedades físico-químicas dos polímeros componentes da membrana, principalmente dos polímeros localizados na superfície. É normalmente expressa pelo coeficiente de retenção:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

Onde C_0 representa a concentração do soluto na alimentação, e C_p a concentração do soluto no permeado ou filtrado. Quando $R=0$, a concentração da espécie em questão no permeado, é igual a sua concentração na alimentação, ou seja, a membrana não apresenta nenhuma capacidade seletiva para esta espécie. Por outro lado, $R=1$ significa que a espécie em questão não está presente no permeado, ou seja, a membrana foi capaz de rejeitá-la completamente.

O fluxo ou velocidade de permeação é definido como o volume de solução que atravessa a membrana por unidade de área e por unidade de tempo ($L^3.L^{-2}.\Theta^{-1}$). Como os processos com membranas são, em sua grande maioria, atérmicos, o gradiente de potencial químico pode ser expresso apenas em termos do gradiente de pressão e de concentração (ou pressão parcial) (HABERT, et al., 2006); (MULDER, 1991). Abaixo (Tabela 7), segue a força motriz necessária para a separação, definindo-se os materiais a serem retidos e permeados:

Tabela 7 - Força motriz e características dos materiais permeados e retidos em membranas ultrafiltrantes

Força Motriz	Material retido	Material que permeia
ΔP (2 - 7 atm)	Contaminantes	Óleo purificado + produtos solúveis da oxidação

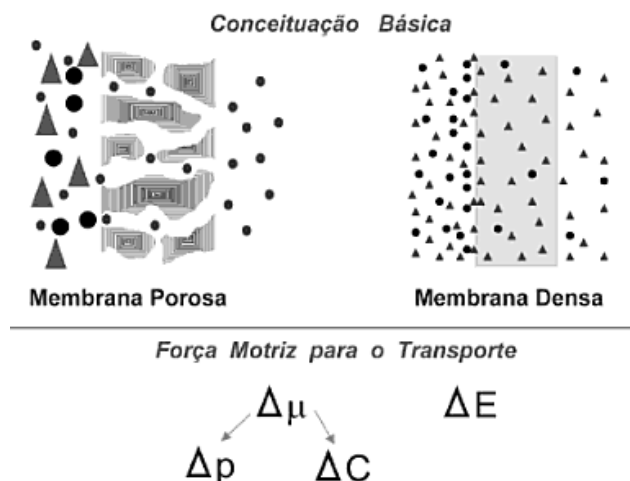


Figura 20 - Força motriz e transporte em membranas porosas e densas

Na ultrafiltração, utilizam-se membranas assimétricas à base de poliacrilonitrila, acetato de celulose, ou outras, resistentes aos hidrocarbonetos, utilizando-se uma pressão entre 2 a 6 bar. Como já mencionado, o óleo a ser filtrado é diluído com hexano, a fim de diminuir a viscosidade. Também há a adição de álcool isopropílico e etanol, para viabilizar a permeação a baixa pressão, uma vez que os mesmos molham a membrana. Nessa etapa, ficam retidos os aditivos, os produtos da oxidação, substâncias asfálticas resultantes da combustão incompleta do diesel ou da gasolina, poeira e metais provenientes do desgaste.

O principal equipamento de ultrafiltração usado no rerrefino é o módulo. Este equipamento é o elemento básico de um sistema de membranas que congrega todas as estruturas necessárias para viabilizar a operação da membrana como unidade de separação. O módulo contém os seguintes elementos:

- Membranas;
- Estruturas de suporte da pressão, do vácuo ou da corrente elétrica aplicados ao sistema;
- Canais de alimentação e remoção do permeado e do concentrado.

Além do módulo, os elementos básicos de um sistema de membrana incluem uma bomba para pressurizar o canal de alimentação, uma válvula instalada no canal do concentrado para regular a pressão no canal de alimentação, um canal de coleta do permeado e os elementos acessórios para a remoção do material retido na superfície da membrana, que variam dependendo do tipo de módulo e da tecnologia de limpeza utilizada. Os principais tipos de módulos comercializados no mercado

são: módulos com placas, módulos tubulares, módulos espirais, módulos com fibras ocas, e módulos com discos rotatórios (SCHNEIDER, 2001).

Abaixo (Figura 21), seguem algumas especificações para esses diferentes tipos de módulos:

Parâmetro	Tipo de configuração			
	Tubular	Planar	Espiral	Fibras ocas
A/V (m ² /m ³)	Baixo	⇒⇒⇒		Muito elevado
Investimento	Elevado	⇒⇒⇒		Baixo
"Fouling"	Baixo	⇒⇒⇒		Muito alto
Limpeza	Fácil	⇒⇒⇒		Muito difícil
Vazão	Muito elevado	⇒⇒⇒		Muito baixo
Custos operação	Altos	⇒⇒⇒		Baixos

Figura 21 - Características dos módulos de membranas (HABERT, et al., 2006)

O módulo mais indicado para ultrafiltração de lubrificantes é o de fibra oca, cuja área de membrana por volume de módulo, é de cerca de 5000m²/m³. A figura a seguir ilustra este módulo:

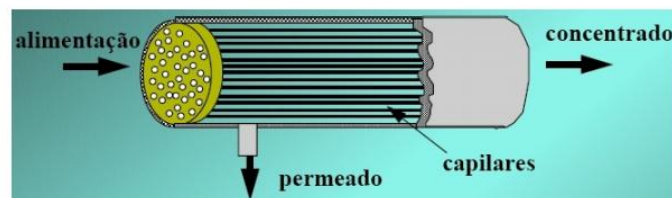


Figura 22 - Módulo com membranas na forma de fibras ocas. (NOBREGA R et al, 2005)

A formação de tortas de filtro na superfície de membranas é inevitável. A operação de membranas depende, portanto, da remoção periódica das tortas de filtro, o que ocorre por processo de retrolavagem. Esta é iniciada quando a pressão de filtração ou o fluxo de filtração atinge um valor limite pré-estabelecido. Um sistema de retrolavagem eficiente restaura o fluxo da membrana a um valor próximo do valor inicial.

Para a etapa de ultrafiltração em si, o procedimento operacional é dividido em dois estágios, sendo que o primeiro é constituído por dois módulos em série, cada um equipado com duas placas suporte (cada placa com uma membrana). A carga desse estágio é formada por uma parte do óleo usado e o permeado do segundo estágio. O segundo estágio também tem dois módulos em série, mas com uma

única membrana cada. A carga desse estágio é o concentrado do primeiro estágio diluído com alguma quantidade de hexano. Após a ultrafiltração, o produto é destilado e o solvente recuperado.

Com seu alto desempenho e sua tecnologia, a membrana é realmente vista como um grande negócio e uma eficiente solução em suas aplicações. Sem contar que ela também não é poluente, não gera efluentes, tem rendimento alto, é de fácil operação, necessita de um curto tempo de parada para a limpeza dos meios filtrantes e sua instalação é compacta. O baixo custo operacional é devido à redução significativa na geração de lodo, pois, durante a filtração, não ocorre a adição de produtos químicos.

Tem-se como produto da ultrafiltração por membranas um óleo que ainda contém algumas impurezas solúveis, como alguns ácidos orgânicos. Estas impurezas são retiradas por neutralização e após isso é realizada a percolação ou clarificação, utilizando alguns polímeros adsorventes ou por meio de argilas ativadas, ou ambos.

As argilas podem ser utilizadas como agentes descorantes de óleos de duas maneiras diferentes. A primeira é chamada processo de percolação, onde o óleo atravessa uma coluna de argila descorante preparada na forma de grãos de dimensões entre as peneiras ABNT 10 e 60. É um processo que emprega temperaturas baixas, geralmente entre 85°C e 120°C. As vazões são de 80L a 480L por tonelada de argila e por hora. O outro processo é chamado de processo de contato, onde o óleo é colocado em contato com a argila em pó, peneirada através de uma peneira ABNT 200; a temperatura varia entre 150°C e 300°C durante trinta minutos sob agitação constante e também sob vácuo. A percentagem de argila varia entre 0,5% a 10% em relação à massa de óleo. O óleo é separado da argila através de filtração, normalmente em filtro- prensa.

Seja qual for o processo utilizado, a argila deve satisfazer aos seguintes requisitos: ter um bom poder descorante; reter um mínimo possível de óleo; ser reativável por tratamento térmico ou por meio de solvente (SANTOS, 1992).

O fluxograma do processo de rerrefino de ultrafiltração por membranas e adsorção, de acordo com a descrição acima, está representado a seguir.

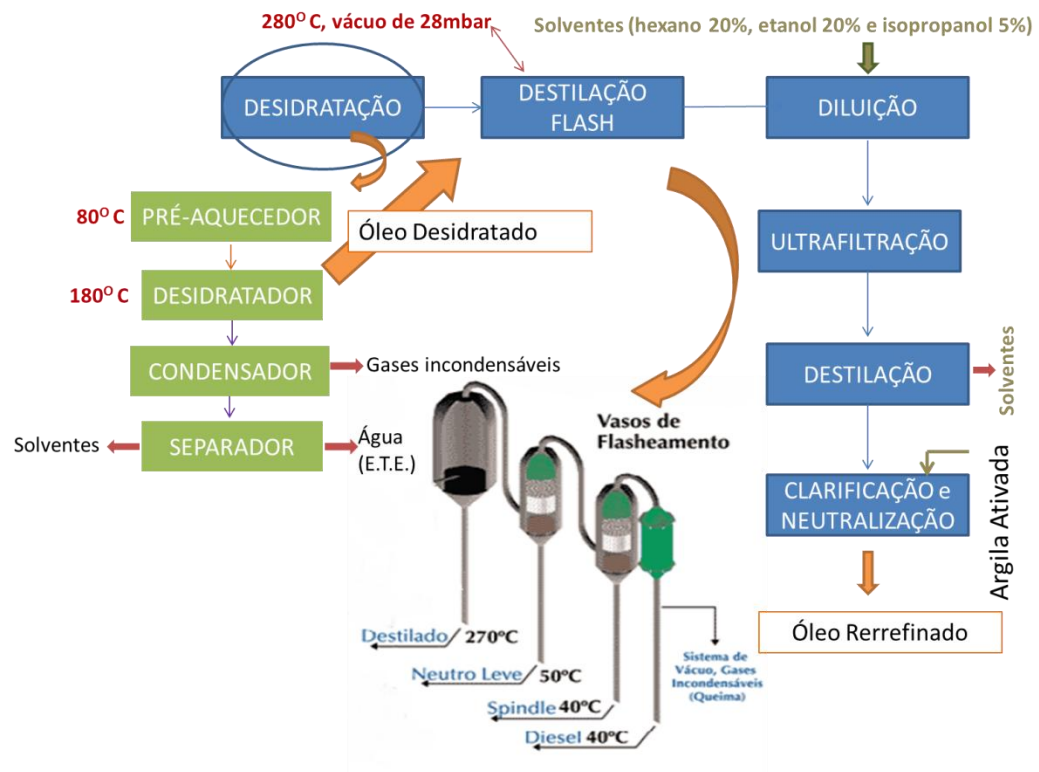


Figura 23 - Fluxograma do processo (Autoria própria)

5 ANÁLISE ECONÔMICA

5.1 Análise e Avaliação de um Projeto

Um projeto deve ter viabilidade técnica, o que significa poder ser realizado com os procedimentos de engenharia e equipamentos disponíveis, mas é necessário que haja também viabilidade econômica, isto é, o investimento somente é viável se remunerar adequadamente o capital investido para que os benefícios sejam maiores que os custos (TORRES, 2006).

