

**MESTRADO PROFISSIONAL
USO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS NATURAIS EM REGIÕES
TROPICAIS**

HEYDER DA SILVA NUNES

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL
DA REGENERAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE: ESTUDO
DE CASO NO SETOR DE MANUTENÇÃO DE
EQUIPAMENTOS DA MINA DE CARAJÁS, PARÁ**

Belém – PA

2016

HEYDER DA SILVA NUNES

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL
DA REGENERAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE: ESTUDO
DE CASO NO SETOR DE MANUTENÇÃO DE
EQUIPAMENTOS DA MINA DE CARAJÁS, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

Belém – PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N972a

Nunes, Heyder da Silva

Avaliação da viabilidade econômica e ambiental da regeneração do óleo lubrificante: estudo de caso no setor de manutenção de equipamentos da mina de Carajás, Pará / Heyder da Silva Nunes -- Belém-PA, 2016.

70 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2016.
Orientador: Prof. Everaldo Barreiros de Souza

1. Filtração. 2. Óleo Lubrificante. 3. Reciclagem. 4. Regeneração.
Título.

CDD 23. ed. 665.5

HEYDER DA SILVA NUNES

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
REGENERAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE: ESTUDO DE CASO NO
SETOR DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DA MINA DE
CARAJÁS, PARÁ**

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Orientador – ITV - DS

Dr. Valente José Matlaba
Membro interno – ITV - DS

Dr. Prafulla Sahoo
Membro interno – ITV - DS

Dr. Alan Cavacanti da Cunha
Membro externo – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo (*in memoriam*) e Telma, por sempre me incentivarem a buscar o meu crescimento profissional e pessoal, pela dedicação e pelo amor que me foi concedido em todas as etapas da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, por ter me concedido o dom da sabedoria e da perseverança, por sempre me mostrar o melhor caminho a percorrer e por me ajudar nas batalhas diárias que a vida nos proporciona.

Aos meus irmãos, Willian e Winderson, por sempre me apoiarem e torcerem por mim em todas as etapas e momentos da minha vida.

A minha namorada, Thaís, por me mostrar uma forma mais agradável de ver o mundo, por me fazer acreditar e confiar mais em meu potencial, por me dar muito amor, carinho e atenção em todos os momentos que estamos juntos.

A meu orientador, Prof. Dr. Everaldo Barreiros Souza, pelo apoio e auxílio que me foi dado durante a realização deste trabalho.

A empresa Vale, que me concedeu a oportunidade de trabalhar e adquirir a experiência necessária para o desenvolvimento deste trabalho e que me forneceu todos os dados essenciais para a concretização desta dissertação.

Ao Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável, que além do aprendizado adquirido com as aulas também me concedeu a bolsa para concluir o mestrado, mesmo não tendo mais vínculo empregatício com a empresa Vale.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

Os óleos lubrificantes, utilizados nos componentes dos automóveis e em diversos equipamentos industriais, constituem um problema ambiental que tem sido subestimado pelos responsáveis pela sua produção e utilização, bem como por aqueles que deveriam fiscalizar as operações de descarte dos óleos usados. A oficina de manutenção de equipamentos da mina de Carajás da Vale S.A., no Pará, a qual é o foco deste trabalho, descarta mensalmente em média 92.751 litros de óleo lubrificantes usados. A recuperação deste resíduo, levando em consideração um fator de 95% de reciclagem de óleo, levaria a um reaproveitamento de 88.113,45 litros do total que seria descartado. Além disso, tem-se um gasto na aquisição de lubrificante novo de cerca de R\$ 1.3 milhões por mês e, com o processo de renovação do óleo, tal valor será reduzido, pois espera-se adquirir em torno de 5% do volume de óleo comprado atualmente. O objetivo geral deste estudo de caso é analisar a viabilidade econômica e ambiental decorrentes do processo de regeneração de óleo lubrificante utilizado na manutenção de equipamentos da mina de ferro de Carajás, através da realização de um diagnóstico físico-químico da qualidade de óleo regenerado, verificando o desempenho dos equipamentos de mineração com a utilização do óleo regenerado e, por fim, discutindo os aspectos ambientais e econômicos associados à implantação do processo. O método utilizado neste trabalho foi a análise de dados de coleta de óleo novo e usado utilizando o teste de hipótese utilizando as médias dos resultados de coleta em 50 amostras para cada óleo. Os dados do trabalho foram obtidos através do controle de lubrificantes realizado pela área de manutenção de caminhões, controle de custos pela gestão econômica, relatório de descarte pela Central de Materiais Descartados (CMD) e relatório de performance dos equipamentos pela área de engenharia de manutenção. Aceita-se a hipótese de que houve ganhos ambientais e econômicos do aproveitamento do óleo regenerado, pois reduziu a quantidade de resíduos de borra provenientes do óleo descartado e houve redução no custo de aquisição do produto no mercado. Isso afeta toda cadeia produtiva de óleo, gerando uma redução significativa dos impactos na mina de ferro de Carajás.

Palavras-chave: Filtração; Óleo Lubrificante; Reciclagem; Regeneração.

ABSTRACT

The lubricating oils used both in automobile components and in several industrial equipments, constitute an environmental problem which has been underestimated by the responsible for its production and use, as well as by those who should inspect the waste oil disposal operations. The equipment maintenance workshop from Carajás da Vale S.A. mine, in Pará, which is focus of this study, disposes in average 92.751 liters of waste lubricating oils, montly. The recovery of this residue, taking into consideration a oil recycling factor of 95% would take reuse of 88.113,45 liters of the total which would be disposed. Furthermore, there is a spend in the new lubricant acquisition about R\$1.1 million montly, and such value decreases with the oil renewal process since it is expected to get about 5% of the volume of the currently bought oil. This case study aims at analyzing both economical and environmental viability from the regeneration process of the lubricating oil used in the equipments maintenance from Carajás Iron Ore mine, by a physical-Chemist diagnosis of the regenerated oil, checking the mining equipments performance by the use of regenerated oil and, finally discussing the environmental and economical aspects associated to the process implantation. The method used in this study was the data analysis of the new and waste oil by the hypothesis test using the averages of the collected result in 50 samples for each oil. The study data were obtained from the lubricant control carried out by the truck maintenance area, cost control by the economic management, disposal report by the Central of Disposal Materials (CMD) and report of the equipment performance by the maintenance engineering area. It's accepted the hypothesis that there were environmental and economic gains from the regenerated oil exploitation, since the amount of sludge residues from the disposed oil and there was a decrease in the product acquisition cost in the market. This has affected all the productive chain of oil, generating a significant decrease in the impacts on the Carajás Iron Ore mine.

Keywords: Filtration; Lubricant Oil, Recycling; Renegeration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Implantação da filtração de fluidos <i>versus</i> queda na frequência de falhas na Nippon Steel.....	16
Figura 2 – Diminuição do consumo de fluidos e da frequência de falhas com a implantação da filtragem de fluidos na Kawasaki Steel.....	16
Figura 3 – Estrutura do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama).....	22
Figura 4 – Articulações da PNRS.....	23
Figura 5 – Produção dos derivados de petróleo.....	27
Figura 6 – Volume de OLUC coletado no Brasil.....	34
Figura 7 – Fluxo do manejo de óleo lubrificante.....	35
Figura 8 – Fluxo do processo de reciclagem do óleo lubrificante.....	36
Figura 9 – Fluxo do processo de regeneração do lubrificante.....	38
Figura 10 – Fluxograma do processo ácido sulfúrico-argila	41
Figura 11 – Contaminação <i>versus</i> vida do componente	45
Figura 12 – Partículas prejudiciais aos sistemas de lubrificação e hidráulicos passíveis de detecção.....	46
Figura 13 – Código ISO e respectivas quantidades de partículas em 1 mL de fluido.....	46
Figura 14 – Comparativo entre óleos hidráulicos com classificações ISO diferentes.....	47
Figura 15 – Área de estudo no sudeste do estado do Pará	52
Figura 16 – Oficina de equipamentos de grande porte	53
Figura 17 – Caminhão mecânico catterpillar 793 D/C	54
Figura 18 – Fluxo da logística de tratamento do óleo.....	55
Figura 19 – Layout da planta de regeneração.....	55
Figura 20 – Planta de regeneração	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ganhos econômicos com a purificação do óleo usado.....	19
Gráfico 2 – Troca de subconjuntos (bombas hidráulicas) nos equipamentos de mineração – DIFL.....	19
Gráfico 3 – Disponibilidade física dos caminhões mecânicos	61
Gráfico 4 – Redução no descarte de óleo com a regeneração implantada.....	64
Gráfico 5 – Impacto da movimentação de mina na geração de óleo.....	65
Gráfico 6 – Redução no custo de aquisição do óleo novo	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de óleos	28
Tabela 2 – Especificações dos óleos lubrificantes básicos rerrefinados	31
Tabela 3 – Tipos de contaminação, suas origens típicas e problemas	32
Tabela 4 – Funções dos aditivos.....	48
Tabela 5 – Principais índices de desempenho da manutenção	49
Tabela 6 – Análise físico-química do óleo 10W e TAC 30	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	<i>American Petroleum Institute</i>
APROMAC	Associação de Proteção ao Meio Ambiente de Cianorte
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CMD	Central de Materiais Descartados
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DF	Disponibilidade Física
DI	Disponibilidade Intrínseca
DIFL	Diretoria de Ferrosos Sul
DS	Desenvolvimento Sustentável
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITV	Instituto Tecnológico Vale
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
NBR	Norma Brasileira Registrada
OLUC	Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado
OS	Ordem de Serviço
PNRS	Política Nacional de Resíduo Sólido
REDUC	Refinaria de Duque de Caxias
RLAM	Refinaria Landulpho Alves
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SINDICOM	Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes
SINDIRREFINO	Sindicato Nacional da Indústria do Rerrefino de Óleos Minerais
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLR	Sistema de Logística Reversa
TBN	<i>Total Basicity Number</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	20
2.1 GESTÃO AMBIENTAL	20
2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	21
2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)	32
2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO USO DE LUBRIFICANTES.....	24
2.5 PRODUÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE NO BRASIL	26
2.6 PROCESSOS DE TRATAMENTO DO ÓLEO LUBRIFICANTE USADO	32
2.6.1 A reciclagem do óleo lubrificante	33
2.6.2 Os processos de reciclagem	35
2.6.3 Processo de regeneração	37
2.6.4 Processo de rerrefino	40
2.7 DEFINIÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DOS LUBRIFICANTES.....	41
2.8 CLASSIFICAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES	44
2.9 ADITIVOS.....	47
2.10 INDICADORES DE PERFORMANCE.....	48
2.10.1 Disponibilidade física	50
2.10.2 Disponibilidade intrínseca	50
2.10.3 MTBF	50
2.10.4 MTTR	51
2.10.5 Backlog	51
3 MATERIAL E MÉTODOS	52
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	52
3.2 DADOS.....	57
3.3 METODOLOGIA.....	58
3.3.1 Análise físico-química do óleo	58
3.3.2 Análise da viabilidade econômica do projeto	58
3.3.3 Avaliação da disponibilidade física dos caminhões	59

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 DESEMPENHO DOS EQUIPAMENTOS	60
4.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA QUALIDADE DO ÓLEO REGENERADO.....	61
4.3 QUALIDADE DAS ANÁLISES DE ÓLEO	63
4.4 IMPACTO AMBIENTAL.....	64
4.5 CUSTO COM AQUISIÇÃO DE ÓLEO NOVO	66
5 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a norma da ABNT NBR nº 10004-2004, os resíduos sólidos são aqueles no estado sólido ou semi-sólido proveniente de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

O resíduo sólido que será analisado neste trabalho é o proveniente do óleo lubrificante (OLUC) derivado do petróleo. O aumento de produção deste tipo de derivado no Brasil, de 2005 a 2015, contribui para o aumento na geração de produtos perigosos (CONAMA nº 362, 2005). Ainda de acordo com a resolução do CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005, a cada barril de petróleo cru produzido no Brasil, cerca de 3% é destinado para a produção de óleo lubrificante básico.

Esses óleos usados contêm elevados níveis de hidrocarbonetos e de metais pesados (zinco, cobre, cromo, níquel, cádmio, chumbo, cloro ou bromo). Caso sejam utilizados nas indústrias como elemento de queima, sem prévia descontaminação e sem o tratamento adequado das emissões atmosféricas, podem provocar problemas ambientais e de saúde, devido a poluição atmosférica resultante (CANCHUMANI, 2013, p.14).

A legislação ambiental brasileira tem como principal objetivo garantir que todo resíduo gerado seja tratado, porém há dificuldades para definir metas de reciclagem iguais em todas as regiões do país, devido a falta de condições atuais para executar a coleta de óleo usado nas regiões Norte e Nordeste (CANCHUMANI, 2013, p.22).

As principais empresas líderes do mercado de mineração, como por exemplo a Vale, possuem um setor específico de meio ambiente para suportar todas as suas atividades. Outras áreas também devem estar envolvidas e preocupadas com as questões ambientais, como é o caso da área de manutenção de equipamentos de mina de Carajás, localizada no sudeste do estado do Pará, a qual é o foco deste estudo de caso.

A área de manutenção de caminhões fora de estrada de Carajás descarta em média 1,13 milhões de litros de lubrificante usado por ano e gasta em média R\$ 16,22 milhões na compra de óleo novo anualmente. Esse óleo usado nas oficinas de manutenção é considerado um resíduo perigoso (classe I) devido a sua toxicidade,

segundo a ABNT NBR nº 10004-2004 e por esse motivo é importante a implantação de métodos que visem a eliminação desse perigo para natureza e seres vivos.

Como a mineração da Vale é realizada em uma Floresta Nacional (Flona), é necessário o tratamento de todos os resíduos provenientes de suas atividades e destinação adequada para que não haja impactos significativos ao meio ambiente.

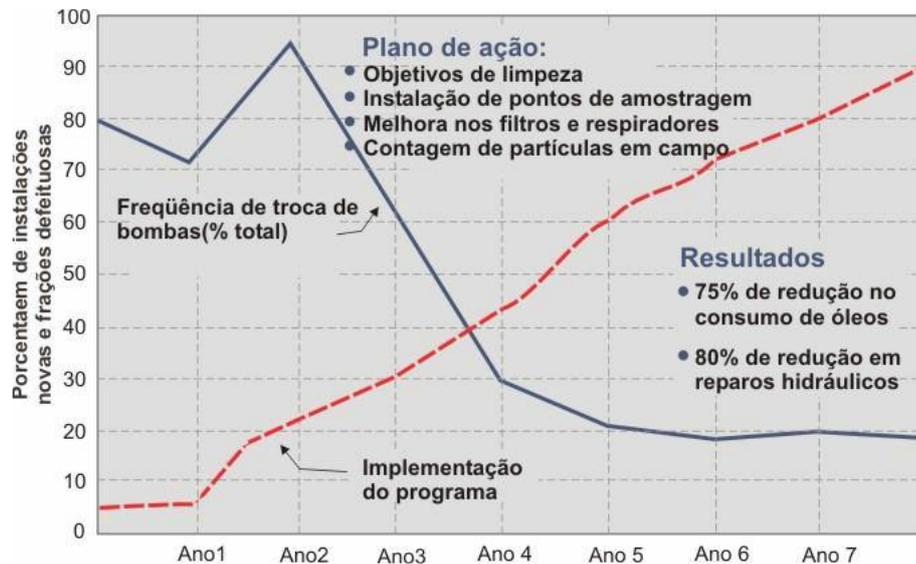
Este trabalho contribuirá para a redução da geração destes resíduos perigosos e do custo com aquisição do óleo novo. O preço da regeneração é de 2 a 3 vezes menor do que o de aquisição do óleo produzido originalmente pelas fornecedoras nacionais de lubrificantes.

Houve um aumento no uso deste produto que é dado pelo aumento na frota de equipamentos de transporte, impulsionado pela alta movimentação de mina. Isso aumenta o desgaste e contaminação do lubrificante nos componentes dos equipamentos.

No final do processo de regeneração de óleo também é gerado um subproduto que é o lodo ativado. Essa borra é composta por resto de argila, aditivos e uma porção mínima de óleo que são eliminados no processo. O lodo é enviado para o CMD que envia para tratamento externo, pois a área ainda não possui processo interno que possa tratar ou reutilizar este resíduo.

Além dos fatores ambientais e econômicos, o desgaste do óleo impacta diretamente na performance dos equipamentos de mineração e necessita ter um controle rigoroso da qualidade que é requerida pelos fabricantes dos ativos. A figura 1 mostra a importância dos processos de tratamento de óleo no desempenho dos equipamentos.

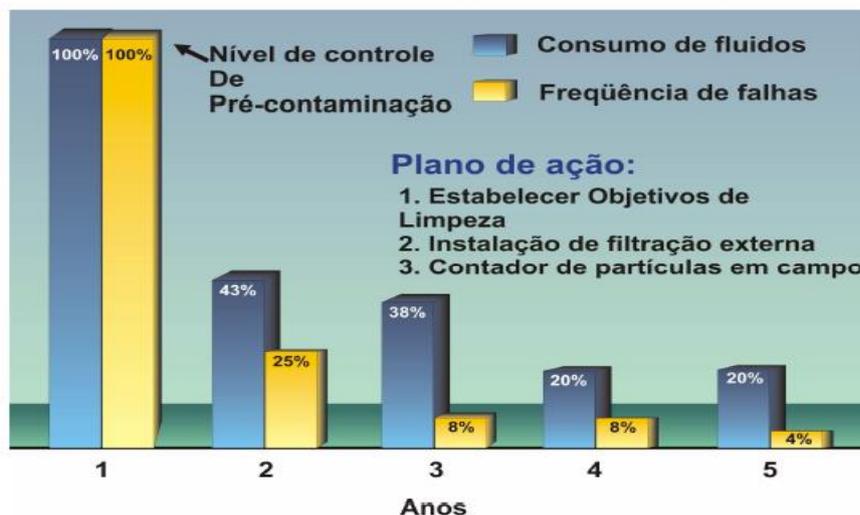
Figura 1 – Implantação da filtração de fluidos *versus* queda na frequência de falhas na Nippon Steel



Fonte: ASSIS, 2009, p.12.

