



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA

**BEATRIZ APARECIDA JERONYMO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO GERADO NO PROCESSO  
DE RERREFINO DE ÓLEO LUBRIFICANTES**

**LAVRAS -MG**

**2023**

**BEATRIZ APARECIDA JERONYMO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO GERADO NO PROCESSO DE  
RERREFINO DE ÓLEO LUBRIFICANTE**

Monografia apresentada ao Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras-UFLA, como parte das exigências do Curso de Química (Bacharelado), para obtenção do título de Bacharel.

Prof.. Dr. Fabiano Magalhães

Orientador

Profa.Dra. Pricila Batista Chagas

Coorientadora

**LAVRAS -MG**

**2023**

**BEATRIZ APARECIDA JERONYMO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO GERADO NO PROCESSO DE RERREFINO  
ÓLEO LUBRIFICANTE**

Monografia apresentada ao Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras - UFLA, como parte das exigências do Curso de Química (Bacharelado), para obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 08 de Dezembro de 2023

Me. Crislaine das Graças Almeida

Prof. Dr. Fabiano Magalhães - DQI/UFLA

Dra. Pricila Maria Batistas Chagas - DQI/UFLA

Profª. Dra. Maria Lucia Bianchi – DQI/UFLA

Prof. Dr. Fabiano Magalhães

Orientador

Profa.Dra. Pricila Batista Chagas

Coorientadora

**LAVRAS -MG**

**2023**

*Dedico este trabalho, em especial aos meus pais, Valdete e Silvio, que não mediram esforços para que meus sonhos se tornassem realidade. Sem apoio, contribuição e confiança deles, essa minha trajetória não teria sido possível. Agradeço também a Deus que me deu sabedoria, força e coragem em todos os meus dias para que não desistisse dos meus objetivos e, aos meus familiares e amigos pelo incentivo e compreensão nas horas de ausência e de desabafo.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me proporcionado os meios para realizar esse sonho, sempre me abençoando com sabedoria e coragem por passar por cada fase desse caminho. Lembrando que tudo seria passageiro e que em breve estaria realizando um sonho meu e dos meu pais.

Agradeço aos meus pais, Valdete e Silvio, por não terem medido esforços para me proporcionar a realização desse sonho, sempre acreditando e apoiando, vocês são a razão e o motivo pelo qual eu consegui completar essa caminhada, se não fosse pela fé de vocês em mim eu não estaria aqui hoje. Agradeço imensamente pelo apoio, durante todas as etapas da minha vida e por sempre acreditarem e investirem em mim, sempre me direcionado ao caminho dos estudos. Meu eterno agradecimento a vocês.

A minha irmã Barbara e meu cunhado Alexsander, por sempre me apoiarem, acreditarem e ajudarem em momentos que precisei. Agradeço por cada ajuda que me foi dada durante esses anos, fica aqui meu obrigada. E aos meus sobrinhos Gabriela e Pedro Augusto por serem meus momentos de alegria quando voltava para casa me ajudando a ter forças para continuar e voltar o quanto antes para casa.

Aos meus irmãos Diego e Guilherme que sempre me apoiaram e torceram por mim, buscando sempre aos meus pais para saberem como eu estava. O carinho e a preocupação de vocês sempre chegaram até mim.

Quero agradecer a meu namorado Otávio Costa, por sempre ter me encorajado, acreditado e incentivado a buscar a excelência e a superar meus próprios limites e por ser meu porto seguro nesses momentos finais da graduação seu amor, carinho e admiração foram estímulos para que eu continuasse e não desanimasse quando já não havia mais forças. Obrigada por sempre me escutar todas as vezes que chorei e reclamei, e por comemorar comigo as pequenas vitórias, por sempre me mostrar que era só um momento e que já iria passar.

A minha amiga Taisa Rezende, que mesmo antes de colocar meus pés na UFLA já estava me ajudando. A UFLA me proporcionou a melhor parceira, sem você Taísa, todos esses anos de faculdade não seria possível, você me incentivou, alegrou e ajudou não me deixando desistir jamais, para cada " eu não aguento mais" você estava lá me lembrando que eu aguentava mais sim, mas que acima de tudo você dividiria o peso comigo se fosse preciso. Obrigada por sua amizade, por sua loucura, apoio e carinho, você foi luz em momentos de escuridão. Do primeiro ao último dia da UFLA você esteve do meu lado, te desejo sempre o melhor e espero que agora mesmo a distância nossa amizade, carinho, respeito e admiração uma pela outra dure para todo o sempre.

Aos meus amigos que fiz ao longo do caminho Maurício, Gabriel, Antônio e Stephano, obrigada pelos momentos que tivemos, pelas conversas, pelos tempos de cantina, risadas, por cada conselho, ajuda e desabafo, vocês tornaram essa caminhada um pouco mais leve. E as minhas amigas Aline e Letícia que sempre acreditaram em mim e por cada retorno para Serrana me ajudarem a recarregar as energias para voltar e continuar.

A meu Orientador Fabiano Magalhães e minha Co - Orientadora, Pricila Chagas, por me ajudarem na elaboração deste trabalho, por toda a ajuda e tempo que cederam. Foi um prazer e uma honra trabalhar com vocês.

A Crislaine Almeida, que cedeu o resíduo para que pudéssemos estudar. Obrigada por cada conversa e auxílio que me deu durante a construção do trabalho. Sem a sua preocupação, este trabalho não seria desenvolvido. E a empresa Proluminas por permitir o estudo.

A todos meus professores ao longo desse processo de graduação, meus sinceros agradecimentos pelo aprendizado e contribuições. A Universidade Federal de Lavras-UFLA e ao Departamento de Química- DQI, agradeço pelas oportunidades de estudos e pela infraestrutura. A comissão examinadora pela leitura, discussões e contribuições nessa etapa final.

*“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível”.*

**(Max Weber)**

## RESUMO

O tratamento e o destino adequado de resíduos industriais são de extrema importância, e vão desde a proteção do meio ambiente até a promoção da saúde pública e o cumprimento de regulamentações governamentais. Os óleos lubrificantes são produtos que foram desenvolvidos com a finalidade de diminuir o atrito entre peças móveis de máquinas, automóveis e equipamentos em geral. Após sua utilidade o óleo lubrificante se transforma em um resíduo de óleo lubrificante contaminado. Esse resíduo é classificado como resíduo perigoso de acordo com a NBR 10004/2004, especificamente sob o código F-130 por conter aditivos químicos altamente tóxicos que causam impactos no meio ambiente. Com os avanços sobre a conscientização da preservação do meio ambiente na esfera corporativa, a logística reversa se destacou, e o rerrefino de óleo lubrificante usado se destaca ganhando grande relevância. Entretanto, durante o processo de rerrefino também há geração de resíduo em uma das etapas do processo, sendo este gerado em quantidades consideráveis. O presente trabalho tem por objetivo a caracterização deste resíduo industrial, pó das caldeiras que podem atingir 300 °C, a partir de um conjunto de técnicas analíticas como termogravimétricas, calorimetria exploratória diferencial, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X e infravermelho. Os resultados das caracterizações do resíduo mostraram que seu principal constituinte é o óxido de silício amorfo. Sendo assim, o resíduo possui grande potencial para ser aplicado como matéria-prima para obtenção de geopolímeros, pode ser um aditivo para obtenção de cimento Portland, suporte para catalisadores e até mesmo aplicado como adsorvente de contaminantes presentes em meio aquoso. Estas possibilidades, contribuem para a economia circular e atende a alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Palavras chaves: Dioxido Silicio, Caracterização, Óleo Lubrificante, Rerrefino, Infravermelho.