Um projeto deve ter viabilidade técnica, o que significa poder ser realizado com os procedimentos de engenharia e equipamentos disponíveis, mas é necessário que haja também viabilidade econômica, isto é, o investimento somente é viável se remunerar adequadamente o capital investido para que os benefícios sejam maiores que os custos (TORRES, 2006).

A partir disso, tem-se que, do ponto de vista da análise econômico-financeira, um projeto de investimento é qualquer atividade produtiva de vida limitada (com início e fim bem definidos) que implique na mobilização de alguns recursos na forma de bens de produção, em determinado momento, na expectativa de gerar recursos futuros oriundos da produção. Esse tipo de conceituação pressupõe a possibilidade de quantificação monetária dos insumos e produtos associados ao projeto (NORONHA, et al., 1995).

Um dos modelos de análise econômico-financeira mais importante e mais utilizado para avaliar ações de investimento, em termos financeiros, é o Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa (DFC), que representa a análise, a valor presente, dos fluxos de caixa futuros líquidos gerados. Neste modelo, várias técnicas podem ser utilizadas, tais como:

- Valor Presente Líquido (VPL): mede a riqueza gerada por um determinado ativo a valores atuais;
- Taxa Interna de Retorno (TIR): representa a rentabilidade do projeto;
- Relação Benefício Custo (B/C): representa a relação entre o valor presente das entradas e o das saídas de caixa;

-Período de *Payback* Descontado (PPD): representa o prazo de recuperação do capital investido, considerando explicitamente o valor do dinheiro no tempo.

Outras técnicas também são importantes, pois complementam as ferramentas do modelo DFC, como é o caso da Análise do Ponto de Equilíbrio (PE), que representa o ponto mínimo de operação de um negócio, empresa ou projeto.

Além disso, a consideração de condições de incerteza na análise se faz necessária. Para isso, tem-se a possibilidade de fazer uma análise de sensibilidade, que vai desde a atribuição discreta de valores a certas variáveis para saber o impacto desta variação nos indicadores de viabilidade, passando pela análise de pontos de mudança de decisão, até uma medida de risco representada pela probabilidade de viabilidade dos projetos.

De acordo com (MACEDO, et al., 2006), os gestores devem usar técnicas de valor de dinheiro no tempo para reconhecer explicitamente suas oportunidades de obter resultados positivos quando avaliam séries de fluxos de caixa esperados associados a alternativas de decisão. Devido ao fato deles estarem no tempo zero (atual) ao tomar decisões, eles preferem basear-se em técnicas de valor presente. Com isso, no estudo a ser realizado para o processo de rerrefino definido, serão considerado os valores atuais para a formulação dos fluxos de caixa.

Segundo (DAMODARAN, 1997) o Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa (DFC) é representado da seguinte maneira:

$$\text{Valor} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Os fluxos de caixa são descontados a uma taxa ajustada ao risco, para se chegar a uma estimativa de valor para o ativo.

Onde: n = vida útil do ativo

FC_t = Fluxo de Caixa no período t

i = taxa mínima de atratividade refletindo o risco deste ativo (TMA)

A estimativa de risco de uma alternativa se faz com relação a seu custo de oportunidade, que é o que se perde com a escolha desta em detrimento de outras (SOUZA, et al., 2004). Isso gera a taxa mínima de atratividade (TMA) ajustada ao nível de risco do ativo, que será usada como taxa para o desconto dos fluxos de caixa futuros.

Utilizando-se a primeira técnica, para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), deve-se considerar explicitamente o valor do dinheiro no tempo, ou seja, desconta o fluxo de caixa a uma taxa mínima de atratividade específica (custo de oportunidade ajustado ao risco do ativo). O VPL é, então, encontrado ao se subtrair o investimento inicial de um ativo (FC_0) do somatório do valor presente de seus fluxos de caixa futuros (FC_t), descontados a uma taxa mínima de atratividade (i). A formulação pode ser vista a seguir:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad \text{ou} \quad \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - \text{Investimento Inicial}$$

Segundo (MACEDO, et al., 2006) o VPL pode ser visto, então, como um ganho proporcionado pelo ativo, pois representa o quanto os fluxos de caixa futuros estão acima do investimento inicial. Tudo isso a valor presente, segundo um custo de oportunidade ajustado ao risco. Deste jeito, pode-se dizer que um ativo deve ser aceito, numa abordagem aceitar-rejeitar, se o $VPL > 0$, pois o mesmo acrescenta riqueza ao investidor. Ele deve ser rejeitado se o $VPL < 0$, pois este consome riqueza. Já numa abordagem hierárquica deve ser escolhido o ativo de maior VPL, pois quanto maior for o VPL maior será a riqueza gerada por este.

Outra técnica bastante utilizada é a Taxa Interna de Retorno (TIR). A TIR representa, segundo (FERREIRA, 2005), a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial de um determinado projeto. Ela é calculada igualando a equação do VPL à zero:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad \text{ou} \quad \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = \text{Investimento Inicial}$$

De acordo com (GITMAN, 1997) a TIR é possivelmente a técnica mais usada para a avaliação de alternativas de investimento. O critério de decisão, quando a TIR é usada para aceitar-rejeitar é, segundo o autor, o seguinte: se a TIR for maior que o custo de oportunidade ajustado ao risco, aceita-se o projeto, porém, se for menor, o mesmo deve ser rejeitado.

Outra metodologia, que também utiliza os conceitos do modelo DFC, é a relação benefício-custo (B/C), que mostra o quanto o valor presente das entradas representa do valor presente das saídas de caixa. Para tanto, este indicador é descrito como:

$$B / C = \frac{\sum \text{Valor Pr esent das Entradas de Caixa}}{\sum \text{Valor Pr esent das Saídas de Caixa}}$$

Um projeto é considerado viável quando apresenta B/C superior a um, pois isso representa geração de riqueza.

Além da riqueza gerada pelo projeto, outro aspecto importante no momento de sua análise é o tempo que o mesmo demora em recuperar o capital investido. De acordo com (MACEDO, et al., 2006), o Período de Recuperação do Investimento (*Payback*) irá definir o tempo, ou número de períodos que são necessários para recuperar o investimento inicial.

O *Payback* pode ser utilizado como referência para julgar a atratividade relativa das opções de investimento, na medida em que representa o período médio de retorno do capital, sendo que, quanto maior for este período, mais exposto às incertezas ao longo do tempo estará o projeto e, por conseguinte, menos atraente será. Para uma melhor adequação desta técnica, faz-se necessário considerar o fluxo de caixa gerado pelo projeto, a valor presente, e então compará-lo com o investimento feito, para assim determinar em quanto tempo o valor investido retorna ao investidor. Esta técnica é denominada como Período de *Payback* Descontado (PPD).

Como citado anteriormente, além das técnicas já apresentadas (VPL, TIR, B/C e *Payback*), que têm base no Modelo DFC, outras também são úteis para análise de viabilidade econômico-financeira de projetos de investimento.

O ponto de equilíbrio contábil (PEC) ou de nivelamento das operações de uma empresa equivale ao nível ou volume de produção/venda em que o resultado é nulo, ou seja, é o ponto a partir do qual a quantidade produzida/vendida começa a dar lucro ou, ainda, a partir do qual todos os custos incorridos na produção/venda serão cobertos. O PEC é utilizado para identificar quantas unidades de produto são necessárias para custear todos os custos de produção. A partir deste montante, ou

seja, do ponto de equilíbrio, todas as unidades produzidas/vendidas são consideradas como excedente do produtor.

No conceito de PEC, verifica-se que este ocorre na igualdade dos Custos Totais com as Receitas Totais. Portanto, o lucro de uma empresa é obtido a partir de vendas ocorridas acima do Ponto de Equilíbrio.

Dessa forma, o Ponto de Equilíbrio Contábil (PEC) é dado como:

$$PEC = \frac{CF}{PVu - CVu} = \frac{CF}{MCu}$$

Onde: PEC = Ponto de Equilíbrio Contábil

CF = Custos Fixos

CVu = Custo Variável Unitário.

PVu = Preço de Venda Unitário

MCu = Margem de Contribuição Unitária

Além do Ponto de Equilíbrio Contábil, outro conceito importante é o de Ponto de Equilíbrio Econômico. Este último apresenta a quantidade de vendas (faturamento) que a empresa deveria obter para poder cobrir os custos mais uma remuneração mínima do capital próprio nela investido. Tanto o PEC, quanto o PEE podem ser calculados em função do volume monetário mínimo de operação, ou seja, a receita de vendas mínima.

A análise do Ponto de Equilíbrio (contábil ou econômico) é fundamental nas decisões referentes a investimentos, no planejamento do resultado, no lançamento ou corte de produtos/serviços e para análise das alterações do preço de venda conforme o comportamento do mercado.

Além de todas as ferramentas de análise já discutidas, seria interessante, na seleção de alternativas de investimento, a consideração de uma medida que mostrasse o impacto das incertezas futuras sobre a possibilidade de geração de riqueza do ativo e, por conseguinte, em sua viabilidade econômico-financeira.

Neste sentido, segundo (NORONHA, et al., 1995), existem pelo menos duas opções para analisar riscos (sensibilidade) na avaliação de projetos. A primeira consiste na análise da sensibilidade do projeto a variações nos parâmetros e variáveis do projeto. A segunda, mais sofisticada, consiste na utilização da análise

de probabilidade. Neste caso, pode-se traçar cenários de forma discreta ou utilizar uma ferramenta mais sofisticada, tal como a Simulação de Monte Carlo.

Segundo (BUARQUE, 1991), através da análise de sensibilidade, pode-se determinar quais elementos devem ser estudados mais profundamente, permitindo conhecer a importância de cada variável sobre o desempenho do projeto. Em suma, a análise de sensibilidade consiste em definir os indicadores de viabilidade do projeto em função de cada uma das variáveis, e observar a variação que ocorrerá nestes para cada alteração nas variáveis.

No que diz respeito ao uso de análise de probabilidades, pode-se calcular a probabilidade de um determinado projeto não gerar riqueza, ou seja, ter $VPL < 0$ e, por conseguinte, ser inviável. Mesmo que se tenha um valor de VPL médio positivo, por conta das incertezas, é possível que o mesmo possa ser negativo, dada certa probabilidade de ocorrência de eventos que levariam a essa situação.

Ainda segundo o autor, sabendo-se o VPL esperado e o desvio padrão deste, é possível normalizá-los e encontrar o número de desvios até um valor de VPL igual a zero. Isso nos dará a probabilidade de inviabilidade ou de viabilidade na curva normal. A formulação para o número de desvios (Z) até um VPL igual a zero, se encontra a seguir:

$$Z = \frac{0 - E(VPL)}{DP(VPL)}$$

Onde: $E(VPL)$ = Valor Esperado do VPL

$DP(VPL)$ = Desvio Padrão do VPL

Z = Número de Desvios até um VPL igual a zero.

5.2 Estudo Econômico do Processo de Ultrafiltração por Membrana e Adsorção

De acordo com (TNPetróleo, 2010), o Brasil ocupa a quinta colocação mundial em consumo de óleos lubrificantes, comercializando cerca de 1,1 milhão de m³ por ano. Para a realização do estudo econômico do processo de rerrefino detalhado, foi

considerado esse valor para o cálculo do volume a ser coletado e rerrefinado por ano (30% de óleo lubrificante comercializado nacionalmente segundo a atual Portaria 127/99 da ANP).