A medida que o programa de implantação de filtração de óleo avança ao longo dos anos a frequência de troca de bombas diminui em cerca de 80%, além da redução de 75% no consumo de óleo no período analisado (ver Figura 1). É importante controlar a qualidade dos lubrificantes nos processos industriais, pois esta gestão ajuda a reduzir a frequência de falhas nos equipamentos (ver Figura 2). No exemplo exposto houve uma redução de 96% de falhas ocasionadas por contaminação do óleo e também houve uma redução de 80% no consumo do óleo.

Figura 2 – Diminuição do consumo de fluidos e da frequência de falhas com a implantação da filtragem de fluidos na Kawasaki Steel



Fonte: ASSIS, 2009, p.12.

Portanto, é essencial que uma empresa que necessita de confiabilidade alta dos seus equipamentos e que utiliza os lubrificantes em seus processos tenha um controle de contaminação e garanta a qualidade requerida dos seus óleos.

Para a obtenção desta qualidade recomendada pelo fornecedor destas máquinas, são realizadas análises e medições de densidade, viscosidade, ponto de fulgor, número de basicidade total (TBN), teor de cálcio, teor de zinco, teor de fósforo, espectrofotometria, corrosão em Lamina de Cobre, PH, quantidade de água e utilização do método comparativo ISO 4406.

Cada vez mais buscam-se soluções para a redução no impacto ao meio ambiente, tais como redução de fumaça preta nos equipamentos móveis, redução na geração de resíduos perigosos, reuso da água nos processos industriais etc.

A presente dissertação procurará responder às seguintes perguntas:

O processo de regeneração de óleo lubrificante realmente é viável do ponto de vista ambiental e econômico?

Quais os impactos no uso do óleo lubrificante regenerado na performance dos equipamentos que o utilizam e quais os impactos ambientais que serão reduzidos?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral é analisar a viabilidade econômica e ambiental decorrente do processo de regeneração de óleo lubrificante utilizado no setor de manutenção de equipamentos da mina de Carajás no Pará.

Os objetivos específicos:

- a) Realizar um diagnóstico físico-químico da qualidade de óleo regenerado, levando em consideração as especificações necessárias para os equipamentos analisados;
- b) Verificar o desempenho dos equipamentos de mineração com a utilização do óleo regenerado;
- c) Discutir a viabilidade econômica e ambiental associada à implantação do processo e apontar medidas de controle a serem adotadas pela empresa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Alinhado aos valores e visão da Vale e a importância que o assunto abordado neste trabalho tem com as indústrias em geral, tendo como objetivo estratégico a redução dos impactos econômicos e ambientais associados as suas atividades nas regiões onde atuam é que se pensou nesse projeto de dissertação. Pretende-se trazer um retorno financeiro para empresa e reduzir os impactos ambientais causados por sua atividade na área de manutenção da mina de Carajás.

A importância do trabalho também atinge o âmbito externo da empresa, pois como o consumo de óleo lubrificante é alto, se faz necessária a substituição do óleo usado ou contaminado por uma quantidade equivalente de lubrificante novo. Então, com a regeneração do óleo reduz-se indiretamente a extração de recursos para a produção do óleo novo.

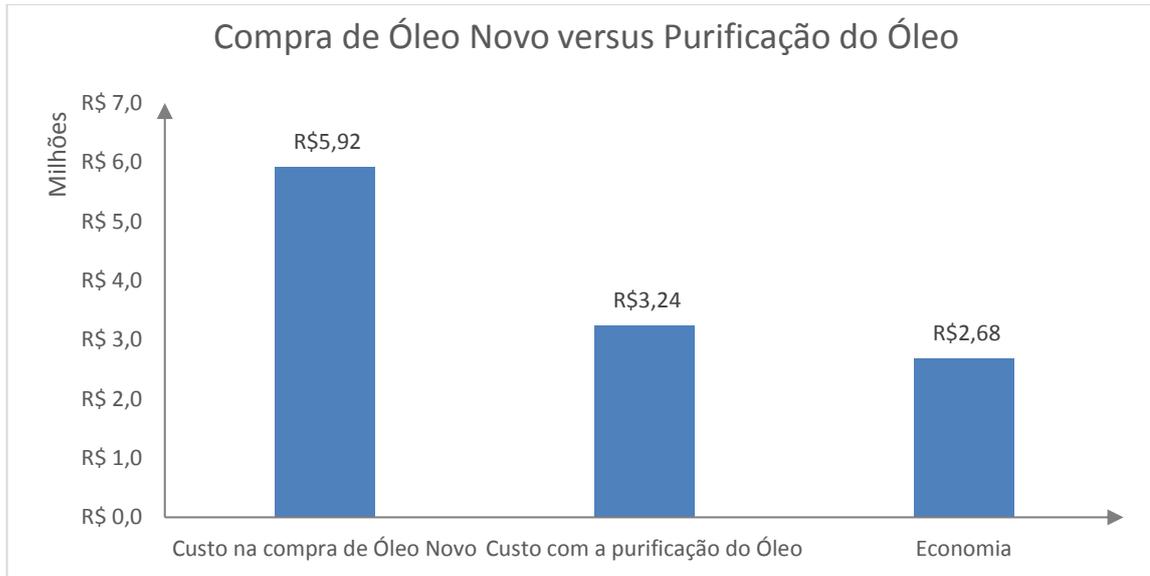
No contexto técnico-científico o trabalho torna-se importante, sendo, salvo engano, o primeiro a analisar o processo para os ativos de grande porte, como é o caso dos equipamentos móveis utilizados na produção de ferro da mina de Carajás e também em relação a grande quantidade de óleo que será regenerado.

Os estudos têm sido realizados por algumas indústrias de vários segmentos e que apresentaram resultados significantes, comprovando a viabilidade econômica e técnica da implantação da reciclagem de óleo lubrificante (citar esses estudos, uns 3). Porém, a maioria dos estudos analisa a regeneração para pequenas plantas de produção ou para veículos de pequeno porte.

Em 2005 foi realizado um projeto similar de filtração e regeneração de óleos hidráulicos e lubrificantes aplicados nos equipamentos de mineração do Complexo de Vargem Grande em Minas Gerais. Todavia, esse projeto se diferencia deste estudo de caso no que diz respeito à capacidade dos ativos e tipos de lubrificantes aplicados.

Nesse projeto de Vargem Grande houve uma redução de 45,32% no custo com aquisição de óleo novo comparado com a purificação do óleo usado no período de 2005 a 2008, sendo que o custo médio de aquisição foi de R\$ 3,55 por litro de óleo novo comparado com R\$ 1,94 por litro de óleo purificado (ver Figura 1).

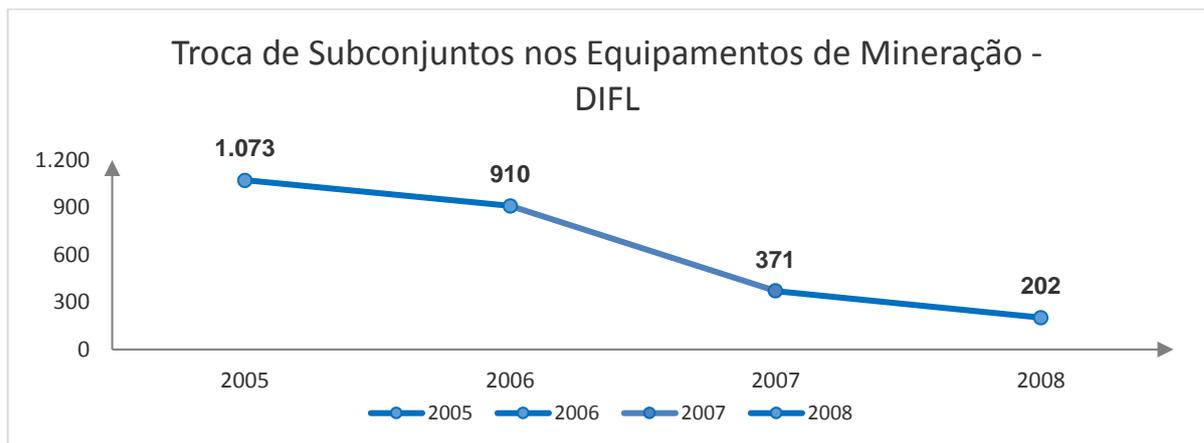
Gráfico 1 – Ganhos econômicos com a purificação do óleo usado



Fonte: ASSIS, 2009, p.18.

Também houve um aumento no tempo de vida dos componentes dos ativos de Vargem Grande, apresentando uma redução de aproximadamente 82% de trocas. Também houve redução na troca de subconjuntos dos equipamentos de mineração (ver Figura 2).

Gráfico 2 – Troca de subconjuntos (bombas hidráulicas) nos equipamentos de mineração – DIFL



Fonte: ASSIS, 2009, p.18.

Para a área de manutenção de mina de Carajás, além do benefício econômico houve também uma redução considerável na geração de resíduo perigoso proveniente do óleo lubrificante, conforme será apresentado nos resultados deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

2.1 GESTÃO AMBIENTAL

Nos anos 1980, o pensamento que predominava no meio empresarial era de que decisões e estratégias que visassem a minimização dos impactos ambientais relacionados às atividades produtivas eram apenas custos adicionais para as empresas. Com esses gastos poderia haver o comprometimento do lucro final da companhia, impactando desta forma muitas partes interessadas com lucratividade da empresa, a competitividade e a oferta de trabalho. Com isso, a estratégia adotada era a de transferir esses custos ambientais para a população, livrando o responsável pelos impactos (empresa) do compromisso de arcar com os impactos que as atividades industriais gerariam ao meio ambiente (DEMAJOROVIC; SANCHES, 1999, *apud* CASTRO, 2011).

Atualmente muitos desastres ambientais e discussões acerca deste tema estão chamando bastante atenção nos noticiários e mídias sociais. Muitos dos questionamentos sobre essa crise ambiental¹ que ocorre no mundo diz respeito à responsabilidade dos impactos que estão sendo gerados. Alguns especialistas defendem que os problemas ocorrem naturalmente, sem a interferência humana. Porém, alguns críticos enfatizam que a maioria dos acontecimentos são causados por ações humanas (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013).

Também é importante reconhecer que o setor industrial e a economia acabaram ignorando por muitos anos os efeitos negativos que as atividades produtivas causaram ao meio ambiente (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013).

Diante de todos esses acontecimentos ambientais nas organizações é que vem se tornando cada vez mais importante para as empresas a preocupação e cuidado com o meio ambiente. Muitas medidas estão sendo tomadas pelo Estado, tais como a criação de novas leis rígidas que fortificam ainda mais esse compromisso com o cuidado e com a gestão ambiental (por exemplo, a norma ISO 14.001), que definem que várias organizações dos mais diversos ramos de negócios estão cada vez mais

¹ Por exemplo, o aumento da temperatura média da superfície da Terra foi de 1,02 graus Celsius em 2015 comparado com o início da Revolução Industrial, segundo um estudo do serviço britânico de meteorologia o Met Office (Grandelle,2015).

preocupadas com o atingimento e demonstração de um desempenho ambiental correto e sustentável (NBR ISO 14.001, 2004).

Mas mesmo com essas novas leis, fiscalização e compromisso por parte de muitas organizações, as ocorrências ambientais continuam acontecendo no mundo e os impactos estão destruindo um ambiente harmônico e a vida de seres vivos.

Em 2015, o Brasil vivenciou o maior acidente ambiental da história do país. Além de um impacto ambiental difícil de ser revertido, também houve um grande impacto econômico e social na região de Mariana, Minas Gerais. Algumas pessoas mortas neste acontecimento e um ecossistema destruído por um rio de lama que destruiu a cidade, deixando muita tristeza e revolta para familiares que sobreviveram e para pessoas que dependiam das atividades locais da região (FRUSCO; GARCIA; GONÇALVES; VESPA, 2015).

Este foi apenas um exemplo de um acidente ocorrido nos últimos tempos na indústria de mineração. Mas a cada dia outras ocorrências deixam suas marcas no meio ambiente impactado por outras atividades econômicas. Por isso, são importantes a preservação e o cuidado com todos os processos que podem gerar algum risco ambiental. Desta forma, se reduzem os riscos de acidentes e mantendo-se assim a atividade produtiva em harmonia com o ambiente em que ela está inserida.

A gestão ambiental vem como uma ferramenta de tomada de decisão para reduzir o risco de novas ocorrências e criar métodos de preservação, visando a sustentabilidade nas organizações, já que estas são as maiores poluidoras. Com isso, cada vez mais conceitos sustentáveis são utilizados como coleta seletiva, reciclagem, reutilização, sustentabilidade, dentre outros.

Castro (2011, p. 27), comenta ainda que:

Estabelecer maneiras de prevenção aos impactos ambientais, associadas à valorização econômica dos bens e serviços e alinhadas ao atendimento das regulamentações constrói-se uma garantia de formas mais competitivas e seguras ao investir em práticas de gestão ambientais.

2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

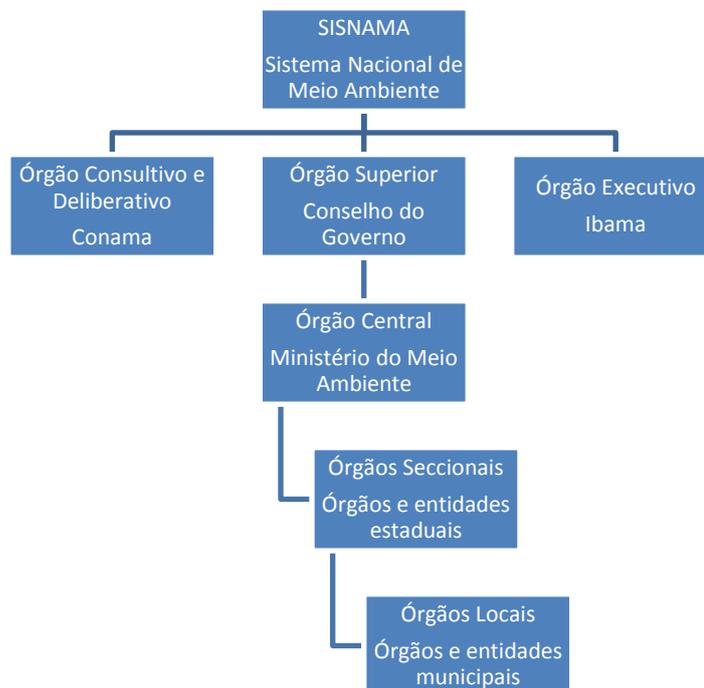
No Brasil, a criação de uma política ambiental estruturada foi mais fruto de pressões internacionais conduzidas por agências e instituições de financiamento do

que por movimento ambientalista interno e teve como marco histórico a Conferência de Estocolmo de 1972 (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013).

Porém, foi a partir de 1970 que se começou a notar os efeitos ambientais dos modelos de exploração econômica do país, destacando-se as poluições atmosféricas e das águas que afetam a qualidade de vida das pessoas que vivem próximas de regiões com alta concentração de indústrias, como, por exemplo, a cidade de Cubatão, no estado de São Paulo, que possui diversas empresas exploradoras de atividades econômicas e que possui alto índice de poluição atmosférica (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013).

Diante desses fatos e com a crescente preocupação internacional com questões ambientais foram criados os primeiros órgãos do governo, a fim de cuidar das questões do meio ambiente. Em 1981, com a publicação da Lei nº 6.938/1981 foi instituído o SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), órgão máximo do governo (ver Figura 3).

Figura 3 – Estrutura do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama)



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)

Com o aumento da preocupação com a preservação dos recursos naturais e com a saúde da população que está relacionada com a forma em que são conduzidos e tratados os resíduos sólidos, foram criadas políticas públicas para tratar destes assuntos que a cada dia são mais demandados pela sociedade brasileira (PNRS, 2012).

Pensando nessas demandas da sociedade, foi criada em dezembro de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (ver Figura 4), objetivando uma abordagem sobre as diretrizes e ações a serem adotadas para auxiliar a população no que diz respeito a gestão dos resíduos sólidos. Foi estabelecido um marco regulatório na área de gestão ambiental, o que também auxiliou como instrumento para alavancar o desenvolvimento social, econômico e ambiental na sociedade brasileira (PNRS, 2012).

Figura 4 – Articulações da PNRS



Fonte: ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013, p. 235.

A PNRS tem como objetivos a não geração, a redução, a reutilização e o tratamento de todos os resíduos sólidos oriundos da utilização doméstica, das indústrias, da agropecuária, dentro outros, além de destinar de forma ambientalmente correta os seus rejeitos. Esta política objetiva também a redução no consumo dos recursos naturais nos processos produtivos, a divulgação e implantação da educação ambiental nas empresas, escolas e na sociedade, promoção da inclusão social, geração de emprego e renda dos catadores de materiais reciclados e, por fim, o aumento na reciclagem no país (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013).