## ABSTRACT

The treatment and proper disposal of industrial waste is extremely important, ranging from protecting the environment to promoting public health and complying with government regulations. Lubricating oils are products that were developed with the purpose of reducing friction between moving parts of machines, automobiles and equipment in general. After its use, the lubricating oil turns into a residue of contaminated lubricating oil. This waste is classified as hazardous waste according to NBR 10004/2004, specifically under code F-130 because it contains highly toxic chemical additives that cause impacts on the environment. With advances in awareness of environmental preservation in the corporate sphere, reverse logistics has stood out, and the re-refining of used lubricating oil stands out, gaining great relevance. However, during the re-refining process, waste is also generated in one of the process stages, which is generated in considerable quantities. The present work aims to characterize this industrial waste, boiler dust that can reach 300 °C, using a set of analytical techniques such as thermogravimetric, differential scanning calorimetry, scanning electron microscopy, X-ray diffraction and infrared. The results of the residue characterization showed that its main constituent is amorphous silicon oxide. Therefore, the residue has great potential to be applied as a raw material to obtain geopolymers, it can be an additive to obtain Portland cement, a support for catalysts and even applied as an adsorbent for contaminants present in aqueous media. These possibilities contribute to the circular economy and meet some of the UNO Sustainable Development Goals.

Keywords: Waste, Characterization, Lubricating Oil, Re-refining, infrared

## **LISTAS DE FIGURAS**

Figura 1: Oligômeros do 1-deceno.

Figura 2: Esquema de etapas do rerrefino.

Figura 3: Imagem fotográfica do resíduo da Proluminas.

Figura 4: Imagens de MEV (A e B) e EDS (C) para o resíduo com as seguintes ampliações (A) 500x e B) 2000x

Figura 5: Figura 4: Espectro da Análise de EDS do resíduo da Proluminas.

Figura 6: Espectro da Análise de infravermelho do resíduo da Proluminas

Figura 7: Espectro da Análise do resíduo da Proluminas

Figura 8: Termograma da Análise do resíduo da Proluminas.

## **LISTAS DE TABELAS**

**Tabela 1** :Resultado obtido por FRX para a amostra de resíduo da Proluminas.

**Tabela 2.** Porcentagens atômicas obtidas por EDS para a amostra de resíduo analisada.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ABNT** - Associação Brasileira De Normas Técnicas

**ANP** - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Brasil

**APROMAC** - Associação De Proteção Ao Meio Ambiente De Cianorte.

**CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente

**DRX** - Difração de raios-X

**EDS** - Espectroscopia por energia dispersiva

**FRX** - Fluorescência de raios-X

**FTIR – ATR** - Espectroscopia na Região do Infravermelho com transformada de Fourier no modo reflectância total atenuada

**IV** - Infravermelho

**MEV** - Microscópio eletrônico de varredura

**OLUC** - Óleo Lubrificante Usado ou contaminado

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**TG** - Termogravimetria

**UFLA** - Universidade federal de Lavras

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
2.1. Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivo específico.....	17
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
3.1 Indústria e meio ambiente.....	18
3.2 Resíduos Industriais: Desafios e soluções para uma gestão sustentável.....	19
3.3 Resíduos oleosos.....	20
3.3.1 Óleos lubrificantes.....	23
3.3.2 Óleo lubrificante usado ou contaminado.....	24
3.3.3 Rerrefino e legislação.....	26
3.3.4 Etapas do rerrefino.....	27
3. 4 Empresa Proluminas Lubrificantes.....	28
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>30</b>
4.1 Obtenção do Resíduo.....	30
4.2 Caracterização.....	30
4.2.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	30
4.2.2 Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier no modo reflectância total atenuada (FTIR – ATR).....	30
4.2.3 Fluorescência de raios – X portátil (pXRF).....	30
4.2.4 Difração de raios – X (DRX).....	31
4.2.5 Análise termogravimétrica ( TG).....	31
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>32</b>
5.1 Fluorescência de raios – X (FRX).....	32
5.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	33
5.3 Espectroscopia na região do Infravermelho (FTIR).....	36
5.4 Difração de raios – X (DRX).....	37
5.5 Análise termogravimétrica (TG).....	38
<b>6. PRESENÇA DE ÓXIDO DE SILÍCIO</b> .....	<b>39</b>
<b>7. POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O SiO<sub>2</sub></b> .....	<b>40</b>
7.1 Sugestões De Trabalhos Futuros.....	41
<b>8. CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais são produtos, subprodutos ou até mesmo materiais descartados, provenientes do processo de produção industrial. Uma boa gestão de resíduos industriais é fundamental para prevenir os impactos negativos. No contexto industrial, os resíduos podem ser classificados em várias categorias, sendo os oleosos um dos tipos mais destacados devido à sua potencialidade.

Os resíduos oleosos são caracterizados pela presença de óleos usados ou contaminados. Esses resíduos são, frequentemente, uma consequência das operações industriais que envolvem óleos lubrificantes, combustíveis ou substâncias químicas oleosas. Os resíduos oleosos podem ser compostos por misturas de óleos, água e sólidos, tornando-se um problema.

A indústria petroquímica, automobilística, metalúrgica e muitos outros setores são geradores comuns de resíduos oleosos. O descarte inadequado desses resíduos pode resultar em sérias consequências ambientais, como a contaminação de solos, águas superficiais e subterrâneas, além de afetar a fauna e a flora. Além disso, os resíduos oleosos também podem representar riscos à saúde humana, especialmente quando há exposição a longo prazo. (APROMAC, 2007). A disposição adequada de resíduos passou a ser primordial para a preservação ambiental, surgindo a necessidade de promover a conscientização e a busca por soluções para minimizar os impactos e também reduzir os custos destas atividades, incentivando o desenvolvimento de processos mais “verdes” (SZIGETHY, 2020).

É um grande desafio continuar se desenvolvendo, sem deixar de diminuir os danos causados ao meio ambiente. É necessário desenvolver os processos, com o objetivo de diminuir a geração de resíduos e efluentes tóxicos, assim como uma menor produção de gases indesejáveis ao ambiente. Este novo caminho a ser traçado da indústria junto a química é denominado como química sustentável ou química verde: "A criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas" (PRADO, 2003)

Para lidar com os resíduos oleosos de forma responsável, a logística reversa se destaca como um processo crucial. A logística reversa visa recuperar e reciclar esses resíduos, evitando que sejam descartados de maneira inadequada. Isso não apenas reduz o impacto, mas também promove a economia de recursos naturais. O método como o rerrefino, que envolve a extração de contaminantes para produzir o óleo básico, gerando novos óleos lubrificantes, é o mais utilizado e a maneira correta de descarte. A legislação ambiental tem um papel primordial na regulamentação do descarte e tratamento de resíduos

oleosos, estabelecendo padrões rigorosos para garantir a proteção do meio ambiente. (LIONELLO, 2018)

A Resolução da CONAMA 362/2005, traz que ” Todo óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final, de forma que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos constituintes nele contidos, na forma prevista nesta Resolução”. Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) a melhor alternativa para o óleo lubrificante usado é o rerrefino, com isso aumentando o seu ciclo de vida.