Ainda segundo a (TNPetróleo, 2010), a Lwart Lubrificantes (empresa de coleta e rerrefino) é responsável pela coleta de 45% de óleo lubrificante usado disponibilizado para coleta no país (cerca de 148 milhões de litros por ano), sendo considerada a maior empresa da América Latina no ramo. A Lwart possui atualmente duas unidades de rerrefino, uma em Lençóis Paulista (SP) e outra, recentemente implantada, em Feira de Santana (BA) (LWART, 2010). A primeira unidade corresponde a 86% de toda coleta realizada pela empresa (CAMARGO, 2011).

Para a análise econômica do projeto de implantação de uma unidade de rerrefino por meio de Ultrafiltração e Adsorção, foi considerada a região sudeste para a instalação, uma vez que esta corresponde a 54% de todo óleo lubrificante comercializado no Brasil (ANP). Deste volume, foi desconsiderada a parcela equivalente ao processo de rerrefino realizado pela Lwart Lubrificantes, pois se avaliou muito difícil (ou praticamente impossível) uma nova unidade industrial entrar no mercado igualando sua produção à hegemônica e já firmada participação de mercado da principal empresa do ramo. Então, foram consideradas as outras 8 empresas autorizadas na região sudeste (de acordo com a ANP), com as quais a produção de uma nova empresa pode ser mais aceitavelmente comparada, para o cálculo do volume a ser processado na nova unidade a ser instalada.

Abaixo segue o quadro resumo com os números calculados para a posterior análise econômica:

Tabela 8- Quadro resumo para Avaliação Econômica (Autoria própria)

Volume de óleo lubrificante básico comercializados no Brasil (por ano)	1,100,000,000	L
Empresas autorizadas (coletadoras e rerrefinadoras)	19	total
% de coleta e rerrefino do óleo lubrificante usado	30.00%	
Volume a ser coletado - Brasil (por ano)	330,000,000	L
% de participação - região Sudeste	54%	
Volume coletado na região Sudeste (por ano)	178,200,000	L
LWART - Volume coleta no Brasil (por ano)	148,500,000	L
LWART - Volume coleta na região Sudeste (por ano)	120,400,000	L
Empresas autorizadas (exclui LWART) - região Sudeste	8	
Volume por empresas autorizadas (exclui LWART) (por ano)	22,275,000	L
Volume a ser coletado por empresa (por ano)	22,275,000	L
Produção de óleo rerrefinado (por ano)	15,592,500	L

Inicialmente, encontramos o valor de óleo básico comercializado na região Sudeste do País (54% do total nacional). Em seguida, excluimos a porção equivalente à produção da Lwart na região, e dividimos o valor restante pelo número empresas autorizadas. Assim, chegamos ao volume de óleo a ser coletado por cada empresa (vazão de entrada do processo, aproximadamente 800 galões/h) e, a partir do rendimento do processo (considerado como 71%), obtemos a produção total de óleo rerrefinado para cada indústria (vazão de saída). Dessa maneira, foi possível obter estimativas para dimensionar os equipamentos intermediários envolvidos. Para tanto, foram considerados 26 dias de produção por mês operando 24 horas por dia.

Com as informações de vazão, juntamente com a definição dos componentes em cada etapa, as médias de temperatura e pressão na entrada/saída dos equipamentos, informações de calor específico e poder calorífico nas etapas que compreendem troca de calor, foi possível obter boas estimativas de valor dos equipamentos, com o auxílio da ferramenta CapCost, que é uma ferramenta que estima os custos de capital fixos que envolvem a construção de uma nova planta da indústria química. Esses preços foram obtidos com o auxílio de (MATCHE, 2007), cujas fontes serão listadas na seção Referências.

Os parâmetros utilizados para o cálculo dos custos dos equipamentos valores estão listados nas tabelas abaixo:

Tabela 9 - Equipamentos e parâmetros utilizados

	Equipamentos	Preço Unitário (US\$)	Material	Parâmetro
Armazenamento	Armazenamento			
	Tanque (óleo usado)	44.400,00	Aço carbono	20000 gal
	Tanque (hexano e etanol)	12.400,00	Aço carbono	4000 gal
	Tanque (isopropanol)	5.600,00	Aço carbono	1000 gal
Pré-tratamento	Decantação			
	Tanque	20.300,00	Aço carbono	9500 gal
	Desidratação			
	Pré-aquecedor	5.000,00	Aço carbono	105x10 ⁶ btu/h
	Desidratador (tanque)	5.000,00	Aço carbono	105x10 ⁶ btu/h
	Condensador	13.300,00	Aço carbono	50 ft ²
	Separador (tanque)	1.800,00	Aço carbono	100 gal
	Pré-Destilação (Flash)			
	Bomba	6.800,00	Ferro Fundido API 610	4 in diâmetro
	Forno	123.400,00	Aço carbono	2x10 ⁶ btu/h
	Destilação (Flash)			
	Flash	17.600,00	Aço carbono	1300 gal
	Tanque (óleo diesel+spindle+neutro leve)	1.800,00	Aço carbono	72 gal

Tabela 10- Equipamentos e parâmetros utilizados (continuação)

	Equipamentos	Preço Unitário (US\$)	Material	Parâmetro
Ultrafiltração por Membranas e Adsorção	Diluição			
	Tanque (misturador)	28.300,00	aço carbono	100 hp
	Ultrafiltração			
	Trocador de calor (resfriar)	19.400,00	Aço carbono	150 ft ²
	Módulos de Membrana	2.000,00	Módulo de fibra	Filtração de água
	Membrana	20.000,00	polimerica	2 a 6 bar
	Destilação			
	Flash (óleo e solventes)	17.600,00	Aço carbono	1300 gal
	Coluna (separação hexano dos demais)	30.000,00	Aço carbono	T.E.
	Coluna (separação etanol do isopropanol)	50.000,00	Aço carbono	T.E.
Pós-tratamento	Neutralização			
	Tanque (misturador)	23.700,00	Aço inoxidável 304	70 HP
	Percolação			
	Trocador de calor (aquecer)	9.700,00	Aço carbono	200 m ²
	Tanque com abertura no fundo	5.000,00	Aço carbono	600 gal
Armazenamento	Armazenamento			
	Tanque (óleo rerrefinado)	5.000,00	Aço carbono	600 gal
	Tanque (ácidos neutralizados)	4.800,00	Aço inoxidável 304	100 gal
	Tanque (soda cáustica)	4.800,00	Aço inoxidável 305	100 gal
	Tanque (borra)	2.000,00	Aço carbono	100 gal

Todos os valores de equipamento foram atualizados para o valor presente (base de 2010) através do *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI), que representa um índice ajustado anualmente para adequar os custos de construção de uma planta de produção de um período para o outro. Todas as bases de dados de valores de equipamentos estão relacionadas a um CEPCI. Assim, basta convertê-los para o CEPCI do ano atual.

Em relação aos custos de instalação dos equipamentos do projeto, estes foram estimados segundo (RAY, 1989), a partir de valores típicos de instalação para cada unidade, como uma porcentagem de seu valor de compra. Foram usadas porcentagens de 30% para tanques, 35% para trocadores de calor, e, por fim, 60% para colunas de destilação e torres.

As despesas burocráticas foram definidas de acordo com as normas definidas pela ANP, e incluem licença prévia, licença ambiental, licença de armazenamento, licença de instalação e operação, entre outras.

Para os custos de operação foram considerados os itens descritos na tabela abaixo:

Tabela 11 - Despesas Operacionais

Item	Descrição	Unidade	Qtde	Preço
Solventes	Hexano	l	6.682.500	\$ 0,98
	Etanol	l	4.455.000	\$ 0,32
	Isopropanol	l	1.113.750	\$ 1,18
Matéria-prima	Argila ativada	l	25.988	\$ 0,17
	Soda Caústica	l	2.227.500	\$ 0,74
Aluguel	área de 20.000 m ² /ano	mês	12	\$ 100.000,00
Água e luz	Consumo	mês	12	\$ 5.000,00
Manutenção	Conservação equipamentos	\$	1	\$ 87.526,25
Vapor	Vapor Baixa Pressão (refervedor-coluna)	GJ	46.200	\$ 13,50
Água de resfriamento	(condesador-coluna)	GJ	29.600	\$ 0,36
Água de resfriamento	Desidratação (condensador)	GJ	71.136	\$ 0,36
Mão de Obra Operacional	Salário mensal + encargos	\$	1	\$1.940.177,51
Mao de obra supervisao	Salário mensal + encargos	\$	1	\$1.164.106,51
Overheads	Segurança/comida/adm	\$	1	\$ 970.088,75
Laboratory Costs	Controle de qualidade/monitoria do processo	\$	1	\$ 582.053,25

Ainda segundo (RAY, 1989), o custo da mão de obra operacional representa 15% das despesas operacionais. Já o custo da mão de obra de supervisão é calculado considerando o número de pessoas nesta função, multiplicado por 20% do custo de mão de obra operacional. O *overhead* (segurança, comida e administrativo) equivale a 55% do custo de mão de obra operacional.

Para o local de instalação da planta, foi considerada a cidade de Atibaia (SP). Esta cidade se localiza aproximadamente a 70 km do centro da capital São Paulo e foi estrategicamente definida. Atibaia, além da proximidade do grande centro urbano e rotas rodoviárias facilitadas, o que auxilia o processo de coleta e distribuição dos óleos, oferece espaço para instalação do projeto. Foi realizado um estudo prévio de aluguel de galpões já construídos, com uma área de cerca de 20.000 m².

Em relação aos preços de compra e venda dos óleos lubrificantes, foi realizada uma pesquisa com algumas empresas que possuem sede na região Sudeste, e chegou-se a valores médios praticados no mercado: o custo de coleta de óleos lubrificantes usados e contaminados varia de R\$0,40 a R\$0,60 por litro

coletado e o valor de venda do óleo básico rerrefinado é de R\$2,70 por litro. Levando em consideração a instalação de uma nova unidade industrial, utilizou-se um valor de R\$ 0,60/litro para compra do óleo coletado e R\$ 2,65/litro para a venda do óleo. Optamos por utilizar um valor menor na geração de receita para garantir o estabelecimento da nova planta no mercado.

Com uma perspectiva de crescimento do ramo de reciclagem como um todo, uma vez que a preocupação com o meio ambiente está em constante crescimento no país e no mundo, e cada vez mais as indústrias preocupam-se em se adequar à legislação ambiental, além da clara expectativa de aumento da fiscalização e punições relacionadas a ações prejudiciais ao meio, foi considerada uma porcentagem fixa de expansão de mercado para o cálculo de receita, custo de compra e despesa operacional. Essa porcentagem equivale à expectativa de crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) no Brasil e, de acordo com (BCB, 2011), correspondente a 5% ao ano, sendo essa taxa projetada com o cenário de continuidade da atual política fiscal.

5.3 Apresentação e Análise

Neste item, apresenta-se a análise econômica financeira aplicada ao projeto. Utilizou-se uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12,42% ao ano (referente à Taxa Selic do mês de Julho de 2011 de acordo com (BCB, 2011)) e horizonte de análise de 10 anos, considerado um período de tempo razoável para que conclusões coerentes sejam obtidas em relação a um investimento na indústria química. A metodologia utilizada tem como base os seguintes elementos:

- Índices Tradicionais de Viabilidade Econômico-Financeira, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício/Custo (B/C), Período de Payback (PPD), Ponto de Equilíbrio Contábil (PEC) e Ponto de Equilíbrio Econômico (PEE);
- Análise de Sensibilidade com cálculos de preço e volume mínimos para manter um VPL e um Resultado maior que zero e de probabilidade para que o

VPL seja menor que zero (inviabilidade), dado certa variação dos fluxos de caixa.