Com essa política todas as empresas geradoras de resíduos devem ter um plano de tratamento e destinação ambientalmente correta dos resíduos sólidos provenientes das suas atividades produtivas. Aliada a essa nova diretriz, a logística reversa é um instrumento essencial para dar responsabilidade a toda cadeia compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e responsáveis pelos serviços públicos de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos.

Adissi, Pinheiro e Cardoso (2013, p. 236) citam quais os requisitos para se utilizar o sistema de logística reversa: “A definição do Sistema de Logística Reversa (SLR) considera a viabilidade técnica e econômica e o potencial de impacto danoso à saúde pública e ao meio ambiente”. A partir destas definições e instrumentos, a PNRS em seu artigo 33 detalhou seis tipos de produtos classificados e considerados como resíduos sólidos para fins de tratamento, utilização da logística reversa e destinação ambientalmente adequada, sendo eles:

- Agrotóxicos;
- Pilas e baterias;
- Pneus;
- Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, de mercúrio e luz mista;
- Produtos eletrônicos e seus componentes;
- Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens.

2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO USO DE LUBRIFICANTES

O óleo lubrificante usado ou contaminado causa danos à saúde da população que têm contato direto com os resíduos; quando descartado no meio ambiente causa

grandes prejuízos a fauna, flora e as pessoas afetadas por ele em decorrência da geração de compostos perigosos (tais como: dioxinas, ácidos orgânicos, cetonas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), principalmente se este resíduo vier acompanhado de outros poluentes (LWART, 2016).

As primeiras leis específicas brasileiras sobre o óleo lubrificante usado, não eram tão restritivas quanto ao seu destino final. A legislação ambiental atual, possibilita a reutilização do OLUC como combustível, porém menciona a preferência de utilizar a reciclagem através do rerrefino (TÁVORA, 2003, p.45).

A disposição do OLUC nos córregos e rios forma uma película na superfície, bloqueando assim a entrada da luz solar e, conseqüentemente, a reposição de oxigênio para os animais aquáticos. As toxinas que vão se acumulando na superfície podem atingir a população que utiliza estes meios para a obtenção de comida, pois ao ingerir o alimento contaminado pelo resíduo de óleo este provoca o comprometimento das funções dos órgãos do corpo humano, podendo causar a morte do indivíduo (FALCÃO, 2012).

A APROMAC (2016), Associação de Proteção ao Meio Ambiente de Cianorte, cita algumas desvantagens do OLUC em relação a sua disposição irregular no meio ambiente:

1. O óleo lubrificante não é biodegradável, por isso leva dezenas de anos para desaparecer do meio ambiente;
2. Quando vaza ou é jogado no solo torna-o inutilizável para qualquer fim, como: agricultura, edificação, destruição dos húmus, micro organismo, e causa a infertilidade do solo;
3. Um litro de óleo derramado na água pode atingir 1000 m² de superfície aquosa;
4. Jogado no esgoto, o óleo lubrificante compromete a rede de funcionamento das estações de tratamento dos esgotos, causando interrupção deste sistema;
5. Quando queimado, o OLUC causa forte concentração de poluentes na atmosfera em um raio de dois quilômetros;
6. Ainda quando queimado, o OLUC gera grande quantidade de particulado (fuligem), produzindo precipitações de partículas que podem grudar na pele humana e penetrar o sistema respiratório das pessoas.

Tais desvantagens revelam o quanto o resíduo do lubrificante é perigoso para o meio ambiente. A composição destes óleos contém diversos tipos de aditivos tóxicos, por exemplo, cromo, cádmio, chumbo e arsênio. Estes elementos químicos em altas concentrações são bastante prejudiciais à saúde humana e ambiental (FALCÃO, 2012).

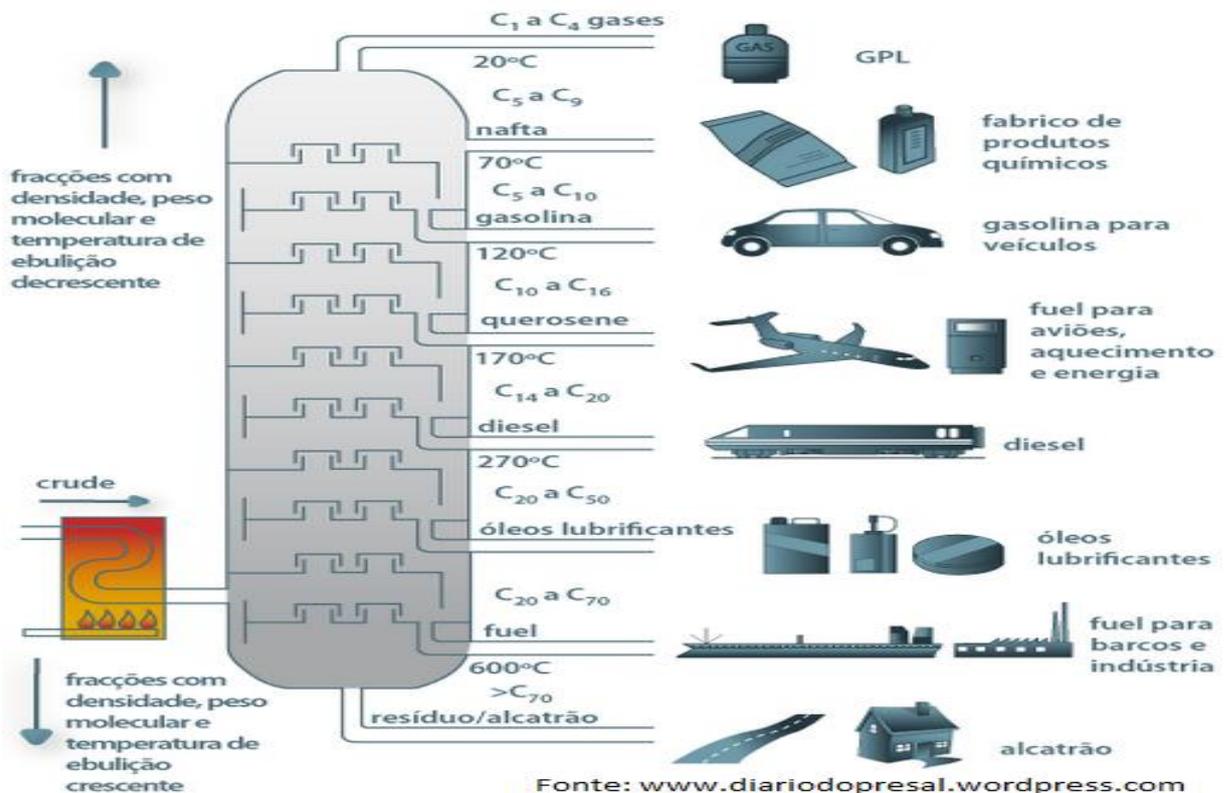
Por esses motivos, os órgãos ambientais (CONAMA e MMA) e reguladores da indústria do petróleo, combustíveis e derivados (ANP e MME) decidiram que o melhor destino para esse resíduo perigoso é a coleta e o envio obrigatório a um rerrefinador, que retirará os contaminantes do óleo lubrificante usado ou contaminado e recuperará a máxima quantidade possível de óleo lubrificante básico (APROMAC, 2016).

2.5 PRODUÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE NO BRASIL

Os óleos lubrificantes acabados são produzidos misturando-se óleos básicos com alguns aditivos. Este óleo básico pode ter duas origens, a primeira através do refino do petróleo e a segunda com a obtenção sintética. Os aditivos adicionados ao óleo base fornecem algumas características específicas para que este tenha aplicação diversa na indústria de base e automobilística. Os óleos industriais normalmente possuem menos aditivos que os óleos automotivos, devido a variedade de sistema e componentes que um automóvel possui (TÁVORA, 2003, p.34).

Normalmente se utilizam os óleos lubrificantes para a redução de atrito e resfriamento de sistemas, aumentando assim a vida útil dos equipamentos e componentes. A base utilizada nestes lubrificantes são os óleos minerais oriundos do processo de refino do petróleo, que ao ser destilado produz para cada temperatura um tipo diferente de produto (Figura 5).

Figura 5 – Produção dos derivados de petróleo



2

Fonte: Diário do Pé Sal

Quanto maior a temperatura no processo de refino, maior a densidade dos produtos devido ao aumento na cadeia molecular de carbonos. Isso aumenta a viscosidade dos derivados de petróleo. Portanto, os lubrificantes utilizados nas indústrias e automóveis possuem cadeia carbônica variando entre 20 a 50 carbonos, o que determina a sua viscosidade e outras características.

No Brasil, o órgão responsável por controlar e regulamentar o setor de petróleo é a Agência Nacional de Petróleo (ANP), que abrange também os subprodutos deste setor. De todo petróleo que é refinado através dos processos de destilação, 5% é destinado para a produção do óleo lubrificante. Essa produção ocorre nas refinarias de Duque de Caxias (REDUC), no Rio de Janeiro, e Landulpho Alves (RLAM), na Bahia. Estas refinarias produzem o chamado óleo básico, o qual posteriormente é transportado para a indústria que realiza a mistura e envasamento

do óleo, dando a este as características necessárias para o seu uso com o adicionamento dos aditivos (LEITE, 2003, *apud* CASTRO, 2011).

Uma definição dos lubrificantes (website da Agência Nacional de Petróleo) é a seguinte:

Os lubrificantes são substâncias que se interpõem entre superfícies em movimento, formando uma camada metálica como se fosse uma película que evita ou minimiza o contato entre as superfícies e conseqüente desgaste e geração de calor. Cabe à ANP garantir que a qualidade dos lubrificantes esteja de acordo com as características e desempenho informados pelos produtores e importadores, protegendo o consumidor final contra eventuais fraudes e baixo desempenho (ANP, 2016).

A produção do óleo lubrificante, o derivado do óleo lubrificante básico, ocorre a partir de dois tipos de lubrificantes básicos existentes: o mineral e sintético. O mineral é obtido através do refino do petróleo e o sintético é produzido através de reações químicas e desenvolvido em laboratórios. A composição do óleo lubrificante é cerca de 80% a 90% do óleo básico e o restante é composto por aditivos (FALCÃO, 2012).

Por possuir uma aparência bem semelhante, os vários tipos de óleo podem gerar muita dúvida na identificação e diferenciação, até mesmo para alguns especialistas, dificultando dessa forma a sua reciclagem. Existem vários tipos de óleo (Tabela 1): óleo combustível, óleo diesel, óleo lubrificante acabado, óleo lubrificante básico e Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC) (FALCÃO, 2012).

Tabela 1 – Tipos de óleo

TIPOS DE ÓLEO	DESCRIÇÃO
Óleo Combustível	Obtido por meio do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados com óleos residuais de refinarias. A sua utilização é bastante diversa: combustível automotivo, combustível de indústria na geração de calor em fornos, caldeiras, secadoras e fontes térmicas.
Óleo Diesel	É derivado da destilação do petróleo bruto e usado como combustível nos motores à diesel. O consumo brasileiro se restringe basicamente ao setor de transporte, principalmente o rodoviário.
Óleo Lubrificante Acabado	Proveniente do óleo lubrificante básico, ao qual para torná-lo acabado é necessário acrescentar

	um pacote de aditivos a depender do processo de cada empresa produtora.
Óleo Lubrificante Básico	Principal matéria-prima para a fabricação de óleo lubrificante virgem. O óleo lubrificante básico pode ser de origem mineral ou sintético. Entre estes tipos de óleo considera-se o do tipo mineral derivado do petróleo bruto um dos mais utilizados para a produção do óleo lubrificante acabado. Existe apenas em pequena quantidade no petróleo e grande parte do que o país necessita para seu consumo tem que ser importado.
Óleo Lubrificante Virgem	Proveniente do óleo lubrificante básico seja do tipo mineral ou sintético.
Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC)	Corresponde ao óleo lubrificante virgem após o seu uso.

Fonte: FALCÃO, 2012, p. 36.

Após o processo de adição, os lubrificantes acabados passam a possuir 90% de óleos básicos e 10% de aditivos e são distribuídos na sua grande maioria em 70% para a indústria automobilística e 30% para o setor industrial em geral.

Dessa quantidade de lubrificantes que vai para o setor industrial, uma grande parcela é consumida pelas mineradoras do país. Na mineração os óleos lubrificantes são utilizados para o resfriamento, redução do atrito e do desgaste de componentes dos equipamentos móveis e das máquinas das usinas de beneficiamento de minério. A seguir algumas outras funções dos lubrificantes.

- Proteger os sistemas/componentes contra corrosão;
- Limpar/manter limpo engrenagens, componentes e sistemas;
- Vedar/selar componentes;
- Transmissão de energia (fluidos hidráulicos);
- Como meio isolante (isolador dielétrico).

Devido ao alto consumo de óleo, muitas empresas acabam gerando resíduos contaminados com lubrificantes, o que exige que estas tenham que criar medidas para minimizar ou eliminar os impactos causados pelos produtos.

Segundo Camargo (2003), a utilização dos lubrificantes pode gerar três tipos mais comuns de resíduos como as emulsões³, os resíduos oleosos e os óleos lubrificantes usados.

Algumas dessas medidas que tem crescido muito no Brasil são a filtração, regeneração e rerrefino do óleo, processos físicos e químicos que utilizam o lubrificante usado para recuperar as características iniciais de qualidade. Isso se evita o descarte ou venda do óleo usado, gerando um benefício ambiental e também reduz o custo com aquisição de óleo novo, já que este é substituído pelo óleo regenerado ou refinado.

Segundo a resolução do CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005, deverão ser recolhidos, coletados e terem uma destinação final adequada todos os óleos lubrificantes usados e/ou contaminados, de modo que não impacte negativamente o meio ambiente e que permita a recuperação e retorno às condições iniciais do óleo.

O óleo usado ou contaminado é encaminhado para o rerrefino onde é submetido a processos para a remoção dos contaminantes de produtos de degradação e de aditivos que o produto venha a conter, sendo que o produto final do processo possui as mesmas características básicas de um óleo mineral (CAMARGO, 2003, p. 26).

O aumento na produção de petróleo no Brasil acaba elevando a produção de lubrificantes minerais, já que esse contribui em aproximadamente 5% do total de petróleo produzido. Com o crescimento na demanda por esses produtos, cresce também o volume de OLUC gerado nos processos industriais e nos veículos automotores.

O crescimento na demanda por lubrificantes faz com que muitas empresas entrem no mercado de regeneração de óleo por ser um negócio rentável, já que os custos de reciclagem são menores do que os de produção de um óleo novo.

O que irá determinar qual o melhor óleo a ser utilizado em um equipamento, sistema ou veículo é a qualidade do lubrificante aplicado. Essa qualidade está relacionada às seguintes características (segundo a portaria da ANP nº 130, de 30 de julho de 1999): aparência do óleo, cor, viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fulgor, ponto de fluidez, índice de acidez total, cinza, resíduo de carbono Ramsbottom⁴, corrosividade ao cobre e deverá seguir as especificações da tabela 2.

³ Emulsões são misturas de dois líquidos imiscíveis, ou seja, que não se misturam.

⁴ Indica a tendência do óleo à formação de depósitos de carbono, quando submetido a altas temperaturas.

Tabela 2 – Especificações dos óleos lubrificantes básicos rerrefinados

CARACTERÍSTICA	SPINDLE RR	NEUTRO LEVE RR	NEUTRO MÉDIO RR	NEUTRO PESADO RR	MÉTODO
Aparência	Límpida	Límpida	Límpida	Límpida	Visual
Cor ASTM, máx.	2,0	3,0	4,0	4,5	ASTM D1500
Viscosidade Cinemática, cSt a 40°C	8 a 18	26 a 32	50 a 70	-	NBR 10441 ASTM D445
Viscosidade Cinemática, cSt a 100°C	-	-	-	9,6 a 12,9	NBR 10441 ASTM D445
Índice de Viscosidade, min.	-	95	95	95	NBR 14358 ASTM D2270
Ponto de Fulgor, °C, mín.	155	200	215	226	NBR 11341 ASTM D92
Ponto de Fluidez, °C, máx.	-3	-3	-3	-3	NBR 11349 ASTM D97
Índice de Acidez Total, mg KOH/g. máx.	0,05	0,05	0,05	0,05	NBR 14248 ASTM D974
Cinzas, % peso, máx.		0,02	0,02	0,02	NBR 9842 ASTM D482
Resíduo de Carbono Ramsbottom, % peso, máx.	0,2	0,3	0,3	0,3	NBR 4318 ASTM D189
Corrosividade ao cobre, 3h a 100°C, máx.	1	1	1	1	NBR 14359 ASTM D130

Fonte: Elaborado pelo autor.

As pressões dos órgãos ambientais estão impulsionando as indústrias a se responsabilizarem pela destinação dos seus resíduos e isso tem beneficiado as empresas que reciclam lubrificantes e reduzido a venda do óleo novo.

Segundo Guimarães (2006), para se comprovar a qualidade de um óleo basta aplicá-lo em um motor e avaliar sua performance em um determinado tempo. Porém, atualmente consegue-se realizar estes testes em laboratório, sem a necessidade de verificação do desempenho em campo.