A Proluminas Lubrificantes, que está no mercado de rerrefino de óleo lubrificante. A empresa se preocupa com a preservação ambiental, a mesma aplica a lógica da economia circular ao aproveitar um dos resíduos oleosos gerados no processo de rerrefino como combustível no processo de destilação. A queima desta resíduo oleoso gerado no processo, gera por sua vez cinzas que se acumulam nas fornalhas, e por isso o processo é interrompido periodicamente para limpeza e manutenção. Este resíduo sólido (cinzas), proveniente da queima do óleo combustível, esse que vem da etapa de destilação é destinado pela empresa para aterro industrial.(PROLUMINAS,2023).

Por este motivo, a profissional da Proluminas Lubrificantes procurou o grupo de pesquisa Química de Ambiental e Materiais Aplicados, coordenado pelo prof. Fabiano Magalhães para sua caracterização e busca por possíveis aplicações. Ao caracterizar esse resíduo torna-se mais fácil para empresa saber como o que esta lidando, como se proteger e manuseá-lo de forma adequada até que ocorra o seu descarte e também inserir no mercado se tornando matéria prima para algum outro setor.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo Geral**

Caracterizar o material obtido pela empresa Proluminas a partir do seu processo de rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado, por meio de técnicas analíticas, a fim de identificá-lo para seu descarte correto.

### **2.2 Objetivo específico**

- Caracterizar o material obtido por meio das técnicas como difração de raio-X (DRX); infravermelho (IV); termogravimetria (TG). a fim de identificá-lo para seu descarte correto.
- Avaliar o potencial desse resíduo para uma possível aplicação



### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Indústria e meio ambiente

Desde a Revolução Industrial, a relação entre ambiente e sociedade tornou-se cada vez mais problemática, não só devido às mudanças nos métodos de produção em todo o mundo, mas também na forma como os recursos naturais são explorados. A Revolução Industrial que eclodiu na Inglaterra no século 18 trouxe ao mundo uma nova forma de fabricar produtos. Em muito pouco tempo, a capacidade de produção humana excedeu o necessário para a sobrevivência (TREVISAN, 2010). Desde então, eventos imprevisíveis no meio ambiente têm ocorrido com frequência, e os riscos enfrentados pelos seres humanos continuaram a surgir nas últimas décadas, causando diversos danos e alterações ambientais. Devido ao enorme crescimento da indústria, a vida na Terra foi afetada.

A utilização de combustíveis fósseis em grandes proporções trouxeram uma série de consequências, resultado de um processo de crescimento descontrolado capaz de, eventualmente, destruir a biosfera: destruição da camada de ozônio, acidificação do solo e de águas superficiais, dissipação de substâncias tóxicas no ambiente, acúmulo de substâncias não-biodegradáveis no ambiente, acúmulo de lixo radioativo, diminuição da área de florestas tropicais e da biodiversidade entre outros (BIAGIO; ALMEIDA; BONILLA, 2007, p.76).

É importante notar que o progresso tecnológico provocado pela Revolução Industrial não só promoveu o desenvolvimento econômico, mas também causou a degradação ambiental, desencadeando alterações climáticas e escassez de recursos. O crescimento econômico da sociedade atual é causado pela escassez de recursos não renováveis, pelo uso insustentável dos recursos naturais e pela degradação do meio ambiente (MARTINE E ALVES, 2015).

Levando em consideração o que foi citado, alguns dilemas aparecem na esfera ambiental. A grande diversidade das atividades industriais ocasionam durante o processo produtivo, a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, os quais podem poluir/contaminar o solo, a água e o ar, sendo preciso observar que nem todas as indústrias geram resíduos com poder impactante nesses três ambientes.

Os procedimentos e atividades de controle de cada tipo de resíduo na indústria pode parecer simples, porém por se diferenciarem em composições físicas, químicas e biológicas, a potencialidade de toxicidade e os diversos processamento recomendam que os resíduos sejam

caracterizados, quantificados e tratados e/ou acondicionados, adequadamente, antes da disposição final no meio ambiente. (LAVEZZO, 2016).

### **3.2 Resíduos Industriais: Desafios e soluções para uma gestão sustentável**

A geração de resíduos industriais é uma realidade ligada às atividades fabris e a todo o setor produtivo. No entanto, a geração descomunal de resíduos industriais coloca desafios significativos à sociedade, à economia e ao ambiente. Para discutir este tema, é necessário discutir os diferentes tipos de resíduos industriais, como ele pode impactar e as soluções sustentáveis que estão sendo estudadas/executadas.

Os resíduos podem ser identificados como resíduos sólidos, gasosos e líquidos. Os resíduos sólidos são materiais sólidos descartados no processo industrial, como embalagens, aparas de produção, produtos defeituosos e outros. Os resíduos líquidos podem incluir águas residuais contaminadas com produtos químicos, óleos ou substâncias tóxicas. Já os resíduos gasosos são emissões gasosas resultantes de processos industriais, muitas vezes contendo poluentes atmosféricos, como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e particulados (INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DA USP, ET AL.; 2012)

Os resíduos industriais quando não estão sob uma boa gestão residual podem causar consequências graves, como: *i)* poluição ambiental: O descarte inadequado pode contaminar solo, água e ar, prejudicando o meio ambiente e afetando a biodiversidade; *ii)* riscos à saúde pública: resíduos industriais podem conter riscos à saúde das pessoas, pois contêm substâncias tóxicas, causando doenças e problemas de saúde a longo prazo; *iii)* impactos econômicos: o tratamento adequado de resíduos podem gerar custos para as indústrias, mas um mau gerenciamento pode ocasionar multas e penalidades legais.

A gestão de resíduos é um desafio para as indústrias, porém se faz necessária para proteger o meio ambiente e a saúde humana. A busca por regulamentações e práticas responsáveis e técnicas inovadoras são essenciais para diminuir os impactos negativos e avançar em direção a um futuro mais sustentável. (MARIUZZO, 2020)

As soluções sustentáveis propostas para a gestão de resíduos industriais podem incluir: *i)* logística reversa: a logística reversa é um processo que envolve a coleta, reciclagem e reutilização de produtos e materiais após o seu uso. É uma abordagem que tem ganhado destaque na gestão de resíduos industriais, pois promove a economia circular e reduz a

geração de resíduos; *ii*) rerrefino e reciclagem: o rerrefino de óleos usados permite a recuperação desses óleos e reduz o uso de recursos naturais, assim evitando o descarte inadequado e reduzindo a necessidade da exploração de recursos naturais; *iii*) tecnologias de tratamento avançadas: o investimento em tecnologia para reduzir os impactos causados pelos contaminantes antes do seu descarte, vem ganhando destaque; permitindo à empresa preparar tratamento químico, físico ou biológico, dependendo da natureza dos resíduos; *iv*) legislação e regulação: governos e órgãos reguladores desempenham um papel fundamental na criação e aplicação de regulamentos que orientam a gestão adequada de resíduos industriais (DANDOLINI, 2001)

Durante o processamento industrial podem ser gerados resíduos sólidos perigosos, não-inertes ou inertes, o que recomenda atenção nos setores operacional e de meio ambiente da indústria, a fim de evitar a mistura desses resíduos durante as atividades de acondicionamento, coleta, tratamento e destino final.