Como dito anteriormente, o projeto pressupõe o investimento na compra dos equipamentos somados aos custos de instalação e despesas burocráticas. Abaixo seguem duas tabelas. A primeira contém a listagem dos equipamentos envolvidos no processo, suas quantidades e seus o custo de investimento; a segunda, as parcelas que compõem o investimento inicial.

Tabela 12 - Descrição dos Itens de Investimento Inicial

Equipamentos	Qtde	Investimento (US\$)
Tanques (armazenamento e algumas operações unitárias)	24	415.668,44
Pré-aquecedor	1	5.241,72
Desidratador (tanque)	2	10.483,44
Condensador	1	13.942,98
Separador (tanque)	2	3.774,04
Bomba	1	7.128,74
Forno	1	129.365,66
Flash	1	18.450,86
Trocador de calor (resfriar)	1	20.337,88
Módulos de Membrana	6	12.580,13
Membrana	6	125.801,29
Flash (óleo e solventes)	1	18.450,86
Colunas	2	83.867,53
Trocador de calor (aquecer)	1	10.168,94

Tabela 13 - Investimento Inicial do Projeto

TOTAL DE EQUIPAMENTOS	\$	875.262,50
TOTAL DE INSTALAÇÃO	\$	312.285,99
DESPESAS BUROCRÁTICAS	\$	30.000,00
TOTAL DE INVESTIMENTOS	\$	1.217.548,49

Foi estimada para os equipamentos (excluindo as membranas) uma vida útil de 10 anos e para o galpão e laboratório, de 25 anos. Já as membranas, que deverão ser substituídas com maior frequência (a cada 2 anos), devido à sua baixa média vida, passam a ser consideradas como uma despesa operacional a partir do primeiro ano em que ocorre sua substituição.

A tabela 14 mostra os valores da depreciação anual (DEPR) de 10% ao ano dos itens acima citados. Como foram considerados 10 anos para a análise, não haverá valor residual a ser descontado no último ano de investimento.

Tabela 14 - Depreciação anual

Especificação	Vida (anos)	Valor	DEPR (a.a.)
Aluguel	25	\$ 20.000,00	\$ 2.000,00
Equipamentos	10	\$ 749.461,21	\$ 74.946,12
Membranas	2	\$ 125.801,29	\$ 62.900,65
TOTAL			\$ 139.846,77

As despesas operacionais, tais como matéria-prima, solventes (hexano, etanol e isopropanol), mão-de-obra, água e luz, manutenção, utilidades (vapor, água de resfriamento) e outros, são apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 15 - Despesas Operacionais

Item	Descrição	Unidade	Qtde	Total
Solventes	Hexano	l	6.682.500	\$ 6.563.551,50
	Etanol	l	4.455.000	\$ 1.405.998,00
	Isopropanol	l	1.113.750	\$ 1.313.111,25
Matéria-prima	Argila ativada	l	25.988	\$ 4.521,83
	Soda Caústica	l	2.227.500	\$ 1.639.440,00
Aluguel	Área de X m ² /ano	mês	12	\$ 1.200.000,00
Água e luz	Consumo	mês	12	\$ 60.000,00
Manutenção	Conservação equipamentos	\$	1	\$ 87.526,25
Vapor	Vapor Baixa Pressão (refervedor-coluna)	GJ	46.200	\$ 623.700,00
Água de resfriamento	(condensador-coluna)	GJ	29.600	\$ 10.774,40
Água de resfriamento	Desidratação (condensador)	GJ	71.136	\$ 25.893,50
DESPESAS OPERACIONAIS				\$12.934.516,73
Mão de Obra Operacional	salário mensal + encargos	\$	1	\$ 1.940.177,51
Mão de obra supervisao	salário mensal + encargos	\$	1	\$ 1.164.106,51
Overheads	segurança/comida/adm	\$	1	\$ 970.088,75
Laboratory Costs	controle de qualidade/monitoria do processo	\$	1	\$ 582.053,25
TOTAL DESPESAS OPERACIONAIS				\$17.590.942,75

O valor total destas despesas operacionais é considerado como saída anual no fluxo de caixa do projeto. O custo de manutenção ao ano foi calculado com base em (RAY, 1989), que indica que um valor razoável a ser considerado varia de 1 a 5% do capital instalado. Assim, considerou-se 10% do valor total dos equipamentos.

De posse de todas estas informações, construiu-se o fluxo de caixa anual, como pode ser visto na tabela 16.

Tabela 16 - Fluxo de Caixa

ITENS	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
SAÍDAS						
Total dos Investimentos	\$ 1.217.548,49	\$ -	\$ 125.801,29	\$ -	\$ 125.801,29	\$ -
Total de Despesas Operacionais	\$ -	\$ 17.590.942,75	\$ 18.470.489,89	\$ 19.394.014,38	\$ 20.363.715,10	\$ 21.381.900,86
Total de custos com compra de OLUCS	\$ -	\$ 8.622.580,65	\$ 9.053.709,68	\$ 9.506.395,16	\$ 9.981.714,92	\$ 10.480.800,67
TOTAL	\$ 1.217.548,49	\$ 26.213.523,40	\$ 27.650.000,86	\$ 28.900.409,55	\$ 30.471.231,32	\$ 31.862.701,52
ENTRADAS						
Receita com a Venda de Óleo Lubrificante	\$ -	\$ 26.658.145,16	\$ 27.991.052,42	\$ 29.390.605,04	\$ 30.860.135,29	\$ 32.403.142,06
TOTAL	\$ -	\$ 26.658.145,16	\$ 27.991.052,42	\$ 29.390.605,04	\$ 30.860.135,29	\$ 32.403.142,06
FLUXO DE CAIXA	\$ -1.217.548,49	\$ 444.621,76	\$ 341.051,56	\$ 490.195,49	\$ 388.903,98	\$ 540.440,53

ITENS	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
SAÍDAS					
Total dos Investimentos	\$ 125.801,29	\$ -	\$ 125.801,29	\$ -	\$ 125.801,29
Total de Despesas Operacionais	\$ 22.450.995,90	\$ 23.573.545,70	\$ 24.752.222,98	\$ 25.989.834,13	\$ 27.289.325,84
Total de custos com compra de OLUCS	\$ 11.004.840,70	\$ 11.555.082,73	\$ 12.132.836,87	\$ 12.739.478,71	\$ 13.376.452,65
TOTAL	\$ 33.581.637,89	\$ 35.128.628,43	\$ 37.010.861,15	\$ 38.729.312,84	\$ 40.791.579,78
ENTRADAS					
Receita com a Venda de Óleo Lubrificante	\$ 34.023.299,16	\$ 35.724.464,12	\$ 37.510.687,32	\$ 39.386.221,69	\$ 41.355.532,77
TOTAL	\$ 34.023.299,16	\$ 35.724.464,12	\$ 37.510.687,32	\$ 39.386.221,69	\$ 41.355.532,77
FLUXO DE CAIXA	\$ 441.661,27	\$ 595.835,69	\$ 499.826,18	\$ 656.908,85	\$ 563.952,99

O fluxo de caixa do ano 0 representa o valor do investimento inicial já descrito na Tabela 12. O valor das saídas anuais está acrescida dos gastos com a substituição da membrana a cada 2 anos. Já o valor das entradas representa, conforme já salientado, o valor das receitas anuais de vendas com o óleo rerrefinado. Vale lembrar que as despesas operacionais e receita de venda foram acrescidas de 5% ao ano a partir do Ano 2. O diagrama a seguir representa o fluxo de caixa para o projeto:

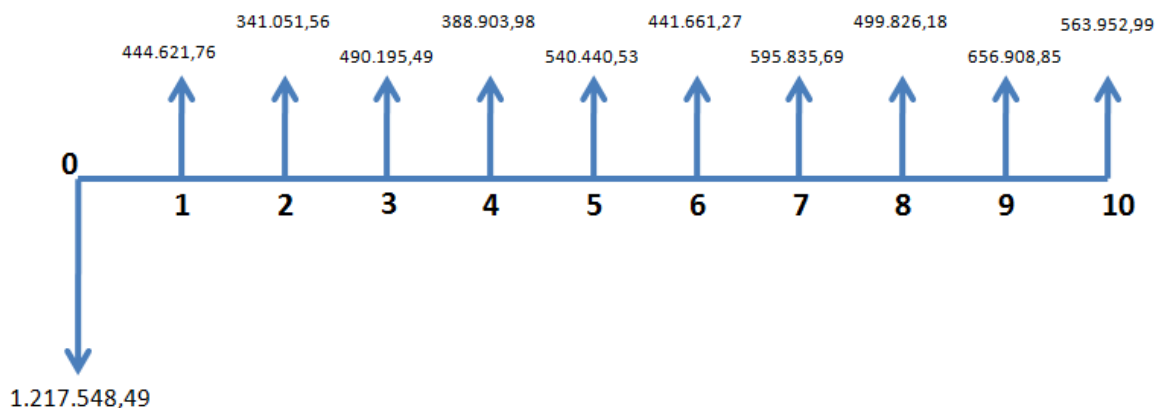


Figura 24 - Diagrama do fluxo de caixa do projeto

Utilizando-se uma TMA de 12,42% a.a., calculou-se o VPL do projeto que foi de US\$ 1.418.491,31. Além disso, foi obtido a TIR de 34,9% a.a do projeto, taxa esta que representa a rentabilidade do mesmo. Por fim, calculou-se o PPD, resultando em 4 anos, e a relação B/C, no valor de 1,01. A tabela 17 mostra os valores presentes dos fluxos de caixa a 12,42% a.a., utilizados no cálculo do VPL, do PPD e da relação B/C:

Tabela 17 - Valores Presentes dos Fluxos de Caixa Anuais

Ano	VP das entradas	VP das saídas	VP do FC	VP acumulado do FC
0	\$ -	\$ 1.217.548,49	\$ -1.217.548,49	\$ -1.217.548,49
1	\$ 23.712.991,60	\$ 23.317.491,01	\$ 395.500,59	\$ -822.047,90
2	\$ 22.147.875,10	\$ 21.878.018,60	\$ 269.856,50	\$ -552.191,41
3	\$ 20.686.060,18	\$ 20.341.044,70	\$ 345.015,47	\$ -207.175,93
4	\$ 19.320.728,68	\$ 19.077.246,01	\$ 243.482,67	\$ 36.306,74
5	\$ 18.045.512,47	\$ 17.744.537,76	\$ 300.974,71	\$ 337.281,45
6	\$ 16.854.463,70	\$ 16.635.673,52	\$ 218.790,18	\$ 556.071,63
7	\$ 15.742.027,12	\$ 15.479.471,42	\$ 262.555,70	\$ 818.627,33
8	\$ 14.703.014,12	\$ 14.507.097,92	\$ 195.916,20	\$ 1.014.543,53
9	\$ 13.732.578,57	\$ 13.503.537,75	\$ 229.040,82	\$ 1.243.584,34
10	\$ 12.826.194,18	\$ 12.651.287,22	\$ 174.906,96	\$ 1.418.491,31
TOTAL	\$ 177.771.445,72	\$ 176.352.954,42	\$ 1.418.491,31	VPL