Ainda, conforme Guimarães (2006), a partir de um determinado momento de uso de um lubrificante este deverá ser substituído devido ao fim da vida útil ou deterioração do mesmo. Dentre os fatores que influenciam nisso podemos citar a contaminação interna e externa do óleo e a degradação do mesmo através da decomposição dos aditivos, a oxidação do óleo com formação de ácidos, aldeídos e cetonas, partículas metálicas provenientes do desgaste, água, fuligem, poeira,

diluição por combustível e qualidade do combustível, dentre outros (Tabela 3). Porém, só uma parte do lubrificante é que se deteriora, a outra parte pode ser recuperada através de alguns processos físicos e químicos, como o exemplo da regeneração de óleo.

Tabela 3 – Tipos de contaminação

Tipos de Contaminação	Origens Típicas	Problemas Eventuais
Partículas Metálicas	Desgaste de Motor	Abrasão contínua, fadiga, falha do lubrificante
Óxidos Metálicos	Desgaste de Motor e Corrosão	Abrasão, fadiga e corrosão
Areia e pó	Fuga de gases de combustão	Abrasão e fadiga
Fuligem	Fuga de gases de combustão	Degradação do lubrificante, depósito falha de viscosidade
Combustível	Fuga de gases de combustão	Degradação do lubrificante, depósito falha de viscosidade
Água	Fuga de gases de combustão	Corrosão e degradação do lubrificante
Ácidos	Fuga de gases de combustão e falhas do lubrificante	Corrosão e degradação do lubrificante

Fonte: ASSIS, 2009, p.7.

Segundo Assis (2009), para haver manutenção (filtragem e regeneração) do lubrificante/óleo hidráulico deve-se monitorar sua qualidade através de análises laboratoriais. Quando os resultados dessas indicarem que os óleos excedem os limites de contaminação será necessário realizar ações corretivas de filtragem e/ou regeneração para retornar ao lubrificante as características físico-químicas necessárias para a utilização nos equipamentos de mineração. Essas ações conseguem reestabelecer completamente as características originais dos óleos.

2.6 PROCESSOS DE TRATAMENTO DO ÓLEO LUBRIFICANTE USADO

Tendo em vista que os dados deste trabalho foram obtidos pela empresa VALE e ANALUB, que realizaram as atividades de coleta, filtração, testes laboratoriais e a regeneração do óleo lubrificante dos equipamentos de transporte utilizados em Carajás, no Pará, esta seção detalha os processos utilizados para o tratamento do lubrificante em geral e os que foram utilizados na empresa analisada.

2.6.1 A reciclagem do óleo lubrificante

A reciclagem é uma técnica utilizada para minimizar a quantidade de resíduos descartados no meio através da reutilização de suas matérias-primas e transformação destas em materiais adequados a utilização, contribuindo desta forma para a conservação e redução dos impactos ambientais. Também pode ser utilizado a incineração ou compostagem de resíduos, de acordo com cada classe do resíduo que é gerado (COSTA; GONÇALVES; OLIVEIRA; PINTO, 2011, p.4).

O óleo lubrificante, após ser utilizado, resulta basicamente em três tipos de resíduos:

- Emulsões de Óleos Lubrificantes;
- Óleos Lubrificantes Minerais Usados;
- Resíduos Oleosos.

Segundo a legislação pertinente à reciclagem de óleo lubrificante, a coleta deste material usado ou contaminado é de inteira responsabilidade das empresas que produzem ou importam, e estas devem ter coletores cadastrados na Agência Nacional de Petróleo para realizar a coleta deste produto após o consumo.

Segundo os dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP) e Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM), de 2010 a 2015 houve um aumento de 18,5% no volume coletado de OLUC no Brasil.

Tal aumento está diretamente associado ao maior consumo de lubrificantes nos setores industriais e automobilísticos, que necessitam cada vez mais de óleo para auxiliar nas suas operações, aumentando-se a geração de resíduos (ver Figura 6).

Figura 6 – Volume de OLUC coletado no Brasil



5

Fonte: Relatório do SINDICOM

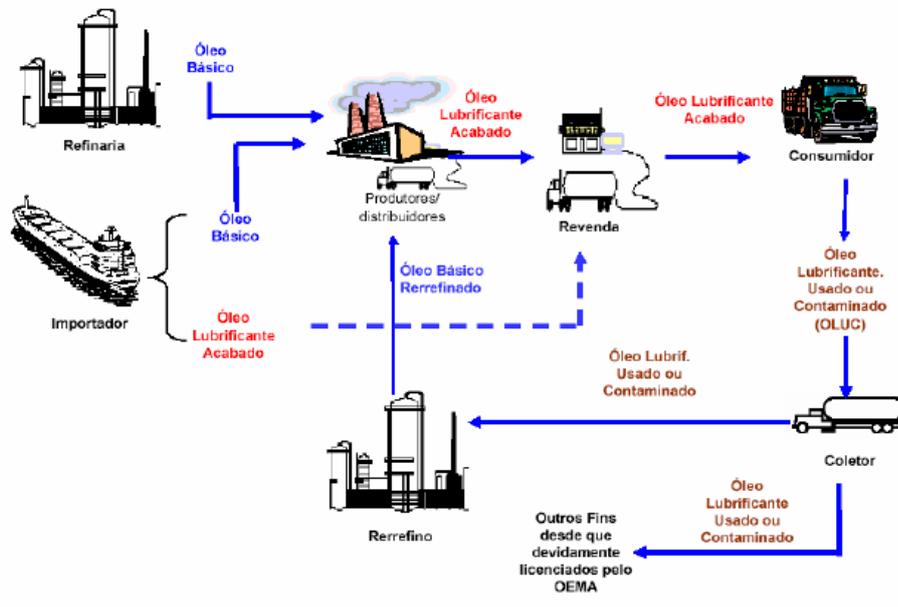
Apesar desses resultados, o mercado de reciclagem de óleo ainda é pequeno em relação à indústria de comercialização de lubrificante novo. Os dados do SINDIRREFINO mostram que em 2015 foram comercializados um total de 1.443.151.853 litros de lubrificantes e, desses, apenas 445.811.873 litros foram coletados, representando apenas 30,89% de OLUC em relação ao total (SINDIRREFINO, 2016).

O mercado de reciclagem de produtos que agridem o meio ambiente é um grande potencial de negócio para as empresas que fazem a coleta e realizam o processamento e venda dos mesmos. No exemplo do lubrificante, uma vez que aumenta o volume de OLUC e este é reciclado e distribuído para as indústrias produtoras/distribuidoras, estas revendem o produto acabado para o consumidor, gerando, desta forma, uma menor necessidade de importação de óleo básico de primeiro refino ou lubrificante acabado (MARTINATO, 2008).

O lubrificante usado percorre diversas fases antes de ser recolhido, desde a saída da refinaria até o consumidor e assim segue para a reciclagem (ver Figura 7).

⁵ Disponível em: <http://www.sindicom.com.br/index.asp>. Acesso em mar. 2016.

Figura 7 – Fluxo do manejo de óleo lubrificante



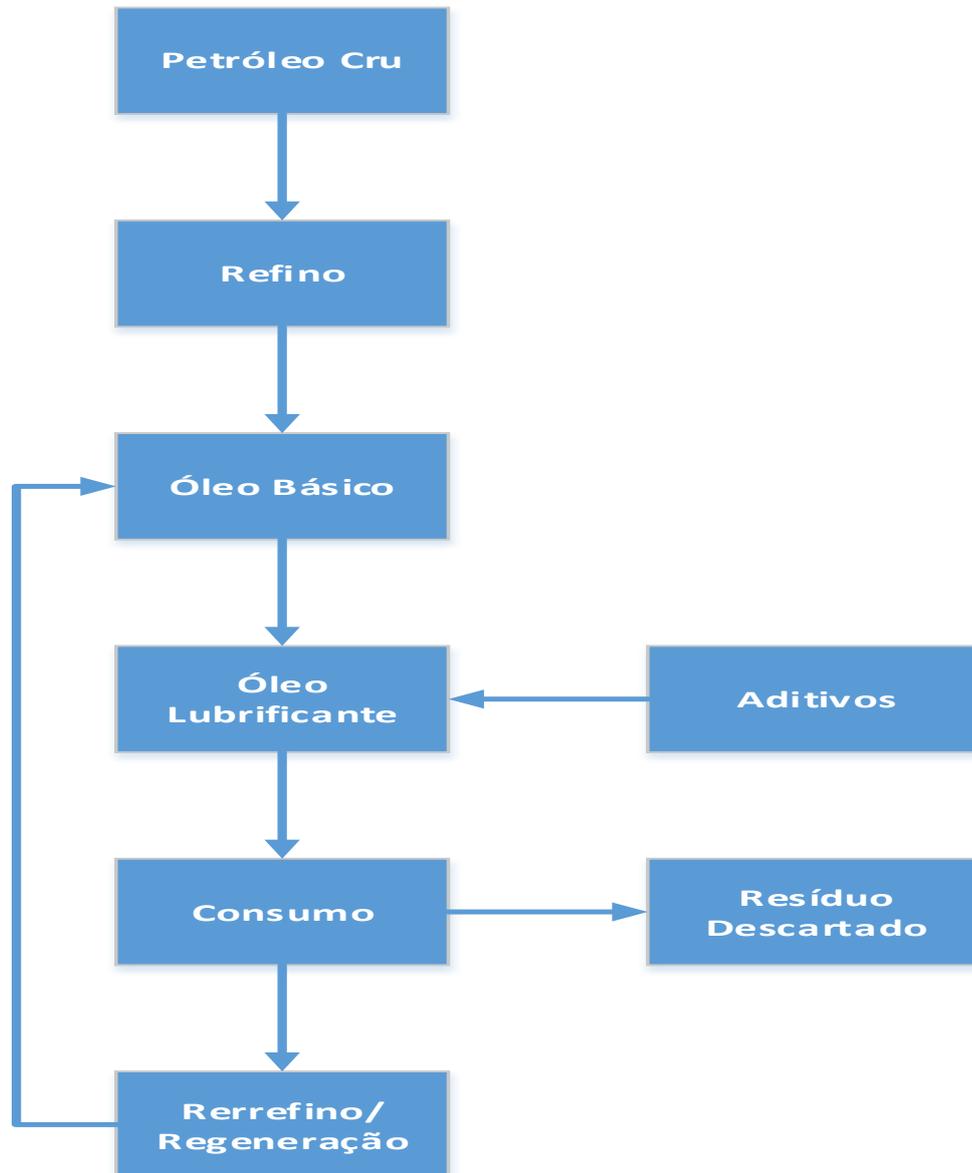
Fonte: MARTINATO, 2008, p.44.

2.6.2 Os processos de reciclagem

O processo de reciclagem de óleos lubrificantes tem representado uma boa alternativa para a preservação ambiental e vem sendo adotado por diversos países, inclusive o Brasil, obtendo resultados positivos. Porém, a experiência com esse processo tem mostrado que não são suficientes para garantir a existência, em termos sustentáveis, da reciclagem dos lubrificantes (sua coleta, reciclagem e comercialização). (processo de reciclagem do óleo lubrificante, ver Figura).

É preciso também uma atuação forte do poder público para desenvolver políticas públicas ambientais que incentivem e induzam as empresas brasileiras na mesma direção dos objetivos de preservação ambiental (TRISTÃO; JUNIOR; TRISTÃO, 2005).

Figura 8 – Fluxo do processo de reciclagem do óleo lubrificante



Fonte: Elaborado pelo autor.

A cada ciclo do lubrificante, parte dos aditivos e da base são consumidos e modificados e, além do seu próprio sacrifício em suas funções ainda existem os catalisadores que ajudam no processo de degradação/oxidação (calor, pressão, contaminação) (ANALUB, 2016).

Existem três processos para tratamento do óleo lubrificante (ANALUB, 2016), a saber:

➤ **Descontaminação:** Processo de remoção de partículas metálicas, que causam desgaste ao equipamento e agem como catalisadores na oxidação. Remoção

de água, que causa depleção dos aditivos através de lavagem, e da hidrólise que causa corrosão ao equipamento, gerando partículas com alto poder de oxidação.

➤ **Regeneração:** O processo remove todos os contaminantes, incluindo os produtos e subprodutos da oxidação e degradação, produtos que não podem ser removidos por sistemas convencionais de filtragem. O processo não faz a remoção dos aditivos ativos, apenas os que se transformaram em outras substâncias; em seguida o lubrificante passa por processo de correção físico-químico para que possa exercer novamente suas funções.

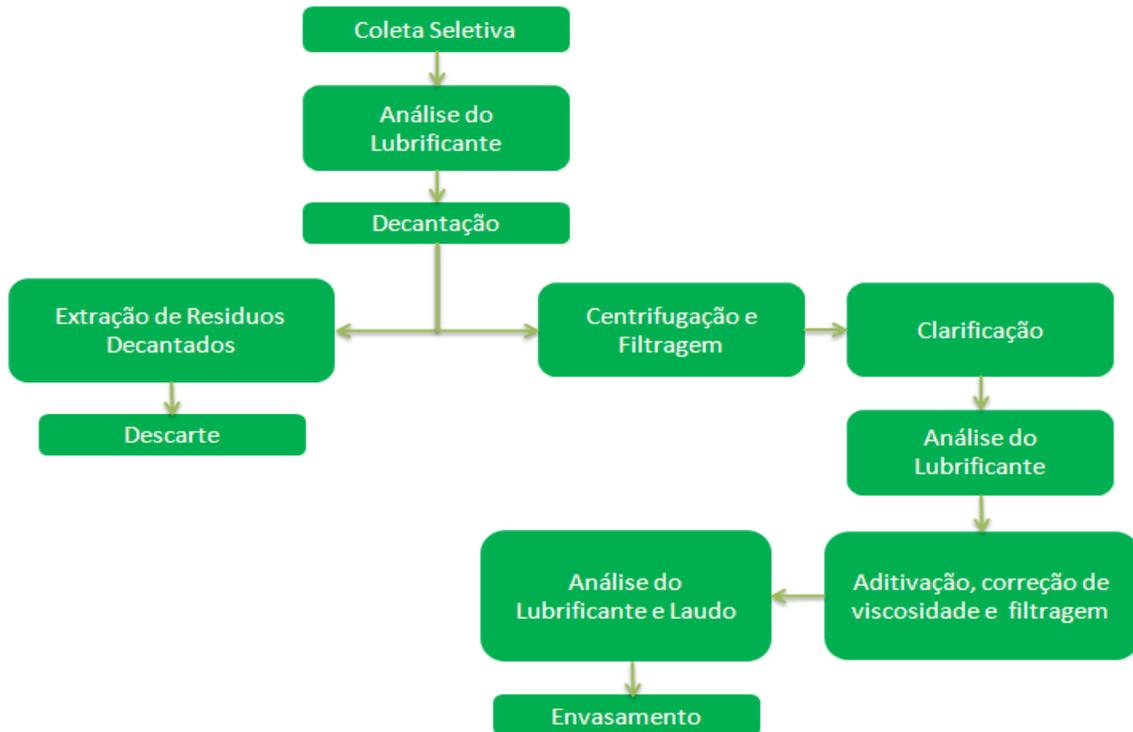
➤ **Rerrefino:** O processo pega todo óleo sem separação por classe (HL, HLP, HLPD, SAE, CLP) e através de um processo de sulfonação (ácido sulfúrico) e destilação faz com que o lubrificante volte a ser uma base neutra isenta de aditivos. Cerca de 50% da carga dos aditivos contidos nos lubrificantes que vão para o processo estão ativos.

2.6.3 Processo de regeneração

Para que o processo de regeneração seja eficaz é necessária a realização da coleta seletiva do óleo, fazendo com que não sejam misturados lubrificantes diferentes mesmo possuindo a mesma base, porque poderão conter formulações (pacotes de aditivos) diferentes.

A manutenção proativa em óleos é o nome dado a atividade de regeneração de óleos hidráulicos e lubrificantes, onde através de um processo de centrifugação, filtragem, clarificação e aditivação do óleo é possível restabelecer as condições de uso em aproximadamente 95% do volume que inicialmente seria descartado (ver Figura 9).

Figura 9 – Fluxo do processo de regeneração do lubrificante



Fonte: ANALUB, 2016, p.12.

O processo de regeneração é dividido em cinco etapas (ANALUB, 2016):

1) Pré Tratamento: Através de equipamentos que possibilitam a aceleração da gravidade em 6.000 gramas? Dentro do texto, escrever a unidade por extenso, possibilita a remoção de contaminantes sólidos e líquidos de maior densidade ao do lubrificante; em conjunto com sistema de aquecimento em sistema a vácuo é possível fazer a remoção de outros contaminantes líquidos. Esse processo elimina a geração de um novo resíduo, que é o caso de sistemas de filtragem, onde o elemento filtrante usado para remoção de contaminantes será um novo resíduo após a sua saturação (filtro prensa).

2) Tratamento com Argila: Com aquecimento e equipamentos apropriados permitem a reação com produtos derivados da oxidação e degradação pelo processo adsorção/absorção, incluindo os aditivos deteriorados. Os ZDDP⁶ são os mais comuns no lubrificante devido a sua multifuncionalidade, após sua deterioração, seja ela por hidrólise ou desgaste natural, sua formação são os sais de zinco e fosfato, que serão capturados pelo processo.

⁶ Zinc Dialky Dithio Phosphate (ZDDP) é um aditivo crítico para prevenir desgaste de superfícies deslizantes sujeitas a atrito.