### **3.3 Resíduos oleosos**

Resíduos oleosos são aqueles que apresentam em sua composição restos de óleos usados, normalmente esses resíduos são misturados com água ou materiais sólidos formando um composto que deve ser tratado de forma específica. Portanto, os resíduos oleosos tem capacidade de provocar grandes contaminações sejam em solos, rios, mares e oceanos, impactando nos cursos d'água e na vida animal, humana e vegetal. Sendo assim, um assunto que merece grande atenção. Eles podem causar uma série de problemas ambientais significativos, incluindo:

**Contaminação da Água:** O descarte inadequado de resíduos oleosos em corpos d'água, solo ou esgotos pode levar à contaminação da água. Essa contaminação

prejudica a qualidade da água, afetando a vida aquática, plantas e animais. Além disso, pode afetar as fontes de água potável.( SANTOS, 2021)

**Destruição de Ecossistemas Aquáticos:** Os resíduos oleosos podem vir a formar uma película na superfície da água, caso ocorra derramamento e assim bloquear a entrada de luz solar e prejudicar o processo de fotossíntese das plantas aquáticas. Pode também afetar toda a cadeia alimentar aquática, causando a morte de peixes, aves aquáticas e outros organismos aquáticos.(SANTOS,2021)

**Impactos na Fauna:** A ingestão ou exposição de animais a resíduos oleosos pode ser letal ou causar danos crônicos, por exemplo às aves, quando suas penas ficam cobertas de óleo, levando à perda da capacidade de isolamento térmico.

**Morte de Microorganismos e Plâncton:** Os resíduos oleosos podem ser tóxicos para microorganismos e o plâncton que desempenham um papel crucial nos ecossistemas aquáticos, prejudicando a base da cadeia alimentar. (SANTOS, 2021)

**Prejuízo à Pesca e à Aquicultura:** A contaminação de rios pode resultar na pesca de peixes contaminados. (SANTOS,2021)

**Danos ao Solo:** O descarte inadequado de resíduos oleosos no solo pode causar a contaminação do solo, impedindo o crescimento de plantas e afetando a qualidade do solo. Essa contaminação pode persistir por muitos anos.

**Impactos na Saúde Humana:** A exposição a resíduos oleosos apresenta riscos para a saúde, especialmente para as comunidades que dependem de áreas contaminadas para suas fontes de subsistência, como pescadores e agricultores.

**Derrames Acidentais:** Derrames de petróleo em grande escala, sejam devido a acidentes de navios petroleiros, vazamentos em oleodutos ou incidentes industriais, representam uma das formas mais evidentes de impacto ambiental dos resíduos oleosos.(SANTOS,2021)

Para mitigar esses problemas ambientais, são necessárias ações como a implementação de medidas de prevenção, regulamentações rigorosas, resposta rápida a derramamentos, técnicas de limpeza de derramamentos de óleo e o estabelecimento de práticas de gerenciamento de resíduos oleosos seguros e sustentáveis. A conscientização e o compromisso de governos, indústrias e comunidades também são cruciais para minimizar os impactos negativos dos resíduos oleosos no meio ambiente.

Diversos setores são geradores de resíduos oleosos, como a agricultura, indústrias, comércio e outros segmentos. Afinal, o óleo é um produto necessário para equipamentos, máquinas, veículos e até mesmo, em cozinhas. Diante disso, a geração de resíduos oleosos é algo comum e que precisa ser tratada em processos específicos, evitando misturar com outras classes de resíduos.

Os resíduos petroquímicos são os que mais causam problemas socioambientais graves, não só do Brasil como do mundo. A poluição ambiental por derivados de petróleo, óleos e graxas é um problema de escala mundial, a quantidade de resíduos oleosos gerados por indústrias de diversos ramos aumenta (FASANELLA, 2005).

Os materiais sólidos oleosos da indústria de petróleo, em sua maioria, são chamados tradicionalmente de borra oleosa, por suas características físico-químicas. A Norma N-2622 define borra oleosa como um resíduo constituído pela mistura de óleo, sólidos e água, com eventual presença de outros contaminantes, normalmente classificados como Classe I (resíduos perigosos) (PETROBRAS, 1998).

### **3.4 Óleos básicos**

O óleo básico é o principal constituinte do óleo lubrificante, podendo ser um derivado de petróleo obtido pelo processo de refino ou substâncias sintéticas geradas por reações químicas ou, até mesmo, óleos de origem vegetal. (MELO,2015)

#### **3.4.1 óleos básicos minerais**

Os óleos básicos minerais são derivados do petróleo e consistem principalmente em hidrocarbonetos parafínicos (alcanos) e naftênicos (cicloalcanos), com uma proporção menor de aromáticos. Esses óleos são produzidos a partir de gasóleos provenientes da destilação a vácuo ou de óleos desasfaltados, originados de petróleos específicos. A classificação desses óleos é feita com base no tipo de hidrocarboneto predominante, resultando na divisão entre óleos básicos parafínicos e óleos básicos naftênicos. (MELO,2015)

No entanto, essa classificação não é totalmente clara, pois os óleos básicos são fabricados levando em consideração a viscosidade, não a composição estrutural. Isso significa que esses óleos não são puros mas sim uma combinação desses diferentes tipos de hidrocarbonetos.

#### **3.4.2 óleos básicos sintéticos**

Os óleos básicos sintéticos são resultantes de reações químicas de síntese, caracterizando-se pela elevada pureza e propriedades químicas definidas. Suas vantagens em relação aos óleos minerais incluem boa estabilidade química, resistência significativa a temperaturas extremas, proteção contra oxidação, maior durabilidade e índice de viscosidade mais elevado. Contudo, é importante ressaltar que a principal desvantagem reside no custo, que pode ser substancialmente superior ao dos óleos minerais. Diversos tipos de óleos básicos sintéticos estão disponíveis, sendo abordados a seguir os principais.