Para o cálculo dos valores do Ponto de Equilíbrio Contábil (PEC), adicionou-se às despesas operacionais, já consideradas no fluxo de caixa, a apropriação dos gastos bienais com as membranas, considerando-se metade do valor total para a compra da membrana, para que este seja diluído em todos os anos analisados, e não somente nos anos pares (uma vez que ocorre apenas de 2 em 2 anos). A tabela abaixo mostra os valores anuais da Demonstração de Resultados para o Projeto:

Tabela 18 - Demonstração de Resultados Anuais

Item	Descrição	Classificação	Valores
	Receita	-	\$ 26.658.145,16
	Depreciação	Indireto	\$ 139.846,77
Solventes	Hexano	Direto	\$ 6.563.551,50
	Etanol	Direto	\$ 1.405.998,00
	Isopropanol	Direto	\$ 1.313.111,25
Matéria-prima	Argila ativada	Direto	\$ 4.521,83
	Soda Caústica	Direto	\$ 1.639.440,00
Aluguel	Área de X m ² /ano	Indireto	\$ 1.200.000,00
Água e luz	Consumo	Indireto	\$ 60.000,00
Manutenção	Conservação equipamentos	Indireto	\$ 87.526,25
Vapor	Vapor Baixa Pressão (refervedor-coluna)	Direto	\$ 623.700,00
Água de resfriamento	(condesador-coluna)	Direto	\$ 10.774,40
Água de resfriamento	Desidratação (condensador)	Direto	\$ 25.893,50
Mão de Obra Operacional	salário mensal + encargos	Direto	\$ 1.940.177,51
Mao de obra supervisao	salário mensal + encargos	Indireto	\$ 1.164.106,51
Overheads	segurança/comida/adm	Indireto	\$ 970.088,75
Laboratory Costs	controle de qualidade/monitoria do processo	Indireto	\$ 582.053,25
	Membrana	Direto	\$ 62.900,65
	Custos e Despesas	-	\$ 17.793.690,17
	RESULTADO		\$ 8.864.454,99

Foram demonstrados os valores da receita, custos e despesas, além de suas classificações como Custo Direto ou Indireto. Tem-se, então, um valor de US\$ 13.652.969,28 de custos diretos e US\$ 4.203.621,53 de indiretos. A partir daí, calculou-se o PEC, ou seja, o quanto a Margem de Contribuição Total (MC%) representa no valor dos custos indiretos. O valor da MC obtido foi de 49%. Por conseguinte, o valor do PEC foi de US\$ 8.575.152,80, que representa 32,2% da receita projetada. Isso quer dizer que, para obter lucro, a operação precisa trabalhar a este nível de capacidade instalada.

Para o cálculo do PEE, a lógica foi a mesma da já utilizada para o PEC, adicionando apenas aos Custos Diretos uma remuneração de 12,42%a.a. do valor dos investimentos iniciais. Sendo assim, o valor dos custos diretos subiu para US\$ 15.102.263,86, com um MC de 43,4% e um PEE de US\$ 9.697.291,80, que representa 36,4% da receita projetada.

Por último, procedeu-se uma análise de sensibilidade em duas etapas. Primeiramente, procurou-se um volume e um preço de venda mínimos, de modo a garantir um VPL e um Resultado positivos. Ou seja, os valores para o volume de vendas e para o preço do produto que fazem com que o VPL e o Resultado se igualem a zero foram calculados. A Tabela 19 mostra os resultados desta análise:

Tabela 19 - Valores Mínimos de Volume e Preço de Vendas

Para VPL = 0	
Quantidade	Preço
459.452,26	\$ 0,08
Para Resultado = 0	
Quantidade	Preço
6.714.600,06	\$ 1,14

Cada valor citado acima foi calculado de forma isolada, ou seja, foi calculada uma variação em um termo, mantendo os outros constantes. Por exemplo, pode-se reduzir o volume de vendas de óleo rerrefinado até um patamar de 6.714.600 litros por ano, sendo constante seu preço planejado.

Deste quadro, pode-se observar que a redução máxima no volume e no preço de vendas, para atingir um VPL = 0 (apenas para cobrir o custo de investimento) será de, aproximadamente, 97%. Já para o caso de atingir Resultado = 0, o percentual máximo seria uma redução de 57% nos volumes e preços de venda planejados. Isso mostra que o Resultado é mais sensível a variações nos volumes e preço de venda do que o VPL.

Depois de obtidos esses valores, procurou-se fazer uma análise que mostrasse a probabilidade do VPL ser negativo, ou seja, a probabilidade de inviabilidade do projeto. Para tanto, considerou-se uma variabilidade dos fluxos de caixa anuais, através de cenários pessimista, mais provável e otimista, e certa probabilidade de ocorrência para cada cenário. O valor médio para cada fluxo deve ser igual ao valor considerado na análise e mostrado no Diagrama de Fluxo de Caixa (Figura 24). Abaixo, seguem os valores considerados nesta análise.

Tabela 20 - Valores Incertos dos Fluxos de Caixa Anuais

Ano	Pessimista (35%)	Mais Provável (50%)	Otimista (15%)	Valor Esperado	Variância	Desvio Padrão
0	\$ -1.217.548,49	\$ -1.217.548,49	\$ -1.217.548,49	\$ -1.217.548,49	\$ -	\$ -
1	\$ 333.466,32	\$ 466.852,85	\$ 511.315,03	\$ 444.621,76	\$ 878.615.613,60	\$ 29.641,45
2	\$ 170.525,78	\$ 376.009,34	\$ 451.040,69	\$ 341.051,56	\$ 2.185.794.798,33	\$ 46.752,48
3	\$ 122.548,87	\$ 567.462,56	\$ 745.526,07	\$ 490.195,49	\$ 10.780.571.975,79	\$ 103.829,53
4	\$ -	\$ 472.715,21	\$ 680.195,48	\$ 388.903,98	\$ 12.851.830.439,36	\$ 113.365,91
5	\$ -135.110,13	\$ 689.754,29	\$ 1.087.018,95	\$ 540.440,53	\$ 41.488.874.936,13	\$ 203.688,18
6	\$ -220.830,63	\$ 591.868,34	\$ 1.021.589,34	\$ 441.661,27	\$ 42.877.983.355,30	\$ 207.070,00
7	\$ -446.876,77	\$ 838.400,65	\$ 1.584.934,77	\$ 595.835,69	\$ 114.673.837.127,29	\$ 338.635,26
8	\$ -499.826,18	\$ 738.470,91	\$ 1.528.979,71	\$ 499.826,18	\$ 114.334.814.214,42	\$ 338.134,31
9	\$ -821.136,06	\$ 1.019.081,23	\$ 2.310.924,05	\$ 656.908,85	\$ 272.494.459.486,94	\$ 522.010,02
10	\$ -845.929,49	\$ 918.620,00	\$ 2.281.504,40	\$ 563.952,99	\$ 271.690.075.493,69	\$ 521.238,98
VPL	\$ -1.825.874,14	\$ 2.167.047,58	\$ 4.467.232,14	\$ 1.418.491,31	\$ 337.110.461.000,36	\$ 1.048.851,05

O cenário pessimista, com probabilidade de ocorrência de 35%, foi calculado reduzindo o valor esperado em 25% a cada ano. Sendo assim, o valor do fluxo de caixa para este cenário, no ano 1, foi 25% menor do que o valor esperado. Já para o ano 2, 50% e, conseqüentemente, para o ano 3, 75%, e assim por diante. O valor do cenário otimista, com probabilidade de 15%, foi calculado capitalizando o valor esperado a uma taxa de 15% ao ano, ou seja, o valor para o ano 1 foi 15% maior que o esperado e, a partir daí, multiplicou-se o valor esperado por $(1,15)^t$, sendo t o valor do ano correspondente, para os períodos seguintes. Por último, o valor mais provável foi calculado somando-se 5% ao ano do valor esperado.

A porcentagem mais provável foi definida com base na expectativa de crescimento futuro do ramo de rerrefino, a pessimista envolve uma possível crise envolvendo o mercado de óleos lubrificantes, e a otimista corresponde a possíveis incentivos do governo para o mercado nacional.

Cabe ressaltar que os valores atribuídos ao fluxo serviram apenas de simulação para aplicação da ferramenta que nos mostra a probabilidade do VPL esperado de US\$ 1.418.491,31 vir a ser negativo por conta das incertezas do mercado. Com base nos valores do VPL esperado e do desvio padrão calculado, obteve-se o valor de Z, que representa o número de desvios até ter-se um VPL negativo. O valor de Z obtido foi de 1,35. Isso representa uma probabilidade de inviabilidade de 9% (resultado da observação da tabela abaixo, a partir de z,

subtraído de 1) de acordo com a Tabela de Distribuição Gaussiana (Tabela Normal) (CRESPO, 1997).

z	0,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817

Figura 25 - Tabela normal

Com base em todos estes parâmetros pode-se concluir, em relação à viabilidade econômico-financeira deste projeto, que:

- Considerando o VPL, a TIR e a relação B/C pode-se perceber que o projeto é viável, a uma TMA de 12,42% a.a. e um horizonte de tempo de 10 anos. Isso porque o VPL > 0, a TIR > TMA e a relação B/C > 1,00.
- A análise dos PEC e PEE mostram que os lucros são obtidos a partir de uma porcentagem baixa da venda de produtos, isto é, apenas 32,2% e 36,4%, respectivamente, porcentagem essa necessária para cobrir os custos de produção.
- A primeira análise de sensibilidade, utilizando VPL = 0, aponta que precisamos de uma baixa produção de óleo rerrefinado para cobrir os custos de investimento. Já para Resultado = 0, também foi obtido um resultado positivo, uma vez que, mesmo a um preço de venda inferior, ainda

assim é possível alcançar o volume de produção planejado, com os mesmos custos de produção. Por fim, comprovamos, com a análise de cenários, a baixa probabilidade de inviabilidade do projeto, encontrada como sendo apenas 9%.

6 DISCUSSÃO E RESULTADOS

O projeto se mostra viável em todos os indicadores utilizados. Pôde-se perceber que a utilização de indicadores, tais como o VPL, a TIR e a relação B/C, é importante na análise de viabilidade econômico-financeira de projetos de investimento, pois através destes pode-se observar o ganho gerado pelo projeto, considerando explicitamente suas características técnicas e as condições econômico-financeiras na análise.

Já a utilização do PPD mostra o tempo que o investimento será recuperado, indicando assim o tempo de exposição deste às incertezas do mercado. O valor obtido foi baixo, quando comparado ao período de tempo que usualmente envolve o retorno do investimento em indústrias químicas.

Além destes indicadores que têm base no Modelo DFC, mostrou-se neste trabalho a importância da utilização da análise do ponto de equilíbrio. Tanto o PEC, quanto o PEE mostram o nível de atividade mínimo, que também nos dá uma idéia de risco que o projeto pode ter. São fundamentais para as decisões referentes a investimentos, planejamento do resultado, lançamento e análise das alterações de preço de venda conforme o comportamento do mercado. No caso específico deste projeto, tem-se uma análise positiva em relação a estes parâmetros, uma vez que ambos estão em patamares baixos e mostram que os custos de produção podem ser cobertos com uma porcentagem relativamente pequena de venda.

Por fim, a análise de sensibilidade mostrou, de maneira clara, as folgas que a decisão de aceitar ou não o projeto tem em relação a certas variáveis-chave.