3) Descontaminação: Uma combinação de equipamentos permite a remoção de todas as impurezas formadas pelo processo da etapa 2.

4) Filtragem Absoluta e Desidratação a Vácuo: Sistema de filtragem de alta eficiência permite deixar o fluido em um grau de contaminação menor ao de um lubrificante novo. O sistema ainda permite, quando necessário, um grau de contaminação muito abaixo do comum, o que significa vida estendida para ambos (maquina/óleo). O sistema de desidratação a vácuo permite uma nova remoção de água e gases com aquecimento inferior à de 60°C. Usa-se uma câmara a vácuo trabalhando com 26 polegadas de mercúrio (inHg), onde é possível a remoção da água em forma de gás devido a baixa pressão.

5) Aditivação e Correção: Após o lubrificante estar limpo e seco são iniciadas as correções e aprovação necessárias mediante análises. A adição de aditivos sem antes remover os que foram consumidos ou deteriorados pode causar danos ainda maiores ao lubrificante e ao equipamento.

Depois do óleo ser tratado será aditivado com o pacote de aditivos para a determinada aplicação.

Serão obtidos dois tipos de produtos finais:

1. Óleo básico regenerado, estimativa de 80% de aproveitamento;
2. Resíduo do processo (Lodo), 20% restantes.

Segue uma breve descrição desses dois tipos de produtos finais do processo de regeneração de óleo lubrificantes (ANALUB, 2016):

- Óleo Básico Regenerado: Consiste de óleo mineral isento de contaminantes, aditivos e elementos de desgaste. O óleo mineral será readitivado para a aplicação em sistemas hidráulicos e sua viscosidade ajustada, a fim de atender as especificações dos fabricantes dos equipamentos. Poderão ser utilizados dois pacotes de aditivos, um para o óleo 10W (óleo de inverno), contendo aditivos detergente, dispersante, antidesgaste e anticorrosão e outro para o óleo hidráulico antidesgaste (AW), contendo aditivo antidesgaste.

- Resíduo de Processo (Lodo): Consiste de material sólido, composto basicamente por carbono. Possui bom poder calorífico e pode ser utilizado em queimadores industriais.

Os óleos a serem regenerados serão avaliados quanto a sua acidez e presença de água antes de entrar no processo.

Óleos com acidez elevada indicam degradação dos componentes químicos presentes e podem causar danos aos equipamentos. Para óleos que contêm aditivação a base de cálcio e zinco, o limite máximo de acidez será de 7mg KOH/g de amostra. Óleos com aditivação a base de zinco e fósforo o limite máximo de acidez será de 2 mg KOH/g.

A presença de água no óleo encarece o processo de regeneração e prejudica o rendimento final. O limite máximo permitido é de 1%.

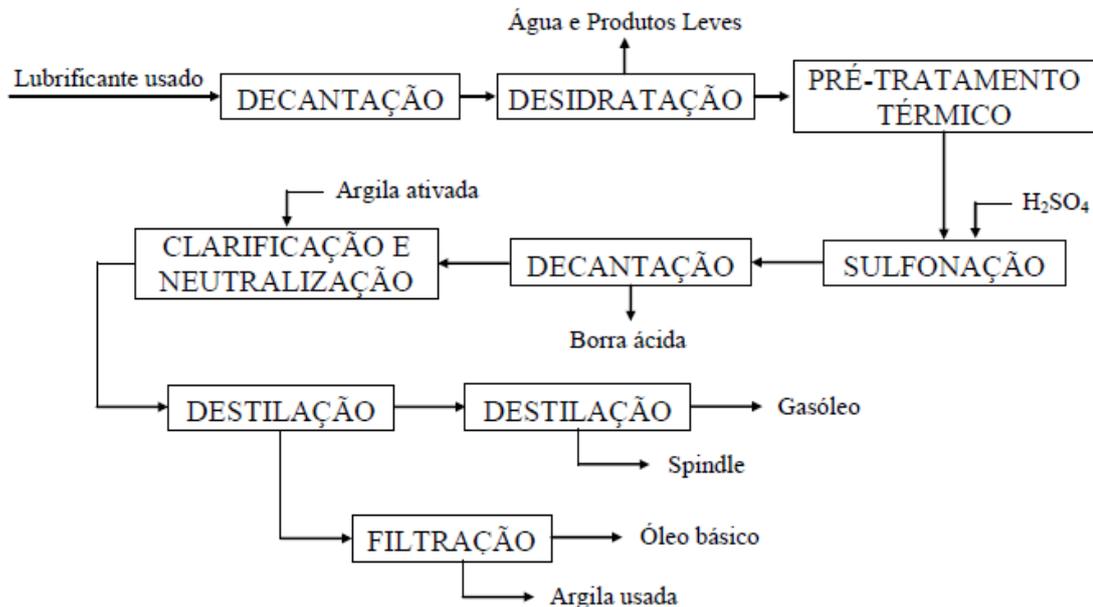
2.6.4 Processo de rerrefino

O rerrefino de OLUC é um processo industrial que transforma o óleo usado em óleo básico novamente e evita que este resíduo perigoso seja descartado no meio ambiente. Desta forma, o óleo rerrefinado segue o caminho da sustentabilidade, fechando o ciclo de vida do produto, que retorna ao mercado por meio de formuladoras de óleo lubrificante (LWART, 2016).

Com o rerrefino o país economiza divisas, garantindo a reposição do produto no mercado, poupando os recursos naturais e preservando o meio ambiente. Este processo é importante para sustentabilidade ambiental do país, pois devolve nobreza ao óleo mineral, que pode ser reutilizado várias vezes (LWART, 2016).

Um dos procedimentos de rerrefino mais utilizados é o processo ácido sulfúrico-argila. Segundo Guimarães (2006), este processo de rerrefino foi desenvolvido na Alemanha e compreende as seguintes etapas: decantação, desidratação, pré-tratamento térmico, tratamento ácido, decantação da borra ácida, neutralização, tratamento com argila ativada, destilação a vácuo e filtração (ver Figura 10).

Figura 10 – Fluxograma do processo ácido sulfúrico-argila



Fonte: GUIMARÃES, 2006, p.51.

A desvantagem de utilizar o processo acima é o alto custo de produção devido ao alto consumo de ácido sulfúrico e de argila ativada, gerando-se assim uma maior quantidade de borra ácida (poluente de difícil eliminação) e baixo rendimento (cerca de 60%). Como vantagem, podem ser citados o tratamento de pequenas quantidades de óleo utilizado e investimentos iniciais menores com as instalações.

Se descartado incorretamente, o óleo lubrificante usado torna-se um grande poluidor ambiental para:

- **ÁGUA:** apenas um litro de óleo lubrificante usado pode contaminar mais de um milhão de litros de água, quantia que uma pessoa leva 14 anos para consumir.
- **SOLO:** o óleo lubrificante usado descartado no solo pode contaminar os mananciais de água, recurso natural tão importante para a sobrevivência humana.
- **AR:** a queima indiscriminada do óleo lubrificante usado gera gases tóxicos e pode provocar doenças graves e agravar o efeito estufa.

2.7 DEFINIÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DOS LUBRIFICANTES

O lubrificante é considerado um importante produto, cuja função principal é a de reduzir o atrito e o desgaste entre partes móveis de um equipamento. É utilizado

em diversos processos, tais como motores automotivos, processos industriais, caldeiras, fontes térmicas, lubrificação de motores de automóveis, tratores, máquinas agrícolas, dentre outros (FALCÃO, 2012).

Após um certo tempo de utilização, o lubrificante perde alguns dos seus componentes importantes, os quais sofrem deterioração de suas propriedades originais. Assim, é necessário ser substituído para que continue a exercer a função para a qual foi proposto no processo e garantir o bom funcionamento dos equipamentos e componentes (FALCÃO, 2012).

Para manter os lubrificantes dentro dos parâmetros aceitáveis é necessário conhecer cada uma das suas características (Guimarães, 2006, p. 18-23), a seguir:

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

➤ **Índice de Viscosidade:** a sensibilidade da viscosidade à temperatura é importante nos óleos lubrificantes. Geralmente é desejável uma pequena alteração de viscosidade com a temperatura. O método mais utilizado para avaliar a relação entre viscosidade e temperatura é a computação do Índice de Viscosidade (IV).

➤ **Ponto de Fulgor:** dá a indicação da possível presença de compostos voláteis e inflamáveis no óleo. É definido como a menor temperatura, sob determinadas condições de teste, na qual o produto se vaporiza em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura capaz de inflamar-se momentaneamente quando se aplica uma chama piloto sobre a mesma. O resultado é expresso em graus centígrados.

➤ **Ponto de Fluidez:** é a menor temperatura na qual o óleo lubrificante flui quando sujeito a resfriamento sob condições determinadas de teste. É principalmente controlado para avaliar o desempenho nas condições de uso em que o óleo é submetido a baixas temperaturas ou em climas frios. O resultado também é expresso em graus centígrados.

➤ **Índice de Acidez Total:** é uma medida da quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo e indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos resultantes do tratamento do óleo. O resultado é expresso em nome (mg KOH/g).

- **Número de Alcalinidade Total (TBN):** mede a reserva alcalina dos óleos de motor. O resultado é expresso em nome (mg KOH/g).
- **Cinzas:** a quantidade de cinzas presentes no óleo pode ser resultante da presença de compostos metálicos no óleo ou solúveis em água, bem como de outros materiais, tais como poeira e ferrugem. O ideal é que a razão entre cinzas e óleo seja inferior a 2%.
- **Resíduo de Carbono:** indica a tendência do óleo à formação de depósitos de carbono, quando submetido a altas temperaturas. O ideal é que a razão entre depósitos de carbono e óleo seja inferior a 2%.
- **Corrosividade ao Cobre:** dá uma indicação relativa do grau de corrosividade do óleo. O teste é realizado colocando-se uma lâmina de cobre polida em uma amostra de óleo a 100°C, durante 3 horas. O resultado é dado em função da coloração da lâmina de cobre, expresso em um número seguido de uma letra. Exemplo: o resultado do teste de corrosão de 1b significa ausência de corrosão. Existe uma tabela de cores fornecida pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM).
- **Cor:** é mais utilizada como um controle na produção do óleo lubrificante. As variações de cor em um óleo lubrificante podem indicar uma possível contaminação ou indícios de oxidação. Por exemplo, quanto mais escura a cor maior o risco de o óleo ser contaminado.
- **Estabilidade a Oxidação:** indica a capacidade de resistência à oxidação do óleo quando submetido a longos períodos de estocagem ou sob condições dinâmicas de uso. O resultado é expresso pelo Índice de Acidez Total (mg KOH/g).
- **Emulsão:** é um indicativo da capacidade de separação da água do óleo, quando submetido à contaminação por água. O resultado é expresso em nome (mL) de óleo emulsionado, cujo valor ideal deve ser inferior a 0,84 da relação de água em óleo.
- **Perda por Evaporação (Noack):** avalia as perdas dos hidrocarbonetos mais leves do óleo, quando submetidos por uma hora a 250°C e pressão de 1,5 mm de nome (Hg). A porcentagem ideal de perda por evaporação deve ser inferior a 5%.

2.8 CLASSIFICAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES

Em função das características apresentadas anteriormente e devido a necessidade de padronização que permita que vários fabricantes ofereçam produtos de mesmo tipo e torne a comparação mais fácil dos tipos de lubrificantes acabados é que foi possível sua classificação.

Dentre as várias classificações existentes, os óleos lubrificantes utilizados no setor automobilístico do Brasil são identificados segundo dois sistemas bastante utilizados internacionalmente (LWART, 2016):

a) Classificação SAE: Criada pela Sociedade dos Engenheiros Automotivos dos Estados Unidos (*Society of Automotive Engineers*), classifica os óleos lubrificantes pela sua viscosidade por meio da atribuição de um número que, quanto maior, indicará um lubrificante mais viscoso. Nesse sistema os lubrificantes são divididos em três categorias: altas temperaturas (“verão”), baixas temperaturas (“inverno”) e multiviscosos (“ano todo”);

Pelo sistema os lubrificantes são classificados através dos indicadores de 0W a 25W nome, para viscosidade em baixas temperaturas, indicadores de 20 a 60, para viscosidade em altas temperaturas e com códigos duplos compatíveis com os anteriores (por exemplo SAE 20W-40, 20W-50, 15W-50), no caso de lubrificantes multiviscosos (LWART, 2016).

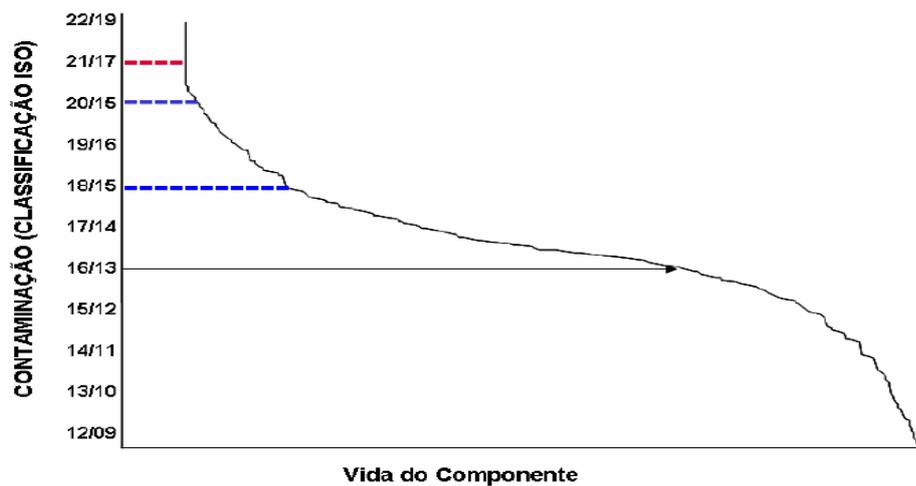
b) Classificação API: Criada pelo Instituto Americano do Petróleo (*American Petroleum Institute*), diferencia os óleos pela aplicação e desempenho através de duas letras. A primeira, que pode ser “C” (*Compression Ignition* ou *Commercial*) ou “S” (*Spark Ignition* ou *Service*) identifica respectivamente a aplicação em motores de ciclo Diesel ou ciclo Otto (gasolina, álcool, GNV). A segunda letra segue a sequência alfabética e indica o nível de desempenho do lubrificante; quanto mais próxima do “Z” for, maior desempenho terá o óleo (LWART, 2016).

A regeneração do lubrificante é associada ao seu monitoramento, ou seja, a sua análise. Quando os resultados das análises dos óleos excedem os limites estabelecidos ou as periodicidades de manutenção dos fluidos atingem seus limites, as ações corretivas de filtragem ou regeneração para restabelecimento das características físico-químicas precisam ser tomadas. Na regeneração podem ser

restabelecidas completamente as características originais dos óleos hidráulicos e lubrificantes.

A contaminação compromete as condições operacionais dos equipamentos de mineração, pois aceleram o desgaste e a deterioração dos componentes e subconjuntos (Figura 11).

Figura 11 – Contaminação *versus* vida do componente



Fonte: ASSIS, 2009, p.8.

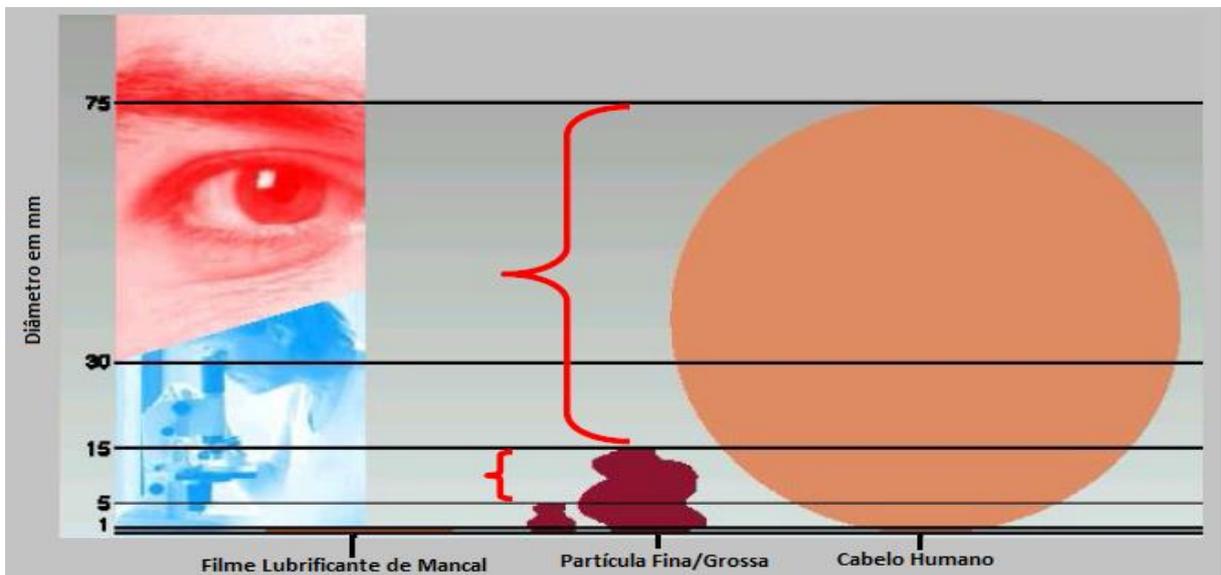
Segundo Assis (2009), a contagem de partículas, utilizando a classificação ISO segue da seguinte forma:

1. O numerador de fração representa o número de partículas iguais ou maiores do que 5 microns;
2. O denominador da fração representa o número de partículas iguais ou maiores do que 15 microns.