Os oligômeros de olefina, também conhecidos como polialfaolefinas (PAOs), são hidrocarbonetos saturados formados através da polimerização de olefinas que contêm uma ligação dupla terminal, sendo os oligômeros do 1-deceno os mais prevalentes. Atualmente, os PAOs são as bases sintéticas mais empregadas na formulação de lubrificantes, destacando-se por apresentarem ponto de fluidez bastante reduzido, elevado índice de viscosidade e notável estabilidade térmica. A Figura 1 ilustra alguns exemplos desses oligômeros. (MELO,2015)

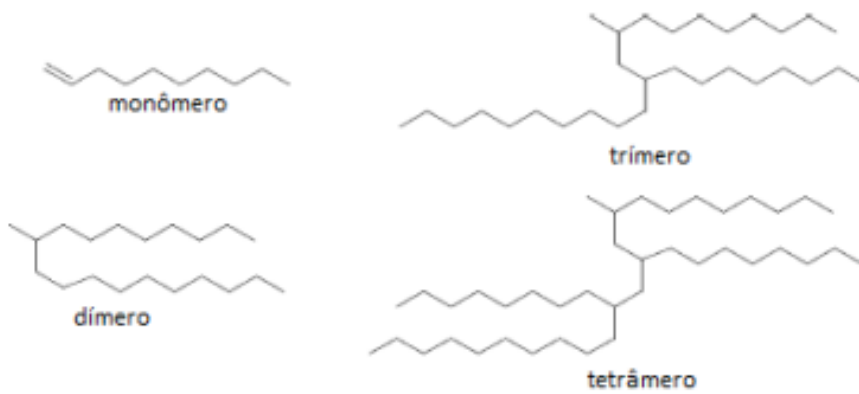


Figura 1: Oligômeros do 1-deceno

### 3.5 Óleos lubrificantes

A demanda mundial por óleos lubrificantes vem aumentando cada vez mais, isso se deve ao desenvolvimento industrial que proporcionou um aumento significativo no número de máquinas em circulação. Cada vez mais, a quantidade de veículos, como carros, motos e caminhões vem aumentando com o passar dos anos. Ressaltando que os óleos são usados a fim de garantir o bom funcionamento de motores em geral, não apenas de carros, sem que as máquinas sofram algum tipo de dano com o uso de óleos lubrificantes, ocorre a degradação dos aditivos, aparecimento de fuligem, contaminação com substâncias externas e oxidação, de modo que sua vida útil vai se esgotando e eles tenham que ser trocados (SILVEIRA *et al*, 2010).

É inegável como o óleo lubrificante desempenhou um papel fundamental na revolução industrial, pois permitiu que as máquinas funcionarem de maneira mais eficiente por um período de tempo maior. As máquinas movidas a vapor e a combustão, que vinham se tornando cada vez mais comuns na época, produziam muito atrito e calor, o que poderia causar desgaste prematuro e falhas. Por esse motivo, o óleo lubrificante foi utilizado para reduzir o atrito e dissipar o calor, prolongando a vida útil das máquinas e aumentando a eficiência. (MATOS, 2011).

Segundo informações do Site da Solução Três Irmãos (2023), o óleo lubrificante vem sendo usado há milhares de anos para reduzir o atrito e conseqüentemente aumentar a vida útil das máquinas. A princípio os óleos eram feitos de substâncias naturais, como sebo de animais, óleo de peixe e óleo de linhaça. É possível que o óleo lubrificante tenha sido criado pouco depois da invenção da roda. Povos antigos como os egípcios, gregos e romanos, já

utilizavam o óleo lubrificante vegetal e de animais nas rodas de carros, em mecanismos de máquinas e competições esportivas (GUEDES, 2017).

Séculos depois, os lubrificantes começaram a ser usados com mais frequência devido aos avanços no uso de máquinas e veículos movidos a vapor e combustão. No século 19, os cientistas começaram a desenvolver lubrificantes sintéticos utilizando petróleo e outras matérias-primas. Hoje, os lubrificantes são amplamente utilizados em muitos campos, como indústria, automóveis, aeronaves, navios, dentre outros (DE ALMEIDA, 2014).

Com o tempo, a modernização dos lubrificantes passou por diversas etapas. Desde a sua utilização no Egito, muitos estudos e técnicas foram desenvolvidos para chegar ao que se encontra no mercado hoje.

Na primeira metade do século 18, os lubrificantes eram produzidos a partir do petróleo e de outras matérias-primas naturais. Após a década de 1950, os óleos lubrificantes sintéticos foram estudados. Quando comparado com os óleos naturais, os lubrificantes sintéticos têm melhores propriedades, apresentam uma maior resistência ao calor e ao frio extremo e um melhor desempenho sob condições de alta pressão e alta velocidade (JULIÃO, 2011).

Nas décadas de 1950 e 1960, engenheiros desenvolveram óleos lubrificantes especiais para diversas aplicações, como motores de combustão interna, caixas de câmbio, sistemas de refrigeração e sistemas hidráulicos. Já em 1970, estudiosos começaram a desenvolver óleos lubrificantes biodegradáveis, que eram menos prejudiciais ao meio ambiente quando comparados com os lubrificantes convencionais. A partir do ano de 1990, os engenheiros começaram a desenvolver óleos lubrificantes de baixa viscosidade para melhorar a eficiência energética das máquinas (BELINELLI, 2015).

Atualmente, a pesquisa e desenvolvimento de óleos lubrificantes se concentra em óleos lubrificantes de alta performance, visando um melhor desempenho em condições extremas de temperatura e pressão, e óleos lubrificantes de baixa emissão e com menor impacto ambiental (JULIÃO, 2011).

Destaca-se que os óleos lubrificantes são derivados do petróleo, que é um recurso mineral não renovável, como o consumo de petróleo está aumentando cada vez mais, chegará um momento que as fontes se tornará inviável. sendo a obtenção de óleo lubrificante básico a partir do rerrefino será a única fonte. (SILVA, 2014). Devido a isso o processo de rerrefino de óleo lubrificantes vem ganhando cada vez mais destaque.

### **3.5.1 Lubrificantes Biodegradáveis**

Os óleos vegetais são compostos principalmente de triacilgliceróis com ácidos graxos insaturados. Os triacilgliceróis são compostos por três moléculas de ácido graxo unidas por



ligação éster a uma única molécula de glicerol. (RIZVI,2009) Os óleos vegetais apresentam outras vantagens de ser biodegradável, apresenta ainda uma excelente lubricidade, boa relação viscosidade- temperatura, baixa volatilidade, não são tóxicos e não são carcinogênicos. Mas como desvantagens, baixa estabilidade oxidativa e propriedades a baixa temperatura.

### **3.5.2 Aditivos para Lubrificantes**

Os aditivos são substâncias químicas utilizadas para melhorar as características do óleo básico, conferir novas propriedades a ele ou eliminar aquelas indesejáveis. Eles podem ser divididos em dois grupos: aqueles que modificam certas características físicas sendo constituído de materiais poliméricos e atuam como melhoradores do índice de viscosidade, abaixadores do ponto de fluidez e antiespumantes e o segundo tem efeito final de natureza química.( MELO,2015)

### **3.5.3 Classificação e Desempenho dos Óleos Lubrificantes**

Os óleos lubrificantes são classificados de acordo com sua viscosidade. No caso dos óleos industriais, a viscosidade cinemática é medida a 40 °C e a classificação é feita de acordo com o estabelecido pela International Organization for Standardization, ISO. Essa organização criou um padrão onde cada grau ISO representa o ponto médio de uma faixa de viscosidade cinemática a 40 °C, e as faixas mínima e máxima são exatamente 10% abaixo ou acima desse ponto. A Tabela 4 apresenta a classificação ISO para os óleos industriais.

### **3.6 Óleo lubrificante usado ou contaminado**

Um grande número de equipamentos motorizados como os automóveis, ônibus, caminhões, motocicletas, barcos, trens, aviões que tem os mais diversos fins de uso; todos têm algo em comum, todos eles dependem de lubrificação, em seus motores, para que funcione perfeitamente (APROMAC, 2007).

Os óleos lubrificantes podem ser minerais, sintéticos ou semissintéticos e, após um determinado período, fabricantes recomendam a troca, pois eles se deterioram sendo considerados resíduos perigosos (ABNT, 2004).