Este trabalho representou apenas uma tentativa de tornar mais clara e evidente a utilização correta destas ferramentas. Esta linha de pesquisa em análise de viabilidade econômico-financeira pode ter continuidade em várias perspectivas.

Em relação a este projeto, os resultados obtidos foram muito satisfatórios no que se refere aos custos de aplicação do mesmo em escala industrial, com respeito às características técnicas e informações econômico-financeiras.

Finalmente, em relação ao tema em si, o próximo passo seria concluir o estudo econômico com um estudo de mercado e local de implantação para finalizar

a viabilidade do processo, com uma análise crítica das perspectivas da atividade de rerrefino e dos resultados obtidos.

7 SUGESTÃO DE MELHORIAS E PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO

Uma vez analisado o processo de Ultrafiltração por Membranas e Adsorção, pode-se sugerir melhorias a fim de otimizar o projeto de rerrefino por tal método. Segue abaixo descrição de propostas para trabalhos futuros.

Devido à baixa durabilidade das membranas poliméricas, usualmente utilizadas, se propõe o uso de membranas inorgânicas, que apresentam uma vida útil maior e facilidade de limpeza. Cabe ressaltar que estas são bem mais caras, e seria interessante analisar economicamente sua aplicação em detrimento das poliméricas para validar se essa troca seria viável.

Já que a membrana é seletiva, isto é, permite a passagem apenas de alguns solutos, haverá uma acumulação dos solutos que são largamente rejeitados. Como consequência, formar-se-á uma camada concentrada na interface da mesma que oferecerá uma resistência adicional à transferência de massa. Com isso, uma sugestão para a minimização deste fenômeno é aumentar a velocidade de escoamento tangencial causando aumento de turbulência. Tem-se o efeito de mistura, nas proximidades da superfície da membrana, ou seja, ocorrerá um arraste de uma parte significativa dos solutos acumulados, na maioria das vezes por adsorção, reduzindo assim a espessura dessa camada resistente e aumentando a velocidade de permeação.

Em relação ao *fouling*, este também pode ser controlado através de outros procedimentos como a aplicação de gradientes de pressão mais reduzidos ou atuando a nível da composição química das membranas de forma a alterar as interações soluto-superfície da membrana. Vale ressaltar que a pressurização e, principalmente, a despressurização do módulo deve ser lenta para evitar danos à membrana.

Na etapa de centrifugação, a fim de aumentar a sedimentação dos produtos em suspensão, há necessidade de pesquisas para desenvolver coagulantes para sistemas não aquosos. Com esse procedimento, é possível que a formação de *fouling* diminua.

Para melhorar o desempenho da percolação com argila com relação à saturação, torna-se necessário destruir ou modificar o complexo cromóforo. A partir

disso, sugere-se um estudo com uma variação de pH, comprovando se esta modificação possa ser suficiente.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou abordar a questão da análise de viabilidade econômico-financeira do processo de Ultrafiltração por Membranas e Adsorção aplicado ao rerrefino de óleos lubrificantes usados, com uma metodologia que considera de forma explícita todos os indicadores e técnicas utilizados.

Após pesquisa e coleta de informações técnicas referentes ao óleo lubrificante, riscos relativos aos óleos contaminados, os processos de coleta e reciclagem empregados, legislação vigente e outros tópicos, com destaque para o processo de rerrefino de Ultrafiltração por Membranas e Adsorção, escolhido por meio de critérios julgados essenciais (custo, consumo de matérias primas, quantidade de resíduos, custo com tratamento de poluentes e rendimento) para um estudo mais detalhado, foi possível obter maior conhecimento sobre o tema, com significativo aprofundamento de todos os itens envolvidos.

O processo foi profundamente estudado, sendo possível propor sugestões de melhoria e otimização do mesmo. Além disso, verificou-se a partir de uma análise dos dados fornecidos pela ANP a respeito do percentual de óleo coletado, uma tendência crescente no que diz respeito à coleta e ao rerrefino de óleos lubrificantes usados e contaminados. Como base nisso, uma análise econômica foi realizada a partir do estudo de custos. Este envolveu uma base teórica forte em engenharia química para a análise e dimensionamento dos equipamentos, além do necessário conhecimento econômico-financeiro que envolve a avaliação de viabilidade de um projeto. Assim, a importância do tema abordado, bem como sua coerente aplicação nos dias atuais, quando a questão ambiental entra mais em pauta e a busca pelo seu alinhamento com questões econômicas torna-se necessária e primordial, foram comprovados.

Os resultados obtidos no estudo de custos corroboram com as altas expectativas relacionadas à uma possível instalação de uma planta de rerrefino que utiliza o processo descrito. Porém, autores como (DAMODARAN, 1997) e (SOUZA, et al., 2004) ressaltam que a decisão de investir é de natureza complexa, porque muitos fatores, inclusive de ordem pessoal, entram em cena. Há várias áreas na avaliação em que existe espaço para discórdia, entre estas: a estimativa dos fluxos de caixa e do custo de oportunidade. Ou seja, mesmo que os modelos de avaliação

sejam quantitativos, a avaliação possui aspectos subjetivos. Isso faz com que, por exemplo, dois analistas possam, através da utilização das mesmas técnicas, chegar a conclusões diferentes com relação à avaliação de um ativo. Com isso, de acordo com (MACEDO, et al., 2006), a aplicação de qualquer técnica não se constitui em uma estimativa precisa de valor, mas apenas um parâmetro para auxiliar no processo de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

- AMBIENTEBRASIL. 2003.** Reciclagem de Óleos Lubrificantes,. *Ambiente Brasil*. [Online] 2003. ambientebrasil.com.br/Reciclagem de Óleos Lubrificantes.
- APROMAC. 2010.** Gerenciamento de óleos lubrificantes usados e contaminados. *Associação de Proteção ao Meio Ambiente da CIANORTE*. [Online] 2010.
- AUDIBERT, F. et al. 1978.** *Reclaiming of spent lubricant oils by ultrafiltration*. 1978.
- BCB. 2011.** Consulta à Taxa Selic. *Banco Central do Brasil*. [Online] 2011. <http://www.bcb.gov.br>.
- . **2011.** Economia e Finanças. *Banco Central do Brasil*. [Online] Julho de 2011.
- BOZZA. 2010.** A História da Lubrificação. *Solução em Lubrificante e Abastecimento*. [Online] 2010. <http://www.bozza.com>.
- BRYMAN, A. 1989.** *Research Methods an Organization Studies*. New York : s.n., 1989.
- BUARQUE, C. 1991.** *Avaliação Econômica de Projetos: uma apresentação didática*. Rio de Janeiro : s.n., 1991.
- CAMARGO, A. R. 2011.** Lwart nordeste - Alta tecnologia para qualidade, segurança e meio ambiente. *Lwar*. jan/fev/mar, 2011, Vol. 14, 45.
- CARRETEIRO, R. P. e MOURA, C. R. S. 1987.** *Lubrificantes e Lubificação*. s.l. : Makron Books, 1987.
- CEMPRE. 2010.** Óleo lubrificante usado. *Compromisso Empresarial para Reciclagem*. [Online] 2010. www.cempre.com.br.
- CHEREMISNOFF, NICHOLAS P. 1998.** *Liquid Filtration*. Boston : Butterworth-Heinemann, 1998.
- CRESPO, A.A. 1997.** *Estatística Fácil*. São Paulo : Saraiva, 1997.
- DAMODARAN, A. 1997.** *Avaliação de Investimento: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo*. Rio de Janeiro : s.n., 1997.
- FERREIRA, A. 2008.** *Dicionário Aurélio*. 2008.
- FERREIRA, J. A. S. 2005.** *Finanças Corporativas: conceitos a aplicações*. São Paulo : Pearson/Prentice Hall, 2005.
- GALLIANO, G. A. 1979.** *O método científico: teoria e prática*. São Paulo : s.n., 1979.
- GITMAN, L. J. 1997.** *Princípios da administração financeira* . São Paulo : s.n., 1997.
- HABERT, A. C. e BORGES, C. P. e NOBREGA, R. 2006.** *Processo de Separação por Membranas*. Rio de Janeiro : E-papers, 2006.
- IBAMA-MMA. 2008.** *Manual de procedimento - Fiscalização das atividades relacionadas a óleos lubrificantes usados ou contaminados*. Brasília : s.n., 2008.

- LIMPO, PROGRAMA JOGUE. 2011.** Quais são as técnicas disponíveis e viáveis de reciclagem de óleos lubrificantes ? *PROGRAMA JOGUE LIMPO*. [Online] SINDICOM, Fev de 2011. <http://www.programajoguelimpo.com.br>.
- LWART. 2010.** Centro de Informações. *Lwart Lubrificantes*. [Online] 2010. www.lwart.com.br.
- MACEDO, M. A. S. e SIQUEIRA, J. R. M. 2006.** *Custo e estrutura de capital - uma abordagem crítica*. Rio de Janeiro : s.n., 2006.
- MATCHE. 2007.** EquipCost. *Matche*. [Online] 2007. <http://www.matche.com/EquipCost/>.
- MCMURRY, John. 2005.** *Química Orgânica*. São Paulo : São Paulo, 2005.
- MMA. 2010.** Resolução CONAMA. *Ministério do Meio Ambiente*. [Online] 2010.
- MOLYKOTE. 2010.** Lubrificantes. *Molykote Lubrificantes, Óleos e Graxas*. [Online] 2010. www.lubrificantes.net.
- MOREIRA, S. C. 1980.** *Introdução à reciclagem de óleos lubrificantes*. Rio de Janeiro : Instituto Brasileiro de Petróleo, 1980.
- MULDER, VON M. 1991.** *Basic Principles of Membrane Technology*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1991.
- NÓBREGA, R, et al. 2005.** *Processo por separação de membranas*. Rio de Janeiro : Editora Manole, 2005.
- NORONHA, J. F. e DUARTE, L. 1995.** *Avaliação de Projetos de Investimentos na Empresa Agropecuária*. São Paulo : s.n., 1995.
- PETROBRÁS. 1999.** *Lubrificantes fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro : s.n., 1999.
- PROLUMINAS. 2010.** Rerrefino de Lubrificantes - Legislação. *Proluminas Lubrificantes*. [Online] 2010.
- RADES, E., ASSIS, V. P. e ORNELAS, R.B. 1981.** *Motivo para reflexão;Atualidades*. 1981.
- RAY, M. S. 1989.** *Chemical engineering design project*. New York : Gordon and Breach Science Publishers, 1989.
- RINCÓN, J. et al. 2003.** *Regeneration of lubricant oil by propane extration*. 2003. 20.
- RMAI. 2001.** *Revista Meio Ambiente Industrial*. [Online] 2001. 5.
- ROSA, M. V. S. e NAKANO, D. 1999.** *A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa*. Rio de Janeiro : s.n., 1999.
- SAMARA, B. S. e BARROS, J. C. 2007.** *Pesquisa de Marketing: Conceitos e Metodologia*. 2007.
- SANTOS, P.S. 1992.** *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo : Edgard Blucher Ltda, 1992.

SCHNEIDER, R.P. & TSUTIYA, M.T. 2001. *Membranas filtrantes para o tratamento de água*, . Rio de Janeiro : ABES, 2001.

SECOM. 2011. Notícias. *Secretária de Comunicação Social*. [Online] Julho de 2011.
www.comunicacao.ba.gov.br.