Essa definição dos valores de 5 e 15 microns ocorre porque as partículas de tamanho neste intervalo podem causar entupimento e obstrução do fluxo de lubrificante. Há a necessidade de se detectar para evitar falhas e paradas desnecessárias do ativo. Já para partículas de tamanho maior do que 15 microns há presença de desgaste rápido e falha potencial, sendo necessária sua detecção imediata para evitar falhas no equipamento.

A Figura 12 mostra as partículas prejudiciais aos sistemas de lubrificação de acordo com o tamanho de micra.

Figura 12 – Partículas prejudiciais aos sistemas de lubrificação e hidráulicos passíveis de detecção



Fonte: ASSIS, 2009, p.9.

Figura 13 – Código ISO e respectivas quantidades de partículas em 1 mL de fluido

Número de partículas em 1 ml

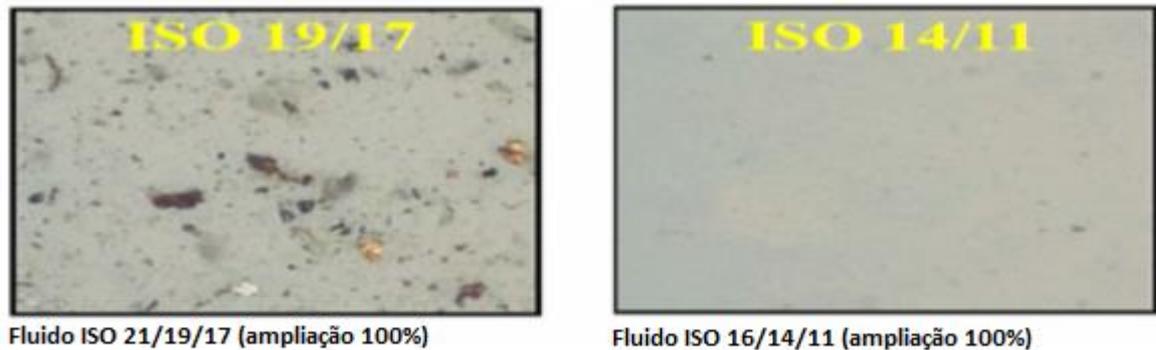
<u>CÓDIGO ISO</u>		<u>FAIXA</u>
24	-----Muito Contaminado -----	80.000 – 160.000
23		40.000 – 80.000
22		20.000 – 40.000
21		10.000 – 20.000
20		5.000 – 10.000
19		2.500 – 5.000
18	----- Limpo (Sist. Hidr.) -----	1.300 – 2.500
17	(18/15)	640 – 1.300
16	----- Muito Limpo (Óleo novo) -----	320 – 640
15	(16/13)	160 – 320
14		80 – 160
13		40 – 80
12		20 – 40
11		10 – 20
10		5 – 10

Fonte: ASSIS, 2009, p.10.

Os valores apresentados no numerador e denominador da classificação ISO correspondem a um respectivo número de partículas contidas em 1 mililitro (mL) de fluido (Figura 13). Nesta figura, por exemplo, imaginemos uma análise na qual encontramos o óleo na condição ISO 18/15. Sabemos que existe em 1 mL desse óleo 1300 a 2500 partículas maiores que 5 microns e menores que 15 microns e existem 160 a 320 partículas maiores que 15 microns.

A Figura 14 apresenta um exemplo de uma amostra de óleo hidráulico analisado microscopicamente. Pode-se perceber a diferença entre um mesmo óleo com classificações ISO 19/17 e ISO 14/11.

Figura 14 – Comparativo entre óleos hidráulicos com classificações ISO diferentes



Fonte: ASSIS, 2009, p.10.

2.9 ADITIVOS

Os aditivos são substâncias empregadas para melhorar ou conferir determinadas características aos óleos lubrificantes básicos para que estes desempenhem de forma melhor uma finalidade específica (LWART, 2016).

Visando o atendimento à condições específicas cada vez mais severas, é necessário o uso de diversos tipos de aditivos para melhorar o desempenho dos lubrificantes e estes terem um melhor índice de viscosidade, redução no ponto de fluidez, agir como detergente dispersante, antidesgaste, antiespumante e aumentar a resistência à oxidação. Os principais tipos de aditivos utilizados na aditivação de lubrificantes são: antioxidantes, detergentes, dispersantes, anticorrosivo, antiespumante, rebaixadores de ponto de fluidez e melhoradores de índice de viscosidade (copolímeros de olefinas (OCPs) e polialquilmecrilatos (PMAs), por exemplo).

A tabela 4 apresenta os tipos de aditivos normalmente misturados ao óleo lubrificante básico para formar um óleo lubrificante acabado.

Tabela 4 – Funções dos aditivos

Tipo de Aditivo	Função	Substâncias Usadas
Antioxidantes	Retardar a oxidação dos óleos lubrificantes, que tendem a sofrer esse tipo de deterioração quando em contato com o ar, mesmo dentro do motor.	Ditiofosfatos, fenóis, aminas.
Detergentes/Dispersantes	Impedir a formação de depósitos de produtos de combustão e oxidação, mantendo-os em suspensão no próprio óleo e permitindo que sejam retirados pelos filtros ou na troca do lubrificante.	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Neutralizar os ácidos que se formam durante a oxidação e que provocam a corrosão de superfícies metálicas.	Ditiofosfatos de zinco e bário, sulfonatos
Antiespumantes	Minimizar a formação de espumas que tendem a se formar devido a agitação dos óleos lubrificantes e prejudicam a eficiência do produto.	Siliconas, polímeros sintéticos
Rebaixadores de ponto de fluidez	Impedir que os óleos “engrossem” ou congelem, mantendo sua fluidez sob baixas temperaturas.	-
Melhoradores de índice de viscosidade	Reduzir a tendência de variação da viscosidade com a variação de temperatura.	-

Fonte: LWART, 2016.⁷

2.10 INDICADORES DE PERFORMANCE

Para medir o desempenho dos equipamentos após a implantação da regeneração de óleo lubrificante é necessário conhecer alguns itens que medem a performance das máquinas de transporte e produção da mina de ferro de Carajás.

⁷ Disponível em: < http://www.lwart.com.br/site/content/lubrificantes/coleta_coleta_oluc.asp>. Acesso em mar. 2016.

Este capítulo apresenta os principais índices, seus conceitos e fórmulas de cálculo para a obtenção dos resultados de desempenho apresentados neste trabalho.

Além do conhecimento das situações atual e futura da empresa, é indispensável ter um conjunto de indicadores que possam medir se os resultados desta empresa estão compatíveis com as metas propostas (PINTO, 2002).

Os indicadores de manutenção são desenvolvidos e utilizados pelos gerentes e supervisores, visando atingir metas operacionais definidas pela empresa. Estes devem indicar onde e quais melhoramentos podem ser conduzidos de modo a otimizar os processos. Estes indicadores servem como guias que permitem medir a eficácia das ações tomadas e os desvios entre o programado e o realizado (PINTO, 2002). Ver tabela 5.

Tabela 5 – Principais índices de desempenho da manutenção

Tipo	Grau de Importância
Custos (%)	1º
Disponibilidade Física(%)	2º
MTBF (%)	3º
MTTR (%)	4º
Backlog (%)	5º
Frequência de Falhas (%)	6º
Satisfação dos Clientes (%)	7º
Retrabalho (%)	8º

Fonte: NUNES, 2011, p.29.

É importante fazer o controle dos indicadores, uma vez que eles dão uma visão geral da situação da empresa. O custo aparece em destaque, já que é o principal indicador que mede quanto será gasto com mão-de-obra, com o tempo de execução das atividades, horas de uso do equipamento, manutenções, aquisição de peças sobressalentes e insumos.

A seguir apresentamos os conceitos e fórmulas dos principais indicadores de manutenção para medir o desempenho dos equipamentos.

2.10.1 Disponibilidade física

Segundo Viana (2002, *apud* NETO, 2006), a disponibilidade física (DF) pode ser definida como sendo a probabilidade de o equipamento estar apto a produzir no mesmo momento em que é solicitado, ou seja, é o tempo que o equipamento está disponível para a operação, mesmo que este não esteja operando. O importante, neste caso, é que o equipamento não tenha nenhuma intervenção da manutenção. O cálculo de DF é feito através da Equação 1.

$$DF = \frac{\text{Tempo Total de Operação}}{\text{Tempo Total de Operação} \times \text{Tempo Total de Paralisações}(MP e MC)} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

2.10.2 Disponibilidade intrínseca

A disponibilidade intrínseca (DI) é responsável por representar o desempenho do equipamento e/ou processo, considerando as manutenções corretivas em relação ao tempo de operação. A DI é calculada através da Equação 2 (PINTO, 2002).

$$DI = \frac{MTBF \times 100}{MTBF + MTTR} \quad (\text{Equação 2})$$

2.10.3 MTBF

A sigla MTBF deriva do inglês *Mean Time Between Failures* e determina o tempo médio que o equipamento fica operando entre o número de avarias ocorridas. O tempo é medido de acordo com as horas que o equipamento deverá operar e não por horas calendário (VIANA, 2002, *apud* NETO, 2006). O MTBF é calculado através da Equação 3.

$$MTBF = \frac{\sum \text{HORAS TOTAIS TRABALHADAS}}{\sum (\text{N}^\circ \text{ DE INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO CORRETIVAS})} \quad (\text{Equação 3})$$

2.10.4 MTTR

A expressão MTTR deriva do inglês *Mean Time to Repair* e determina o tempo médio dos reparos efetuados em um equipamento em relação ao número total de reparos efetuados neste. Através deste indicador pode-se avaliar se as quebras dos equipamentos são de um grau de complexidade alto ou baixo; verifica-se a qualidade da mão de obra de execução (através do tempo necessário para realizar a manutenção que é pré-definido na ordem de serviço) (VIANA, 2002, *apud* NETO, 2006). O MTTR é calculado através da Equação 4.

$$MTTR = \frac{\sum \text{HORAS TOTAIS MANUTENÇÃO CORRETIVA}}{\sum (\text{N}^\circ \text{ DE INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO CORRETIVAS})} \quad (\text{Equação 4})$$

2.10.5 Backlog

O *backlog* é o tempo que uma equipe de manutenção deve trabalhar para concluir todos os serviços pendentes em carteira, com toda a força de trabalho, sem que seja adicionado nenhum outro serviço extra a esta equipe durante a execução dos serviços até então registrados e pendentes em posse da equipe de PCM (BRANCO FILHO, 2006).

Há uma relação muito grande do indicador com a demanda de serviço e a capacidade que a equipe de manutenção tem de executar essas Ordens de Serviços (OSs). Segundo Viana (2002), é recomendado que sejam utilizados apenas 80% do tempo disponível para efeito de cálculo do indicador (Equação 5).

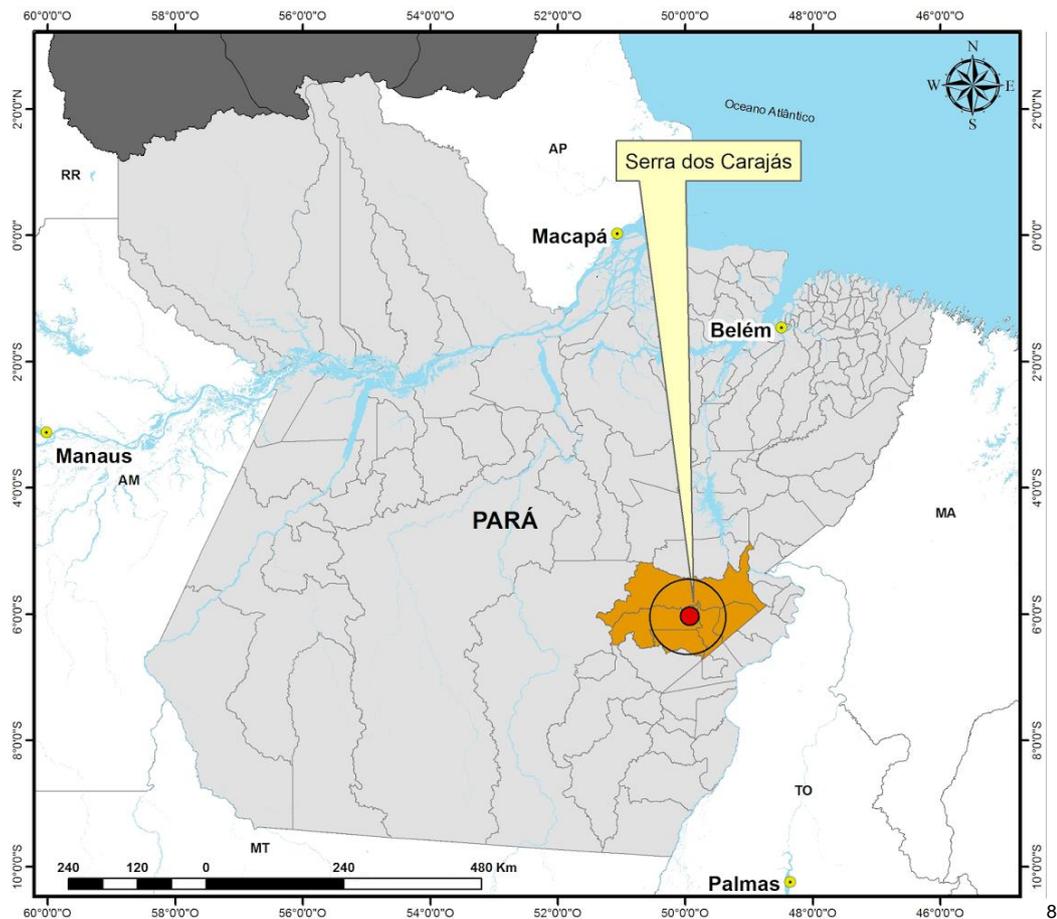
$$\text{BACKLOG} = \frac{\sum \text{HORAS PLANEJADAS}}{\sum (\text{FATOR DE PRODUTIVIDADE} \times \text{HORAS DISPONÍVEIS} / \text{DIA})} \quad (\text{Equação 5})$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na mina de ferro de Carajás, localizada no sudeste do estado do Pará (Figura 15).

Figura 15 – Área de estudo no sudeste do estado do Pará



Fonte: Luiz Henrique Almeida Gusmão, 2015.

A área da mina de Carajás analisada por este trabalho foi a oficina de manutenção de equipamentos de grande porte (Figura 16).

⁸ Disponível em: < <http://geocartografiadigital.blogspot.com.br/2015/08/mineracao-na-serra-dos-carajaspa-usando.html>>. Acesso em mar. 2016.

Figura 16 – Oficina de equipamentos de grande porte



Fonte: Repositório Digital da Vale, 2014.

Esta área de estudo foi escolhida por ser a maior consumidora de óleo lubrificante de Carajás contribuindo em 47% na geração de resíduos contaminados. Toda a manutenção gera em média 203 toneladas de óleo por mês; a área de caminhões mecânicos gera em média 96 toneladas de óleo por mês.

Estes lubrificantes são usados na manutenção dos equipamentos de transporte, alimentando os sistemas hidráulicos, de lubrificação e motor, exercendo a função de resfriar e lubrificar os componentes dos caminhões Catterpillar 793 D/C (Figura 17).

Figura 17 – Caminhão mecânico catterpillar 793 D/C



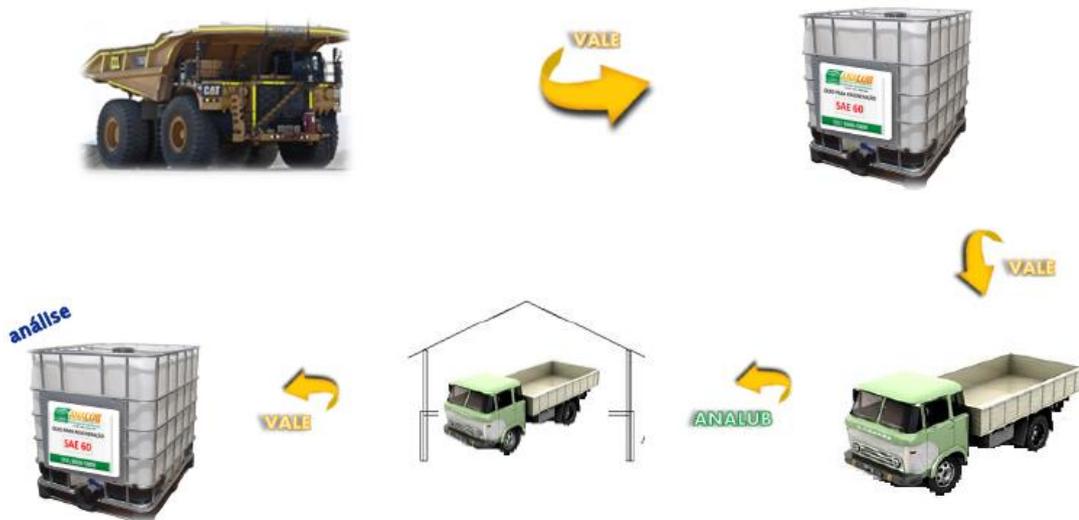
Fonte: Repositório Digital da Vale, 2014.