Os óleos lubrificantes sofrem processos de degradação devido ao tempo e às condições de utilização como as altas temperaturas, a força dos atritos e exposição à oxidação degradam diversas propriedades físico-químicas originárias dos óleos (TANG; LI, 2014).

De acordo com Willing, 2001 o Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC), é derivado do petróleo, sendo altamente tóxico e contendo aditivos químicos que causam impactos no meio ambiente, e levam aproximadamente 300 anos para se degradar na natureza, pois não possui característica biodegradável (WILLING, 2001). O OLUC que é classificado pela NBR 10004 como resíduo perigoso.

O óleo lubrificante usado é classificado como um resíduo perigoso de classe I por não se conhecer por completo a sua composição (ABNT, 2004). Por isso, os OLUC não devem ser depositados em aterros sanitários, devido ao seu alto risco de contaminação do solo e de águas superficiais e subterrâneas, além de se infiltrar de forma irrecuperável os demais resíduos.

Atualmente há diversos processos a fim de realizar processos de rerrefino de óleos usados, dentre elas encontra-se os processos ácido-argila, evaporação pelicular, torre ciclônica de destilação, desasfaltamento com extração por solvente, dentre outros. No geral esses processos, são constituídos por etapas de desidratação, destilação, desasfaltamento, tratamento químico, neutralização, extração por solventes, clarificação por argilas, ou combinações de algumas destas (ALMEIDA, 2011; LEITE, 2020).

Portanto, pode se perceber que nenhuma dessas técnicas tem vantagem absoluta sobre as outras, cada uma possui suas particularidades tanto vantagens e desvantagens, e para saber qual vai ser a melhor opção devem ser avaliadas caso a caso (LEITE, 2020)

A combustão e a incineração de óleo lubrificante usado ou contaminado são consideradas formas inadequadas de reciclagem ou de destinação. Sendo alternativa de “descarte” do OLUC ainda muito utilizada, porém esse processos liberam, altas concentrações de compostos tóxicos e cancerígenos, tais como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e dioxinas, na atmosfera ( MOHAMMED et al., 2013). Por essa periculosidade, toda a rede logística de descarte desse produto é muito onerosa (GONÇALVES, 2013).

Para Kipper (2021) quando se olha a logística reversa, o rerrefino do OLUC se destaca uma vez que o rerrefino está ligado a economia do recurso natural o petróleo e, à economia de energia nos processos, assim reduzindo a contaminação ambiental pelo descarte inadequado e ilegal do OLUC.

Perante tudo que foi citado, os processos de rerrefino de óleos lubrificantes usados surgem como uma solução para a problemática supracitada, visto que o próprio óleo lubrificante usado é utilizado como a matéria prima para a obtenção de novos óleos básicos, entrando em ciclo de logística reversa. (SILVA, 2014).

### **3.6.1 Rerrefino e legislação**

O processo de rerrefino permite a recuperação da substância lubrificante básica e de outros subprodutos comercializáveis, permitindo a reutilização de recursos fósseis não renováveis e eliminando esta fonte de poluição (BRIDJANIAN; SATTARIN, 2006). Para que isso ocorra, a Logística Reversa deve ser empregada. A logística reversa é fundamental para a gestão de resíduos perigosos, isso é feito de forma a facilitar a reutilização de seus componentes ou um descarte mais adequado (VIEIRA; SOARES, L. R.; SOARES, T. O. R., 2009)

Os órgãos reguladores das atividades de rerrefino e ambientais, como a ANP e o Ministério Nacional do Meio Ambiente, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA com o intuito de diminuir esses impactos que o OLUC pode causar, tais como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, determinaram as condições legais para a destinação final dos resíduos. Posteriormente, foi introduzida legislação para que os resíduos de óleo lubrificante tivessem a destinação correta e o OLUC pudesse ser rerrefinado (FÉLICIO, 2012).

A Lei Federal n. 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, enfatiza que são obrigados a estruturar e implementar sistemas de Logística Reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens (BRASIL, 2010). Para uma estruturação da Logística Reversa aplicada aos óleos lubrificantes, é necessário que haja um conhecimento de suas vertentes, potencialidades e desafios. O conhecimento estruturado de como ocorre esse processo, seus atores envolvidos, suas características e fatores impulsionadores que necessitam estar intimamente conectados, se faz importante para a correta implementação da Logística Reversa.

### 3.6.1.1 Etapas do rerrefino

O óleo que já foi utilizado é encaminhado para o processo de rerrefino. Processo esse que consiste em retirar os contaminantes do óleo lubrificante usado e transformá-lo em óleo lubrificante básico, o produto do processo de rerrefino óleo lubrificante básico rerrefinado não influencia na qualidade final do óleo acabado, pois cada fabricante adiciona aditivos a fim de compor o seu óleo lubrificante fino (FELÍCIO, 2012). Segundo Gonçalves (2013) dentro do processo de rerrefino de óleos lubrificantes usados, encontram-se as seguintes etapas:

- 1- **Recebimento e Filtração:** O OLUC chega a indústria e é retirado uma amostra, deste OLUC para que o setor de controle de qualidade o analise, caso ele esteja de acordo com os padrões aceitos pela empresa o óleo é armazenado em tanques reservatórios. Até entrar no processo de rerrefino;
- 2- **Pré destilação:** é o início do processo que o OLUC vai passar, nessa etapa ele é aquecido até 250°C sob vácuo para a retirada de água e remoção dos compostos orgânicos de cadeias carbônicas de baixo peso molecular.
- 3- **Evaporação total:** ou desasfaltamento, etapa na qual o óleo lubrificante proveniente da etapa anterior de pré-destilação é encaminhado para evaporação total. Nesse processo o óleo é aquecido até 360° C, ocorrendo a separação asfáltica do betume e a remoção do restante de óleos combustíveis presentes
- 4- **Tratamento físico-químico:** o óleo procedente do processo anterior ainda possui alguns contaminantes, sendo necessária a adição de ácido sulfúrico, um agente floculante, que promove a aglomeração dos compostos oxidados que posteriormente decantam, sendo nesta etapa a formação de uma borra ácida.
- 5- **Clarificação:** O óleo lubrificante vindo do tratamento anterior passará por um sistema de clarificação, em que recebe a adição de agente clarificante, o agente clarificante usado na indústria é a argila. Nesta etapa ocorre a absorção das partículas que dão a coloração ao óleo, há a adição de cal para que corrija a acidez do óleo. A temperatura de todo o processo fica em torno de 150 °C.
- 6- **Filtração:** O óleo misturado ao agente clarificante passa por um sistema de filtros prensa para a retirada dos resíduos. Tendo ao final o óleo rerrefinado

7- **Gestão de resíduos:** o betume gerado na etapa de evaporação total é vendido para empresas de fabricação de asfalto, e o resíduo sólido proveniente da adição de cal é vendido para a indústria de manta asfáltica e cimenteiras. Todos os resíduos industriais gerados pela indústria podem ser enviados para unidades de coprocessamento e o tratamento de efluentes industriais deve ser feito de acordo com as diretrizes pertinentes.

A Figura 1 representa um esquema simplificado das etapas mencionadas anteriormente.