SINDICOM. 2010. Produção de Lubrificantes. *Sindicato Nacional das Empresas Distribuidores de Combustíveis e Lubrificantes (Brasil)*. [Online] 2010.

SINDIRREFINO. 2010. Índices de coleta de óleos lubrificantes. *Sindicato Nacional da Indústria do Refino de Óleos Minerais*. [Online] 2010.

SOUZA, A. e CLEMENTE, A. 2004. *Desições financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações*. São Paulo : Atlas, 2004.

TNPetróleo. 2010. A importância da coleta de óleo. *Caderno de Sustentabilidade*. 11, 2010.

TORRES, O. F. F. 2006. *Fundamentos da Engenharia Econômica e da Análise Econômica de Projetos*. s.l. : Thomson Learning, 2006.

TRISTÃO, J. A. M., JUNIOR, V. S. e TRISTÃO, V. T. V. 2011. *Gestão Ambiental de Resíduos de Óleos Lubrificantes: o Processo de Refino*. São Paulo : s.n., 2011.

ANEXOS

RESOLUÇÃO CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005

Publicada no DOU no 121, de 27 de junho de 2005, Seção 1, páginas 128-130

Correlações:

· Revoga a Resolução no 9/93

Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto no 99.274, de 6 de junho de 1990, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria no 499, de 18 de dezembro de 2002155, e:

Considerando que o uso prolongado de um óleo lubrificante acabado resulta na sua deterioração parcial, que se reflete na formação de compostos tais como ácidos orgânicos, compostos aromáticos polinucleares potencialmente carcinogênicos, resinas e lacas; Considerando que a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, em sua NBR- 10004, “Resíduos Sólidos - classificação”, classifica o óleo lubrificante usado como resíduo perigoso por apresentar toxicidade;

Considerando que o descarte de óleo lubrificante usado ou contaminado para o solo ou cursos de água gera graves danos ambientais;

Considerando que a combustão de óleos lubrificantes usados gera gases residuais nocivos ao meio ambiente e à saúde pública;

Considerando que a categoria de processos tecnológico-industriais chamada genericamente de rerrefino, corresponde ao método ambientalmente mais seguro para a reciclagem do óleo lubrificante usado ou contaminado, e, portanto, a melhor alternativa de gestão ambiental deste tipo de resíduo; e

Considerando a necessidade de estabelecer novas diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado, resolve:

Art. 1º Todo óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final, de modo que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos constituintes nele contidos, na forma prevista nesta Resolução.

Art. 2º Para efeito desta Resolução serão adotadas as seguintes definições:

I - coletor: pessoa jurídica devidamente autorizada pelo órgão regulador da indústria

do petróleo e licenciada pelo órgão ambiental competente para realizar atividade de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado;

II - coleta: atividade de retirada do óleo usado ou contaminado do seu local de recolhimento e de transporte até à destinação ambientalmente adequada;

III - certificado de coleta: documento previsto nas normas legais vigentes que comprova os volumes de óleos lubrificantes usados ou contaminados coletados;

IV - certificado de recebimento: documento previsto nas normas legais vigentes que comprova a entrega do óleo lubrificante usado ou contaminado do coletor para o rerrefinador;

V - gerador: pessoa física ou jurídica que, em decorrência de sua atividade, gera óleo lubrificante usado ou contaminado;

VI - importador: pessoa jurídica que realiza a importação do óleo lubrificante acabado, devidamente autorizada para o exercício da atividade;

VII - óleo lubrificante básico: principal constituinte do óleo lubrificante acabado, que atenda a legislação pertinente;

VIII - óleo lubrificante acabado: produto formulado a partir de óleos lubrificantes básicos, podendo conter aditivos;

IX - óleo lubrificante usado ou contaminado: óleo lubrificante acabado que, em decorrência do seu uso normal ou por motivo de contaminação, tenha se tornado inadequado à sua finalidade original;

X - produtor: pessoa jurídica responsável pela produção de óleo lubrificante acabado em instalação própria ou de terceiros, devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente, e autorizada para o exercício da atividade pelo órgão regulador da indústria do petróleo ;

XI - reciclagem: processo de transformação do óleo lubrificante usado ou contaminado, tornando-o insumo destinado a outros processos produtivos;

XII - recolhimento: é a retirada e armazenamento adequado do óleo usado ou contaminado do equipamento que o utilizou até o momento da sua coleta, efetuada pelo revendedor ou pelo próprio gerador;

XIII - rerrefinador: pessoa jurídica, responsável pela atividade de rerrefino, devidamente autorizada pelo órgão regulador da indústria do petróleo para a atividade de rerrefino e licenciada pelo órgão ambiental competente;

XIV - rerrefino: categoria de processos industriais de remoção de contaminantes, produtos de degradação e aditivos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados, conferindo aos mesmos características de óleos básicos, conforme legislação específica;

XV - revendedor: pessoa jurídica que comercializa óleo lubrificante acabado no atacado e no varejo tais como: postos de serviço, oficinas, supermercados, lojas de autopeças, atacadistas, etc.; e

XVI - águas interiores: as compreendidas entre a costa e as linhas de base reta, a partir das quais se mede a largura do mar territorial; as dos portos; as das baías; as dos rios e de seus estuários; as dos lagos, lagoas e canais, e as subterrâneas.

Art. 3º Todo o óleo lubrificante usado ou contaminado coletado deverá ser destinado à reciclagem por meio do processo de rerrefino.

§ 1º A reciclagem referida no *caput* poderá ser realizada, a critério do órgão ambiental competente, por meio de outro processo tecnológico com eficácia ambiental comprovada equivalente ou superior ao rerrefino.

§ 2º Será admitido o processamento do óleo lubrificante usado ou contaminado para a fabricação de produtos a serem consumidos exclusivamente pelos respectivos geradores industriais.

§ 3º Comprovada, perante o órgão ambiental competente, a inviabilidade de destinação prevista no *caput* e no § 1º deste artigo, qualquer outra utilização do óleo lubrificante usado ou contaminado dependerá do licenciamento ambiental.

§ 4º Os processos utilizados para a reciclagem do óleo lubrificante deverão estar devidamente licenciados pelo órgão ambiental competente.

Art. 4º Os óleos lubrificantes utilizados no Brasil devem observar, obrigatoriamente, o princípio da reciclabilidade.

Art. 5º O produtor, o importador e o revendedor de óleo lubrificante acabado, bem como o gerador de óleo lubrificante usado, são responsáveis pelo recolhimento do óleo lubrificante usado ou contaminado, nos limites das atribuições previstas nesta Resolução.

Art. 6º O produtor e o importador de óleo lubrificante acabado deverão coletar ou garantir a coleta e dar a destinação final ao óleo lubrificante usado ou

contaminado, em conformidade com esta Resolução, de forma proporcional em relação ao volume total de óleo lubrificante acabado que tenham comercializado.

§ 1º Para o cumprimento da obrigação prevista no *caput* deste artigo, o produtor e o importador poderão:

I - contratar empresa coletora regularmente autorizada junto ao órgão regulador da indústria do petróleo ; ou

II - habilitar-se como empresa coletora, na forma da legislação do órgão regulador da indústria do petróleo.

§ 2º A contratação de coletor terceirizado não exonera o produtor ou importador da responsabilidade pela coleta e destinação legal do óleo usado ou contaminado coletado.

§ 3º Respondem o produtor e o importador, solidariamente, pelas ações e omissões dos coletores que contratarem.

Art. 7º Os produtores e importadores são obrigados a coletar todo óleo disponível ou garantir o custeio de toda a coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado efetivamente realizada, na proporção do óleo que colocarem no mercado conforme metas progressivas intermediárias e finais a serem estabelecidas pelos Ministérios de Meio Ambiente e de Minas e Energia em ato normativo conjunto, mesmo que superado o percentual mínimo fixado.

Parágrafo único. Os órgãos referidos no *caput* deverão estabelecer, ao menos anualmente, o percentual mínimo de coleta de óleos lubrificantes usados ou contaminados, não inferior a 30% (trinta por cento), em relação ao óleo lubrificante acabado comercializado, observado o seguinte:

I - análise do mercado de óleos lubrificantes acabados, na qual serão considerados os dados dos últimos três anos;

II - tendência da frota nacional quer seja rodoviária, ferroviária, naval ou aérea;

III - tendência do parque máquinas industriais consumidoras de óleo, inclusive agroindustriais;

IV - capacidade instalada de rerrefino;

V - avaliação do sistema de recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado;

VI - novas destinações do óleo lubrificante usado ou contaminado, devidamente autorizadas;

VII - critérios regionais; e

VIII - as quantidades de óleo usado ou contaminado efetivamente coletadas.

Art. 8º O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, o órgão regulador da indústria do petróleo e o órgão estadual de meio ambiente, este, quando solicitado, são responsáveis pelo controle e verificação do exato cumprimento dos percentuais de coleta fixados pelos Ministérios do Meio Ambiente e de Minas e Energia. Parágrafo único. Para a realização do controle de que trata o *caput* deste artigo, o IBAMA terá como base as informações relativas ao trimestre civil anterior.

Art. 9º O Ministério do Meio Ambiente, na primeira reunião ordinária do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA de cada ano, apresentará o percentual mínimo de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado, acompanhado de relatório justificativo detalhado, e o IBAMA apresentará relatório sobre os resultados da implementação desta Resolução.

Art. 10. Não integram a base de cálculo da quantia de óleo lubrificante usado ou contaminado a ser coletada pelo produtor ou importador os seguintes óleos lubrificantes acabados:

I - destinados à pulverização agrícola;

II - para correntes de moto-serra;

III - industriais que integram o produto final, não gerando resíduo;

IV - de estampagem;

V - para motores dois tempos;

VI - destinados à utilização em sistemas selados que não exijam troca ou que impliquem em perda total do óleo;

VII – solúveis;

VIII - fabricados à base de asfalto;

IX - destinados à exportação, incluindo aqueles incorporados em máquinas e equipamentos destinados à exportação; e X - todo óleo lubrificante básico ou acabado comercializado entre as empresas produtoras, entre as empresas importadoras, ou entre produtores e importadores, devidamente autorizados pela Agência Nacional do Petróleo - ANP.

Art. 11. O Ministério do Meio Ambiente manterá e coordenará grupo de monitoramento permanente para o acompanhamento desta Resolução, que deverá se reunir ao menos trimestralmente, ficando assegurada a participação de representantes do órgão regulador da indústria do petróleo, dos produtores e importadores, dos revendedores, dos coletores, dos rerrefinadores, das

entidades representativas dos órgãos ambientais estaduais e municipais e das organizações não governamentais ambientalistas.

Art. 12. Ficam proibidos quaisquer descartes de óleos usados ou contaminados em solos, subsolos, nas águas interiores, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e nos sistemas de esgoto ou evacuação de águas residuais.

Art. 13. Para fins desta Resolução, não se entende a combustão ou incineração de óleo lubrificante usado ou contaminado como formas de reciclagem ou de destinação adequada.

Art. 14. No caso dos postos de revenda flutuantes que atendam embarcações, o gerenciamento do óleo lubrificante usado ou contaminado deve atender a legislação ambiental vigente.

Art. 15. Os óleos lubrificantes usados ou contaminados não rerrefináveis, tais como as emulsões oleosas e os óleos biodegradáveis, devem ser recolhidos e eventualmente coletados, em separado, segundo sua natureza, sendo vedada a sua mistura com óleos usados ou contaminados rerrefináveis.