Atualmente a frota de caminhões mecânicos é composta por 79 equipamentos. São responsáveis pela movimentação de minério de ferro e estéril na mina; à medida que aumenta a produção, a quantidade de óleo descartado aumenta devido a um aumento no consumo de lubrificante que é substituído à medida que o equipamento opera.

Todos materiais que são descartados em Carajás, são encaminhados para a Central de Materiais Descartados (CMD). Esta área foi selecionada para receber a instalação da planta de regeneração, já que ela possui espaço adequado para o projeto e a logística de transporte do óleo descartado seguirá o mesmo fluxo utilizado anteriormente, sendo que após a implantação do projeto parte do óleo continuará sendo vendido para regeneração externa e a outra parte será regenerada neste local.

A seguir será mostrado o fluxo logístico de regeneração desde o recolhimento do óleo no equipamento, armazenamento em container bombona identificada como óleo usado, carregamento do carminhão, transporte deste até o CMD, descarregamento dos containeres bombonas na planta, processo de regeneração do óleo, análise físico-química, envasamento em container bombona identificado como óleo regenerado e por fim o transporte para a área de manutenção (Figura 18).

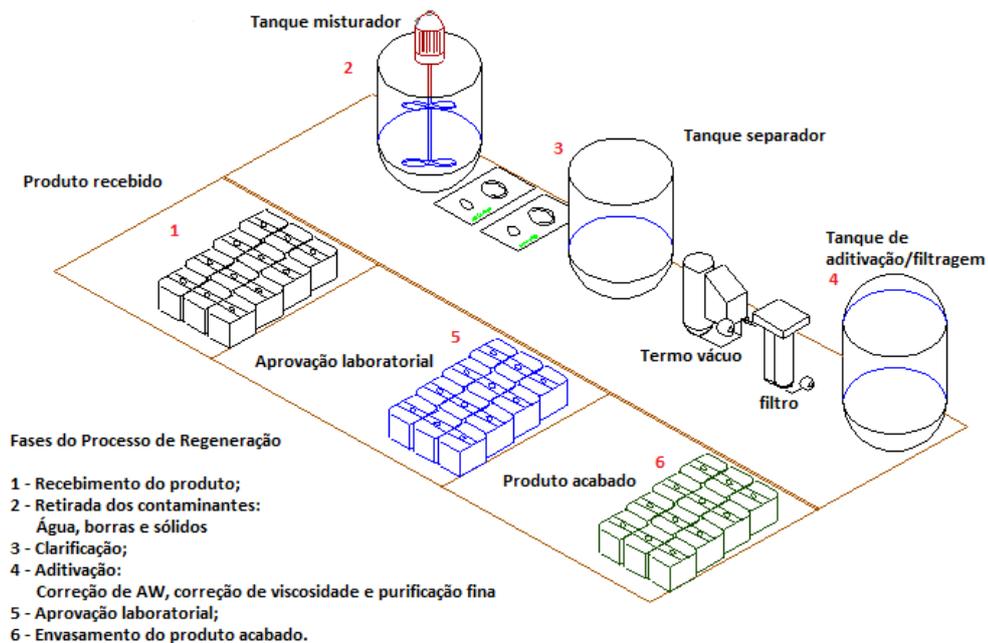
Figura 18 – Fluxo da logística de tratamento do óleo



Fonte: Repositório Digital da Vale, 2014.

A figura 19 mostra o layout da planta de regeneração de óleo que foi instalada e um resumo dos processos utilizados.

Figura 19 – Layout da planta de regeneração



Fonte: Repositório Digital da Vale, 2014.

O processo de regeneração é dividido basicamente em quatro fases que serão demonstradas a seguir.

Fase 1 – Tanque Misturador de Argila

Na primeira fase que ocorre no tanque misturador de argila representado na figura anterior pelo número 2, ocorre a transferência do óleo para o tanque e através da agitação provocada pelas hélices, os sólidos são removidos, é realizado a medição de pH e feito a correção caso necessário, depois é removida a água e os particulados sólidos, é realizado o aquecimento a 120° C com o agitador a 12 rpm, após o aquecimento é inserido a argila e aguarda 12h para fazer a transferência da mistura para o tanque da fase 2.

Fase 2 – Tanque para Remoção de Argila

Nesse tanque é realizada a remoção da argila, envia uma amostra para análise antes da próxima etapa, depois é feita uma filtragem nominal e transferido o óleo para o tanque da fase 3.

Fase 3 – Tanque de Correção Final

Nessa fase inicia a desumidificação, remove-se toda a borra do óleo, realiza uma filtragem absoluta, corrige-se a viscosidade, insere os aditivos específico para o tipo de óleo, corrige a corrosão e realiza uma análise do óleo.

Fase 4 – Laboratório de Análise

É realizada uma coleta de amostra e levada para aprovação do responsável pelo laboratório, depois de aprovada é liberado o óleo para a área.

Já na figura 20 é apresentado a planta já instalada na área do CMD com um de seus tanques de tratamento e seus os filtros.

Figura 20 – Planta de regeneração



Os equipamentos utilizados na planta são centrifugas purificadoras e clarificadoras, desidratadores a vácuo, agitadores, filtros nominais e absolutos.

3.2 DADOS

Os dados foram obtidos utilizando uma grande interface de algumas áreas da empresa, sendo o controle de consumo de lubrificantes realizado pela área de manutenção de caminhões, o controle de custos pela gestão econômica, a gestão do descarte de óleo pela Central de Materiais Descartados (CMD) e pela área de meio ambiente.

Todas essas áreas estiveram em comum acordo para a disponibilização dos dados para a realização deste estudo de caso, bem como a necessidade de cumprimento de todas as etapas do cronograma para o sucesso da pesquisa.

A área de manutenção de caminhões é responsável pela gestão da informação relacionada ao recebimento de lubrificantes do fornecedor e distribuição destes para as demais áreas de manutenção de Carajás. Os dados consolidados por eles são importantes para se saber quanto de óleo está sendo gasto em cada área, qual compartimento do equipamento há maior consumo de lubrificante e quais tipos de óleo são utilizados em cada componente.

Já a área de gestão econômica utiliza os dados de solicitação de compra da área juntamente com o relatório de recebimento de óleo e compara com o que está sendo gasto por semana com aquisição de óleo novo. Essas informações é que servirão para saber qual a economia com a implantação da regeneração.

O CMD e a área de meio ambiente controlam todos os resíduos que são descartados da mina de ferra e classificam estes de acordo com o grau de risco. É elaborado um relatório mensal com a quantidade de óleo que foi descartado em cada área e isso é utilizado para analisar se está havendo redução na geração de resíduos perigosos.

Por fim, os dados de performance dos equipamentos são obtidos com os relatórios de indicadores de manutenção, análise de falha, perfil de perdas e dados fornecidos pela preditiva.

3.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a análise dos dados de coleta de óleo novo comparado com o lubrificante regenerado para verificar a qualidade deste no processo implantado. Para essa análise foi utilizado o teste de hipóteses utilizando médias de 50 amostras de coleta de óleo novo e 50 do regenerado e admitindo como a hipótese nula que os valores obtidos das análises de lubrificantes regenerados são equivalentes aos óleos novos e a hipótese alternativa é que essa afirmação é falsa.

Os dados foram obtidos no laboratório de análises físico-químicas da área de manutenção preditiva da Vale.

Foi acompanhada a performance dos equipamentos de transporte antes, durante e após a implantação do projeto para verificar se houve impacto no desempenho desses com a utilização do óleo regenerado.

Por fim, foram analisados os custos com a compra de óleo novo antes da implantação da regeneração e comparados com custos após o projeto.

Para a obtenção das informações foram necessárias visitas às áreas de interface para a realização de entrevistas com os responsáveis por cada processo. Também foi necessário o acompanhamento da rotina de análise de óleo no laboratório da equipe preditiva, a fim de entender o processo e melhorar a análise dos dados.

3.3.1 Análise físico-química do óleo

Para a obtenção da qualidade de óleo requerida pelo fabricante dos equipamentos foram realizadas análises e medições de densidade, viscosidade, ponto de fulgor, número de basicidade total (TBN), teor de cálcio, teor de zinco, teor de fósforo, espectrofotometria, corrosão em Lamina de Cobre, PH, quantidade de água e utilização do método comparativo ISO 4406.

3.3.2 Análise da viabilidade econômica do projeto

Utilizando a análise de viabilidade técnica para a elaboração do projeto, foram analisados os ganhos reais com os dados de regeneração após seis meses de produção, verificando se os ganhos superaram a proposta inicial. Para isso foram utilizados os relatórios da gestão econômica, os quais possuem os gastos com

lubrificantes e da Central de Materiais Descartados (CMD), contendo a quantidade de óleo descartado.

3.3.3 Avaliação da disponibilidade física dos caminhões

Após o início de utilização do produto reciclado nos equipamentos de transporte, foram acompanhados os indicadores de Disponibilidade Física (DF), falhas prematuras de componentes por problemas com lubrificação e confiabilidade dos ativos. Assim, foi verificado se houve melhoria na performance dos equipamentos com a utilização de óleo regenerado ou se impactou negativamente no desempenho dos caminhões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a implantação da planta de regeneração foram satisfatórios e atenderam ao objetivo geral do projeto. Houve economia com a compra de óleo novo, redução na geração de resíduos provenientes dos lubrificantes usados e manteve-se o desempenho dos equipamentos de acordo com o esperado pela produção.

Detalhamos a seguir os resultados obtidos com este estudo de caso.

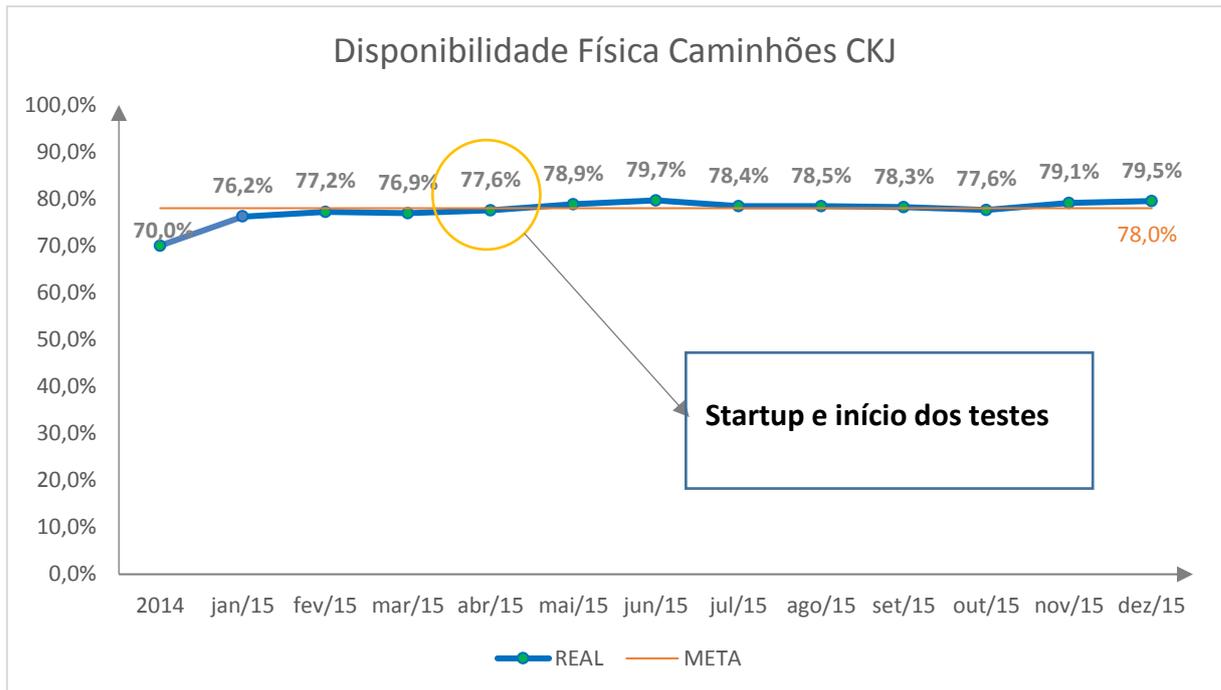
4.1 DESEMPENHO DOS EQUIPAMENTOS

Após o início de utilização do produto reciclado nos equipamentos de transporte, foram acompanhados os indicadores de Disponibilidade Física (DF), falhas prematuras de componentes por problemas com lubrificação e confiabilidade dos ativos.

Foi verificado durante o período de teste do lubrificante regenerado que a performance dos equipamentos de transporte se manteve adequada e não houve nenhum impacto no desempenho dos mesmos com a utilização de óleo regenerado, mas ocorreram algumas falhas prematuras ocasionadas por outros fatores operacionais da máquina.

O indicador de DF se manteve estável ao longo do ano, mesmo utilizando-se o lubrificante regenerado (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Disponibilidade física dos caminhões mecânicos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os caminhões obtiveram no ano de 2014 um valor de disponibilidade abaixo da meta especificada pela equipe de engenharia e no início do ano de 2015 o mesmo indicador apresentou nos três primeiros meses valores abaixo de 78% ocasionado por falhas prematuras de componentes do sistema de motor, transmissão e hidráulico.

A partir da implantação da regeneração em abril de 2015, os lubrificantes utilizados nos sistemas de transmissão e hidráulico começaram a ser regenerados e obtiveram uma especificação de qualidade acima do que estava sendo obtido com a utilização do óleo novo, pois este era contaminado durante o transporte do fornecedor até a planta da Vale, contaminando também os sistemas que o utilizavam e gerando falhas no equipamento.

Portanto no período analisado não houveram mais falhas ocasionadas por contaminação do lubrificante usados nos sistemas dos caminhões.

4.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA QUALIDADE DO ÓLEO REGENERADO

Com o início das operações de regeneração foram feitas análises dos óleos e comparadas aos valores de referência antes da implantação do projeto, verificando

que o óleo regenerado atende as especificações e pode ser utilizado nos equipamentos de transporte da mina de ferro de Carajás.

Nos resultados de viscosidades a 40°C, os valores encontrados ficaram dentro dos limites estabelecidos pelo fornecedor entre 30 cSt ≤ 44 cSt para o óleo 10W e entre 75 cSt ≤ 113 cSt para o óleo TAC 30; para a viscosidade a 100° C ficaram acima do limite inferior de ≥ 4,8 cSt estabelecido para o óleo 10W e dentro dos limites 9 cSt ≤ 12 cSt para o óleo TAC 30. Esses resultados implicam que o lubrificante está adequado para o tipo de componente que é utilizado, ou seja, não cria resistência para a movimentação das peças e mantém a película lubrificante entre elas.

As outras características também atenderam o que foi estabelecido pelo fornecedor (ver tabela 6).

Tabela 6 – Análise físico-química do óleo 10W e TAC 30

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DO ÓLEO								
SAE	10W				TAC 30			
	Limite Inferior	Limite Superior	Resultado	Unidade	Limite Inferior	Limite Superior	Resultado	Unidade
Viscosidade 40° C	30	44	44,7	Centistokes (cSt)	75	113	106	Centistokes (cSt)
Viscosidade 100° C	4,8	-	6,7	Centistokes (cSt)	9	12	11,9	Centistokes (cSt)
Número de Basicidade Total	8,4	-	8,6	mgkoh/g	8,4	-	8,8	mgkoh/g
Cálcio	1800	-	1930	Partes por Milhão (ppm)	1950	-	1962	Partes por Milhão (ppm)
Zinco	1360	-	1375	Partes por Milhão (ppm)	1190	-	1210	Partes por Milhão (ppm)
Fósforo	960	-	986	Partes por Milhão (ppm)	840	-	865	Partes por Milhão (ppm)
Água	-	500	0	Partes por Milhão (ppm)	-	500	0	Partes por Milhão (ppm)
Contagem de Partículas	-	18/16/13	18/16/13	ISO	-	18/16/13	18/16/13	ISO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi verificado que o Número de Basicidade Total que indica a medida de alcalinidade do óleo e a capacidade que este tem de neutralizar um ácido está acima do mínimo permitido. Portanto ele não apresentou nenhuma anormalidade relevante na análise realizada, pois se este valor estivesse abaixo do limite mínimo geraria um alerta na análise e caso não fosse solucionado o problema, o componente poderia apresentar uma falha.

Os metais aditivos de cálcio, zinco e fósforo são verificados através da análise Espectrométrica de metais por plasma indutivamente acoplado (ICP) que detecta estes elementos presentes no óleo. Os resultados dos metais também atenderam a especificação do fornecedor dos componentes, pois se estivessem fora do limite poderia alterar as propriedades do lubrificante, ocasionando a quebra do componente.

A água no óleo diminui a função de lubrificação do óleo, impede a ação dos aditivos e facilita a oxidação do equipamento, portanto quanto menor for a quantidade de água, melhor para manter as propriedades originais do óleo. O resultado da amostra apresentou ausência de água em conformidade com o especificado pelo fornecedor.

Para que o lubrificante dure por mais tempo, é necessário que ele esteja limpo, frio e seco. O grau de limpeza do óleo é medido com a contagem de partículas que segue a norma ISO4406. No resultado da amostra foi obtido o valor 18/16/13 que significa que há entre 1300 e 2500(inclusive) partículas maiores ou iguais a 4 micra e que há entre 320 e 640(inclusive) partículas maiores ou iguais a 6 micra e que há entre 40 e 80(inclusive) partículas maiores ou iguais a 14 micra.