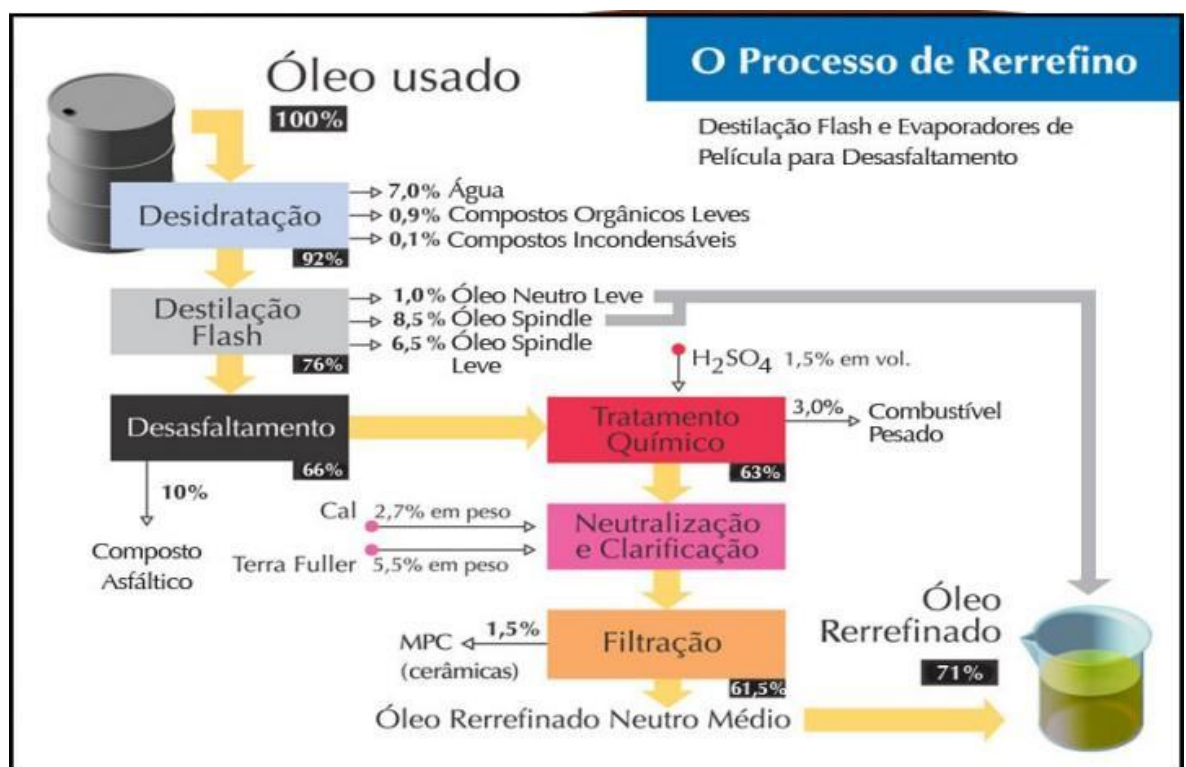


Figura 2: Esquema de etapas do rerrefino (Ministério do Meio Ambiente, 2008).

### 3.7 Empresa Proluminas Lubrificantes

A empresa Proluminas Lubrificantes, que foi fundada em 1987 tem como seu principal objetivo a atividade de coleta de óleos lubrificantes usados e o seu rerrefino. A fim de preservar as reservas de petróleo brasileiro e o meio ambiente. A matriz da empresa se encontra em Varginha e possui mais 5 unidades espalhadas pelo Brasil, sendo a primeira rerrefinaria no Brasil a obter as s certificações ISO 9001 e ISO 14001, desde 2004 e 2013,

reafirmando seu compromisso com a qualidade e o meio ambiente, e serem os pioneiros no encaminhamento de resíduos oriundos do processo para o coprocessamento em fornos de cimenteiras, evitando a geração de passivos ambientais (PROLUMINAS, 2023).

São mais de 35 anos de investimento permanente em pesquisas e tecnologia no rerrefino de óleos lubrificantes, buscando e qualificando profissionais e equipamentos para garantir a produção do mais puro óleo, devidamente adequado aos mais exigentes padrões de qualidade (PROLUMINAS, 2023).

O rerrefino de óleos lubrificantes usados ou contaminados evita um grande prejuízo ambiental. Por não ser biodegradável, este resíduo leva dezenas de anos para desaparecer do ambiente. Além de causar grande poluição, se descartado de forma errada. A Proluminas evita este dano ambiental, fazendo a sua parte para a preservação do meio ambiente ao realizar a logística reversa, conforme o ciclo do óleo.

Uma empresa que preza por sua responsabilidade social e preocupada com o meio ambiente busca conhecer e entender melhor sobre o resíduo gerado dentro do seu processo industrial. O resíduo de estudo é gerado nas fornalhas, onde ocorre a queima do óleo combustível, este óleo combustível é gerado na etapa de destilação, já descrita acima. O óleo combustível é usado como combustível para as fornalhas, gerando energia no processo. Ao ser queimado se torna um pó cinza e fino que é o nosso resíduo de estudo. Sempre buscando por melhorias contínuas, priorizando o bem-estar de todos a sua volta observou esse volume de resíduos e reafirmando o seu compromisso com o meio ambiente, busca uma maneira de descartá-lo, ou utilizar esse resíduo em um algum processo para que o meio ambiente não sofra negligência

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Obtenção do Resíduo

O resíduo foi gentilmente cedido pela Proluminas Lubrificantes. Antes da realização das caracterizações o resíduo foi seco em estufa a 120 °C por 24 horas. O resíduo cedido pela empresa Proluminas, se encontra em estado físico sólido, com característica de um pó fino, de coloração cinza claro, conforme a imagem da Figura 2.



Figura 3 - Imagem fotográfica do resíduo da Proluminas

### 4.2 Caracterização

#### 4.2.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A avaliação da morfologia da amostra foi realizada por microscopia eletrônica de varredura. As imagens foram obtidas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural do Departamento de Fitopatologia da UFLA em um equipamento LEO EVO 40 XVP com sistemas de microanálise de raios X da Bruker (Quantax EDS). As amostras foram depositadas em um porta amostras contendo fita de carbono e cobertas com 5 nm de filme de carbono, e realizado o mapeamento dos elementos.

#### **4.2.2 Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier no modo refletância total atenuada (FTIR – ATR)**

Os grupos funcionais foram avaliados por espectroscopia de infravermelho, usando a técnica de ATR. Os espectros foram registrados em um espectrofotômetro Varian-660 IR, Pike com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  com faixa espectral de  $400 - 4400\text{ cm}^{-1}$  e 16 scans, na Central de Análises e Prospecção Química do Departamento de Química da UFLA.

#### **4.2.3 Fluorescência de raios – X portátil (pXRF)**

A fluorescência de raios-X se trata de uma técnica para identificação completa e quantificação elementar em amostras sólidas, líquidas ou pó. A análise por fluorescência de raios-X foi feita em um equipamento portátil Bruker, modelo tracer 5g com tubo de Rh, 5-50kV, 4,5-195  $\mu\text{A}$  no Departamento de Ciência do Solos da UFLA.