Parágrafo único. O resultado da mistura de óleos usados ou contaminados não rerrefináveis ou biodegradáveis com óleos usados ou contaminados rerrefináveis é considerado integralmente óleo usado ou contaminado não rerrefinável, não biodegradável e resíduo perigoso (classe I), devendo sofrer destinação ou disposição final compatível com sua condição.

Art. 16. São, ainda, obrigações do produtor e do importador:

I - garantir, mensalmente, a coleta do óleo lubrificante usado ou contaminado, no volume mínimo fixado pelos Ministérios do Meio Ambiente e de Minas e Energia, que será calculado com base no volume médio de venda dos óleos lubrificantes acabados, verificado no trimestre civil anterior;

II - prestar ao IBAMA e, quando solicitado, ao órgão estadual de meio ambiente, até o décimo quinto dia do mês subsequente a cada trimestre civil, conforme previsto no anexo I desta Resolução, informações mensais relativas aos volumes de:

a) óleos lubrificantes comercializados por tipo, incluindo os dispensados de coleta;

b) coleta contratada, por coletor; e

c) óleo básico rerrefinado adquirido, por rerrefinador.

III - receber os óleos lubrificantes usados ou contaminados não recicláveis decorrentes da utilização por pessoas físicas, e destiná-los a processo de tratamento aprovado pelo órgão ambiental competente;

IV - manter sob sua guarda, para fins fiscalizatórios, os Certificados de Recebimento emitidos pelo rerrefinador e demais documentos legais exigíveis, pelo prazo de cinco anos;

V - divulgar, em todas as embalagens de óleos lubrificantes acabados, bem como em informes técnicos, a destinação e a forma de retorno dos óleos lubrificantes usados ou contaminados recicláveis ou não, de acordo com o disposto nesta Resolução; e

VI - a partir de um ano da publicação desta resolução, divulgar em todas as embalagens de óleos lubrificantes acabados, bem como na propaganda, publicidade e em informes técnicos, os danos que podem ser causados à população e ao ambiente pela disposição inadequada do óleo usado ou contaminado.

§ 1o O produtor ou o importador que contratar coletor terceirizado deverá celebrar com este contrato de coleta, com a interveniência do responsável pela destinação adequada.

§ 2o Uma via do contrato de coleta previsto no parágrafo anterior será arquivada, à disposição do órgão estadual ambiental, onde o contratante tiver a sua sede principal, por um período mínimo de cinco anos, da data de encerramento do contrato.

Art. 17. São obrigações do revendedor:

I - receber dos geradores o óleo lubrificante usado ou contaminado;

II - dispor de instalações adequadas devidamente licenciadas pelo órgão ambiental competente para a substituição do óleo usado ou contaminado e seu recolhimento de forma segura, em lugar acessível à coleta, utilizando recipientes propícios e resistentes a vazamentos, de modo a não contaminar o meio ambiente;

III - adotar as medidas necessárias para evitar que o óleo lubrificante usado ou contaminado venha a ser misturado com produtos químicos, combustíveis, solventes, água e outras substâncias, evitando a inviabilização da reciclagem;

IV - alienar os óleos lubrificantes usados ou contaminados exclusivamente ao coletor, exigindo:

a) a apresentação pelo coletor das autorizações emitidas pelo órgão ambiental competente e pelo órgão regulador da indústria do petróleo para a atividade de coleta; e

b) a emissão do respectivo certificado de coleta.

V - manter para fins de fiscalização, os documentos comprobatórios de compra de óleo lubrificante acabado e os Certificados de Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado, pelo prazo de cinco anos;

VI - divulgar em local visível ao consumidor, no local de exposição do óleo acabado posto à venda, a destinação disciplinada nesta Resolução, na forma do anexo III; e

VII - manter cópia do licenciamento fornecido pelo órgão ambiental competente para venda de óleo acabado, quando aplicável, e do recolhimento de óleo usado ou contaminado em local visível ao consumidor.

Art. 18. São obrigações do gerador:

I - recolher os óleos lubrificantes usados ou contaminados de forma segura, em lugar acessível à coleta, em recipientes adequados e resistentes a vazamentos, de modo a não contaminar o meio ambiente;

II - adotar as medidas necessárias para evitar que o óleo lubrificante usado ou contaminado venha a ser misturado com produtos químicos, combustíveis, solventes, água e outras substâncias, evitando a inviabilização da reciclagem;

III - alienar os óleos lubrificantes usados ou contaminados exclusivamente ao ponto de recolhimento ou coletor autorizado, exigindo:

a) a apresentação pelo coletor das autorizações emitidas pelo órgão ambiental competente e pelo órgão regulador da indústria do petróleo para a atividade de coleta; e

b) a emissão do respectivo Certificado de Coleta.

IV - fornecer informações ao coletor sobre os possíveis contaminantes contidos no óleo lubrificante usado, durante o seu uso normal;

V - manter para fins de fiscalização, os documentos comprobatórios de compra de óleo lubrificante acabado e os Certificados de Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado, pelo prazo de cinco anos;

VI - no caso de pessoa física, destinar os óleos lubrificantes usados ou contaminados não recicláveis de acordo com a orientação do produtor ou do importador; e

VII - no caso de pessoa jurídica, dar destinação final adequada devidamente autorizada pelo órgão ambiental competente aos óleos lubrificantes usados ou contaminados não recicláveis.

§ 1º Os óleos usados ou contaminados provenientes da frota automotiva devem preferencialmente ser recolhidos nas instalações dos revendedores.

§ 2º Se inexistirem coletores que atendam diretamente os geradores, o óleo lubrificante usado ou contaminado poderá ser entregue ao respectivo revendedor.

Art. 19. São obrigações do coletor:

I - firmar contrato de coleta com um ou mais produtores ou importadores com a intermediação de um ou mais rerrefinadores, ou responsável por destinação ambientalmente adequada, para os quais necessariamente deverá entregar todo o óleo usado ou contaminado que coletar;

II - disponibilizar, quando solicitado pelo órgão ambiental competente, pelo prazo de cinco anos, os contratos de coleta firmados;

III - prestar ao IBAMA e, quando solicitado, ao órgão estadual de meio ambiente, até o décimo quinto dia do mês subsequente, a cada trimestre civil, na forma do anexo II, informações mensais relativas ao volume de:

a) óleo lubrificante usado ou contaminado coletado, por produtor/importador; e

b) óleo lubrificante usado ou contaminado entregue por rerrefinador ou responsável por destinação ambientalmente adequada.

IV - emitir a cada aquisição de óleo lubrificante usado ou contaminado, para o gerador ou revendedor, o respectivo Certificado de Coleta;

V - garantir que as atividades de armazenamento, manuseio, transporte e transbordo do óleo lubrificante usado ou contaminado coletado, sejam efetuadas em condições adequadas de segurança e por pessoal devidamente treinado, atendendo à legislação pertinente e aos requisitos do licenciamento ambiental;

VI - adotar as medidas necessárias para evitar que o óleo lubrificante usado ou contaminado venha a ser misturado com produtos químicos, combustíveis, solventes, água e outras substâncias, evitando a inviabilização da reciclagem;

VII - destinar todo o óleo lubrificante usado ou contaminado coletado, mesmo que excedente de cotas pré-fixadas, a rerrefinador ou responsável por destinação ambientalmente adequada interveniente em contrato de coleta que tiver firmado, exigindo os correspondentes Certificados de Recebimento, quando aplicável;

VIII - manter atualizados os registros de aquisições, alienações e os documentos legais, para fins fiscalizatórios, pelo prazo de cinco anos; e

IX - respeitar a legislação relativa ao transporte de produtos perigosos.

Art. 20. São obrigações dos rerrefinadores:

I - receber todo o óleo lubrificante usado ou contaminado exclusivamente do coletor, emitindo o respectivo Certificado de Recebimento;

II - manter atualizados e disponíveis para fins de fiscalização os registros de emissão de Certificados e Recebimento, bem como outros documentos legais exigíveis, pelo prazo de cinco anos;

III - prestar ao IBAMA e, quando solicitado, ao órgão estadual de meio ambiente, até o décimo quinto dia do mês subsequente a cada trimestre civil, informações mensais relativas:

a) ao volume de óleos lubrificantes usados ou contaminados recebidos por coletor;

b) ao volume de óleo lubrificante básico rerrefinado produzido e comercializado, por produtor/ importador.

§ 1º Os óleos básicos procedentes do rerrefino deverão se enquadrar nas normas estabelecidas pelo órgão regulador da indústria do petróleo e não conter substâncias proibidas pela legislação ambiental.

§ 2º O rerrefinador deverá adotar a política de geração mínima de resíduos inservíveis no processo de rerrefino.

§ 3º O resíduo inservível gerado no processo de rerrefino será considerado como resíduo classe I, salvo comprovação em contrário com base em laudos de laboratórios devidamente credenciados pelo órgão ambiental competente.

§ 4º Os resíduos inservíveis gerados no processo de rerrefino deverão ser inertizados e receber destinação adequada e aprovada pelo órgão ambiental competente.

§ 5º O processo de licenciamento da atividade de rerrefino, além do exigido pelo órgão estadual de meio ambiente, deverá conter informações sobre:

a) volumes de outros materiais utilizáveis resultantes do processo de rerrefino;

b) volumes de resíduos inservíveis gerados no processo de rerrefino, com a indicação da correspondente composição química média; e

c) volume de perdas no processo.

Art. 21. São obrigações dos demais recicladores, nos processos de reciclagem previstos no art. 3o, desta Resolução:

I - prestar ao IBAMA e, quando solicitado, ao órgão estadual de meio ambiente, até o décimo quinto dia do mês subsequente a cada trimestre civil, informações mensais relativas:

- a) ao volume de óleos lubrificantes usados ou contaminados recebidos; e
- b) ao volume de produtos resultantes do processo de reciclagem.

§ 1o O reciclador deverá adotar a política de geração mínima de resíduos inservíveis no processo de reciclagem.

§ 2o O resíduo inservível gerado no processo de reciclagem será considerado como resíduo classe I, salvo comprovação em contrário com base em laudos de laboratórios devidamente credenciados pelo órgão ambiental competente.

§ 3o Os resíduos inservíveis gerados no processo de reciclagem deverão ser inertizados e receber destinação adequada e aprovada pelo órgão ambiental competente.

§ 4o O processo de licenciamento da atividade de reciclagem, além do exigido pelo órgão estadual de meio ambiente, deverá conter informações sobre:

- a) volumes de outros materiais utilizáveis resultantes do processo de reciclagem;
- b) volumes de resíduos inservíveis gerados no processo de reciclagem, com a indicação da correspondente composição química média; e
- c) volume de perdas no processo.

Art. 22. O não cumprimento ao disposto nesta Resolução acarretará aos infratores, entre outras, as sanções previstas na Lei no 9.605, 12 de fevereiro de 1998, e no Decreto no 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Art. 23. As obrigações previstas nesta Resolução são de relevante interesse ambiental.

Art. 24. A fiscalização do cumprimento das obrigações previstas nesta Resolução e aplicação das sanções cabíveis é de responsabilidade do IBAMA e do órgão estadual e municipal de meio ambiente, sem prejuízo da competência própria do órgão regulador da indústria do petróleo.

Art. 25. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 26. Fica revogada a Resolução CONAMA no 9, de 31 de agosto de 1993.

MARINA SILVA - Presidente do Conselho

GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS – Tratamento...
RESOLUÇÃO CONAMA nº 362 de 2005

RESOLUÇÕES DO CONAMA 629