Esse processo de análise permitiu um diagnóstico físico-químico de qualidade do óleo antes de entrar no processo de regeneração e depois que o óleo já está regenerado. Foi verificado que as características do lubrificante regenerado atendem as determinações do fornecedor, permitindo que o óleo reciclado esteja dentro das especificações de qualidade e possa ser utilizado normalmente nos equipamentos de transporte.

4.3 QUALIDADE DAS ANÁLISES DE ÓLEO

Além da planta de regeneração foi implantado também um novo laboratório de análise de óleo na área de manutenção com capacidade de verificação de seis mil amostras por mês, auxiliando nas avaliações necessárias para garantir a qualidade

do óleo reciclado. Isso garante maior agilidade no processo de análise e reduz custos de análise antes feitas por empresa externa. O prazo do resultado da amostra reduziu-se de 15 dias a 48 horas com redução do custo de R\$45,00 para R\$10,84 por amostra analisada.

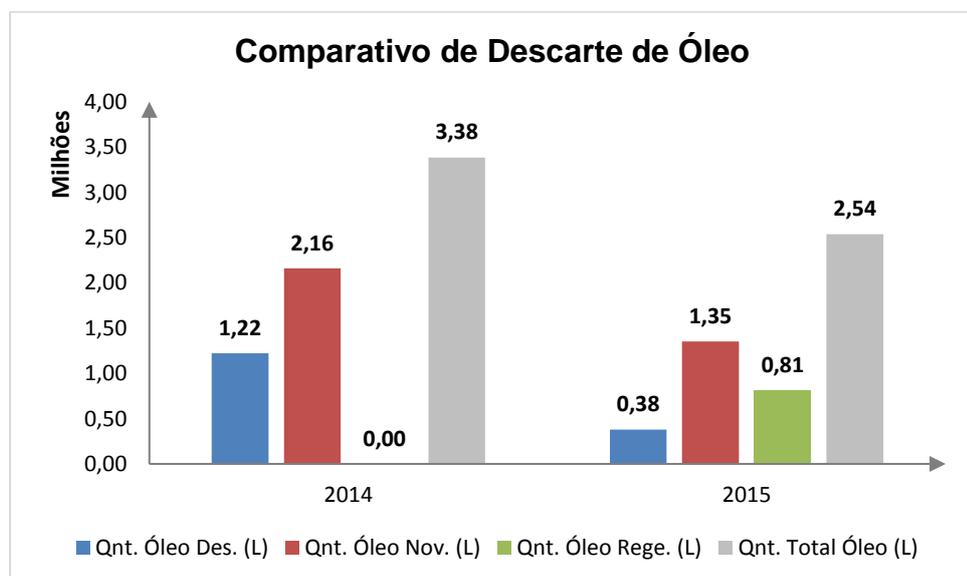
. Isto contribuiu na redução de custo de análise que anteriormente era feita por fornecedores contratados em outros estados e melhorou o tempo de resposta do resultado dos testes nos lubrificantes nas análises de óleo.

O laboratório está diretamente relacionado ao processo de regeneração. Os resultados do processo são verificados em curto período de tempo, auxiliando na tomada de decisão quanto a qualidade de óleo e no impacto que uma falha no processo poderá gerar para o meio ambiente e o processo de manutenção.

4.4 IMPACTO AMBIENTAL

Com a regeneração do óleo lubrificante em Carajás também foram reduzidos a aquisição do produto novo e o descarte do óleo usado. A quantidade de óleo comprado e descartado em 2014, comparado com a quantidade de lubrificante comprado, descartado e regenerado em 2015 mostra que houve uma redução de aproximadamente 70% no descarte de óleo e de 37% na aquisição de lubrificante novo devido a utilização do óleo regenerado (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Redução no descarte de óleo com a regeneração implantada



Fonte: Elaborado pelo autor.

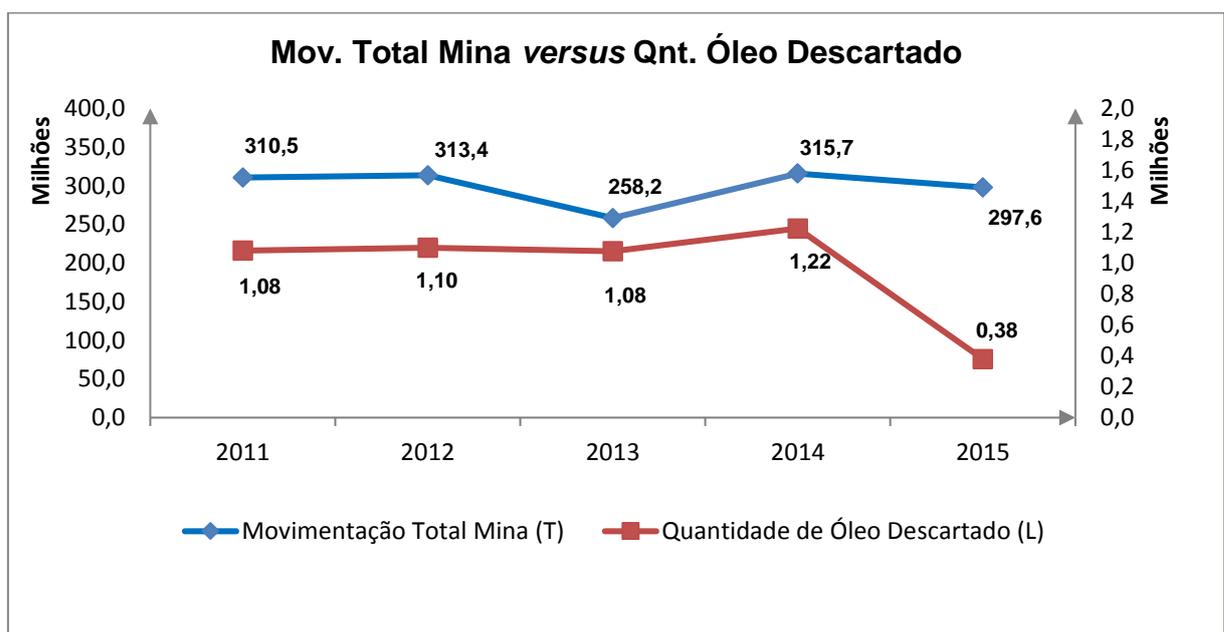
Como pode ser verificado no gráfico anterior, ocorreu uma redução de 809.389 litros de óleo comprado que passou pelo processo de regeneração. O lubrificante que antes era descartado passou a ser tratado e com isso houve a redução dos impactos ambientais do descarte e diminuição da compra de novo óleo que reduz a demanda pela produção de lubrificante diretamente do petróleo.

Neste trabalho não foram avaliados os impactos ambientais dos lubrificantes na contaminação atmosférica e do solo, pois não houve uma vez que no processo de regeneração não há emissão atmosférica. A regeneração de óleo não necessita de queima; a área de regeneração e a oficina possuem uma estrutura específica para contenção de óleo caso haja algum tipo de vazamento.

Portanto, o único aspecto avaliado foi a geração de resíduos sólidos (lubrificante usado ou contaminado) e o descarte dos mesmos. Com o projeto de regeneração, o descarte reduziu em quase 70%.

A movimentação total da mina se manteve relativamente alta e estável em 2015 em relação a 2014, mas a variação percentual foi de 22,3% e -5,7% nos biênios 2013-14 e 2014-15, respectivamente. Todavia, a variação percentual da quantidade de resíduos descartados foi de aproximadamente 13% e expressivos -69% nesses biênios como resultado do processo de regeneração implantado (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Impacto da movimentação de mina na geração de óleo



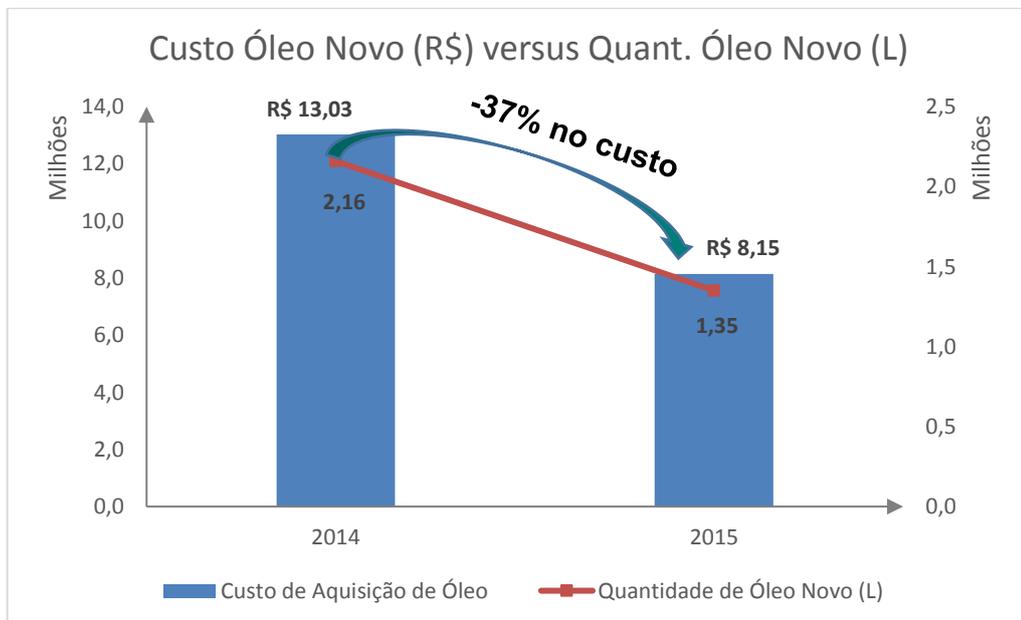
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 CUSTO COM AQUISIÇÃO DE ÓLEO NOVO

Em doze meses do início do processo de regeneração de lubrificantes, aproximadamente 810 mil litros de óleo já tinham sido regenerados. Com esse novo processo de reciclagem de óleo, houve uma economia de 4,8 milhões de reais na aquisição de óleo novo em 2015, uma vez que foram gastos com esta mesma aquisição em 2014 mais de 13 milhões de reais anuais.

Essa redução equivale a 37% a menos no custo com a substituição do óleo novo pelo óleo regenerado (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Custo de aquisição do óleo novo



O projeto do ponto de vista econômico se mostrou bastante rentável, pois além de reduzir o gasto com a compra, também economizou com a produção do óleo regenerado que é de 2 a 3 vezes mais barato que o custo de aquisição. Porém o uso de 100% de óleo regenerado não é possível, pois durante a utilização do lubrificante nos equipamentos sempre há perda que deve ser compensada utilizando o produto novo.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo de caso mostrou que o processo de reciclagem de óleo lubrificante é uma opção viável do ponto de vista das dimensões econômica e ambiental para a gestão de resíduos sólidos.

A nova legislação ambiental em vigor trata desses resíduos sólidos e obriga as empresas produtoras e importadoras a realizar o tratamento dos resíduos gerados pela sua atividade econômica.

Na empresa Vale já foram dados os primeiros passos para a mudança dessa cultura organizacional de reaproveitamento do óleo lubrificante. Os exemplos incluem o trabalho realizado em Vargem Grande, Minas Gerais, e o presente estudo de caso realizado em Carajás, no Pará.

A regeneração de óleo lubrificante utilizado no setor de manutenção de equipamentos da mina de Carajás gerou uma economia no custo de aquisição de óleo novo e na redução na geração de resíduos contaminados com óleo. Parte do óleo usado deixou de ser descartado no meio ambiente para ser reutilizado no processo citado.

Portanto, o processo implantado está regenerando mais de um milhão de litros de óleo ao ano (aproximadamente 55% do total de lubrificantes estão sendo regenerados pelo processo interno da Vale). Devido a capacidade instalada e contratada, o restante 45% continuará sendo vendido para empresas externas tratarem esse óleo usado.

Foi verificado, ainda, em algumas amostras que o óleo regenerado apresentou qualidade superior ao obtido do fornecedor, óleo novo. Isso mostra que no transporte do lubrificante novo ocorre a contaminação deste, ocasionando uma piora na qualidade.

Finalmente, foi analisado o desempenho dos equipamentos de transporte com a utilização do óleo regenerado. Os resultados foram satisfatórios, pois não houve impacto na performance dos Caminhões Fora de Estrada. O indicador de Disponibilidade Física, acompanhado durante 2015, apresentou resultados aderentes à meta estabelecida e as falhas dos componentes não foram impactadas pela qualidade do óleo regenerado utilizado.

As sugestões para trabalhos futuros visando dar continuidade as formas de preservação ambiental através da reciclagem do óleo lubrificante usado e os resíduos gerados por ele são:

- 1) Avaliar a utilização do lodo proveniente do processo de regeneração do óleo lubrificante nos processos industriais da mina de ferro de Carajás;
- 2) Realizar um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental para reaproveitamento do óleo lubrificante de motor. Este não foi avaliado neste trabalho por possuir propriedades físico-químicas bem diferentes dos outros lubrificantes analisados.

REFERÊNCIAS

ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. D. S.; **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ANALUB. Purificação de Lubrificantes. Disponível em <<http://www.analub.com.br/>>. Acesso em: 02 de abr. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. ANP. Disponível em: <<https://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.

_____. **Portaria Nº 130**. Anexo I. Item 3. Brasília, 1999.

ASSIS, M. **Viabilidade da filtragem dos óleos hidráulicos e das transmissões dos equipamentos de mineração**. DIFL, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação**: NBR1004. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Sistema de gestão ambiental**: requisitos com orientações para uso NBR ISO 14001: NBR 14001. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE – APROMAC. **Guia Básico de Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados**. Disponível em: <http://www.lwart.com.br/site/content/lubrificantes/meio_ambiente.asp/>. Acesso em: 31 de mar. 2016.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2006.

CAMARGO, A. **Óleos Lubrificantes e Preservação**. O Mundo da Usinagem. 4. ed. 2003. Disponível em: <<http://www.omundodausinagem.com.br/>>. Acesso em: 15 de jan. 2015.

CANCHUMANI, G. A. L. **Óleos Lubrificantes Usados: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no Brasil**. Rio de Janeiro, 2013.

CASTRO, M. D. G. D. **Caracterização do Processo de Reciclagem do Óleo Lubrificantes Usado em Postos de Combustíveis e Identificação de Desafios Frente à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Bauru, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **CONAMA, Nº 362**: Recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Brasília, 2005.

COSTA, W. J. V.; GONÇALVES, J. C.; OLIVEIRA, C. N. C.; PINTO, M. J.; **Estratégia e Viabilidade Econômica no Processo de Regeneração do Óleo Lubrificante Mineral Usado em Equipamentos Industriais**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31. Belo Horizonte, 2011.

DEMAJOROVIC, J; SANCHES, C. S. Aprendizado e indicadores ambientais: perspectivas para as organizações. Anais do XXII Encontro Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração – ENANPAD, Foz do Iguaçu, 1999.

FALCÃO, J. M. D. S. L. **Modelo Multicritério para a Seleção de Fornecedores na Reciclagem do Resíduo do Óleo Lubrificante**. Recife, 2012.

FRUSCO, N.; GARCIA, G.; GONÇALVES, E.; VESPA, T. Tragédia em Mariana: para que não se repita. *Veja*, São Paulo, 20 dez. 2015. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/complemento/brasil/para-que-nao-se-repita/>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

GRANDELLE, R. Sustentabilidade. *O Globo*, Rio de Janeiro, 16 nov. 2015. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/temperatura-media-da-terra-cresceu-102-grau-celsius-desde-seculo-xix-18002272/>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

GUIMARÃES, J. **Rerrefino de Óleos Lubrificantes de Motores de Combustão Interna utilizando o Processo de Ultrafiltração e Adsorção**. Rio de Janeiro, 2006.

JUNIOR, J. V. D. S.; TRISTÃO, J. A. M.; TRISTÃO, V. T. V. **Gestão Ambiental de Resíduos de Óleos Lubrificantes: o processo de rerrefino**. Rio de Janeiro, 2005.

LWART LUBRIFICANTES. Disponível em: <<https://http://www.lwart.com.br/>>. Acesso em: 02 de abr. 2016.

MARTINATO, A. **Canais de Logística Reversa na Cadeia do Óleo Lubrificante no Estado de São Paulo: o caso das embalagens plásticas**. São Carlos, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. MMA. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 01 de abr. 2016.

NETO, L. G. D. C. **Influência do Monitoramento Objetivo e Subjetivo na Disponibilidade e Confiabilidade de Equipamentos Industriais**. Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara D'Oeste, 2006.

NUNES, H. D. S. **Avaliação da Implantação do Sistema de Produção Vale: estudo de caso no setor de manutenção do Terminal Marítimo Inácio Barbosa**. Aracaju, 2011.

PINTO, A. K. **Gestão estratégica e Indicadores de Desempenho**. Cap. 2. Rio de Janeiro: Abraman, 2002. p. 11-72.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. [recurso eletrônico]. 2. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO RERREFINO DE ÓLEOS MINERAIS. SINDIRREFINO. Disponível em: <<https://www.sindirrefino.org.br/>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES. SINDICOM. Disponível em: <<https://www.sindicom.com.br/>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.

TÁVORA, S. P. **Gestão do Tratamento de Óleos Lubrificantes Usados: contribuição ao atendimento à resolução Conama 09/93 e portaria ANP 125/99.** Niterói, 2003.

VIANA, H. R. G. **PCM, Planejamento e Controle da Manutenção.** 1. ed. Qualitymark, 2002. p. 167.