#### **4.2.4 Difração de raios – X (DRX)**

A determinação da estrutura cristalina dos materiais foi realizada pela Embrapa Instrumentação - São Carlos - SP, em um difratômetro da Shimadzu, modelo XRD-7000. A radiação utilizada foi  $\text{Cu K}\alpha$  ( $1,5406\text{ \AA}$ ), corrente de 30 mA e tensão de 30 kV.

#### **4.2.5 Análise termogravimétrica (TG)**

A análise termogravimétrica é uma técnica destrutiva no ramo de análises térmicas, na qual se monitora a variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas. A análise foi realizada em atmosfera oxidante (ar sintético) e inerte ( $\text{N}_2$ ) a uma taxa de aquecimento de  $10\text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ , partindo da temperatura de  $22-25^\circ\text{C}$  até  $900\text{ }^\circ\text{C}$ , em um equipamento Mettler Toledo TGA/DSC1 da Shimadzu. As análises foram realizadas nos Laboratórios do Centro de Análise e Prospecção Química - CAPQ da UFLA.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo cedido pela empresa Proluminas, se encontra em estado físico sólido, com característica de um pó fino, de coloração cinza claro (Figura 2).



Figura 4 - Imagem fotográfica do resíduo da Proluminas

### 5.1 Fluorescência de raios – X (FRX)

Fluorescência de Raios-X consiste em uma técnica não destrutiva que permite a identificação da composição e concentração de elementos presentes em uma amostra. Esta técnica incide raios-X para excitar os níveis eletrônicos de átomos de uma amostra. Na amostra da Proluminas foi possível observar a grande concentração de silício, seguido de alumínio e cálcio (Tabela 1). Mas o elemento que realmente se destaca é o silício que está presente em maior quantidade na amostra em relação aos demais elementos químicos.

**Tabela 1** : Resultado obtido por FRX para a amostra de resíduo da Proluminas.

<b>Elementos</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>SD</b>
Si	36,2	$\pm 0.1$
Al	1,83	$\pm 0.06$
Ca	1,12	$\pm 0.01$
Fe	0,78	$\pm 0.01$
Zn	0,411	$\pm 0.005$
P	0,31	$\pm 0.01$
Pb	0.063	$\pm 0.004$

## **5.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

A MEV é uma técnica de obtenção de imagens da microestrutura e morfologia dos materiais. Um feixe de elétrons de baixa energia é incidido sobre o material e percorre a superfície, onde ocorrem diferentes interações entre o feixe de elétrons e o material, que leva à emissão de fótons e elétrons da superfície (GARBACZ, 2019).

As imagens de microscopia eletrônica de varredura (Figura 3) ilustram a morfologia do resíduo. O resíduo apresenta aglomerados de partículas com tamanho e formato variados, com superfície irregular. A Figura 3B mostra com mais detalhe a aglomeração e a agregação das partículas menores para compor partículas maiores de formato irregular.

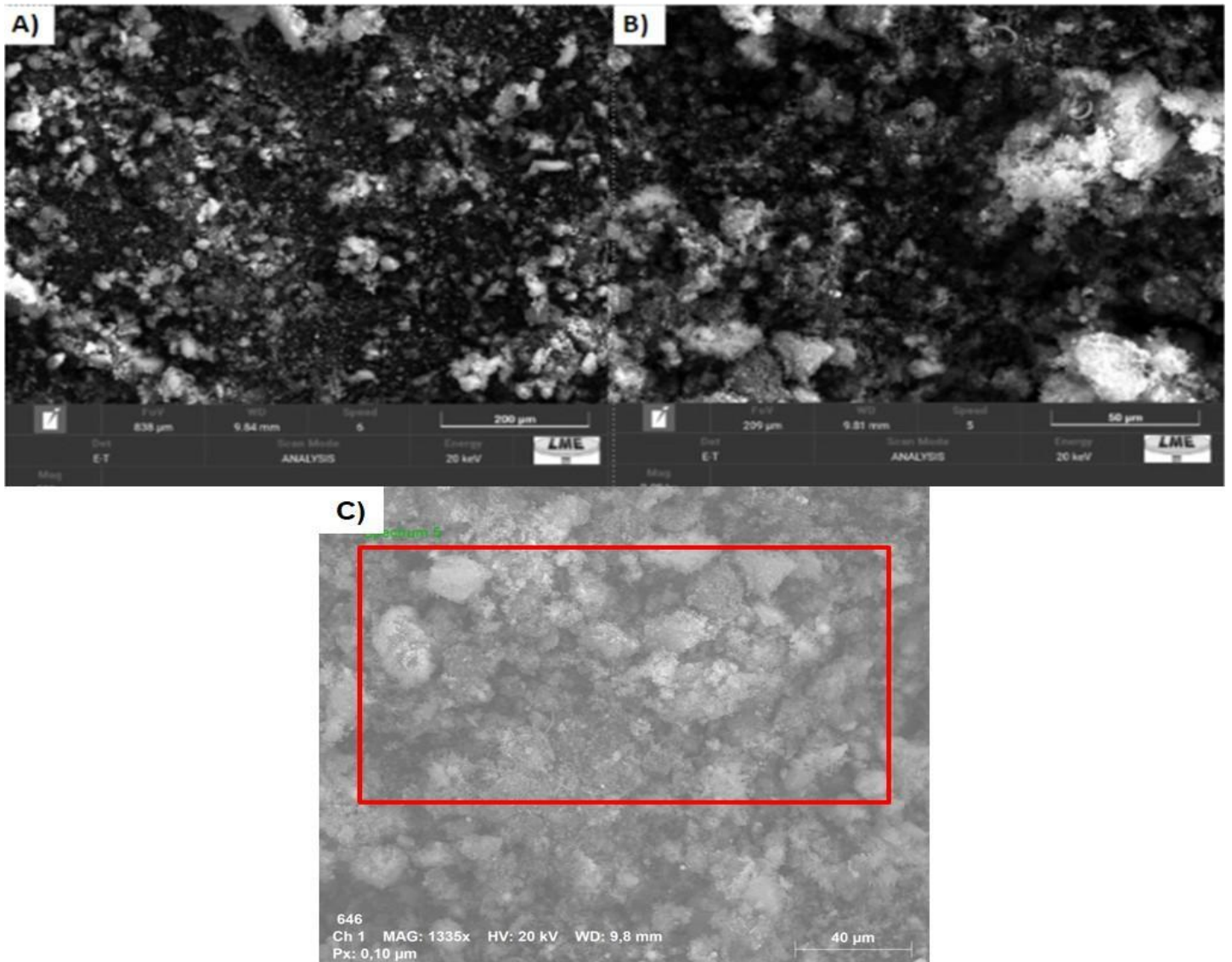


Figura 5: Imagens de MEV (A e B) e EDS (C) para o resíduo com as seguintes ampliações (A) 500x e B) 2000x

Nota-se que a Figura 4 apresenta um sinal muito intenso em relação ao silício e oxigênio, mostrando que estes dois elementos químicos estão presentes em maiores quantidades no resíduo, além da presença de ferro, sódio e fósforo em menores quantidades. A Tabela 2 apresenta os resultados semi quantitativos obtidos por EDS para os teores desses elementos presentes no resíduo.

O gráfico de EDS obtido a partir da Figura 3C é apresentado na Figura 4.

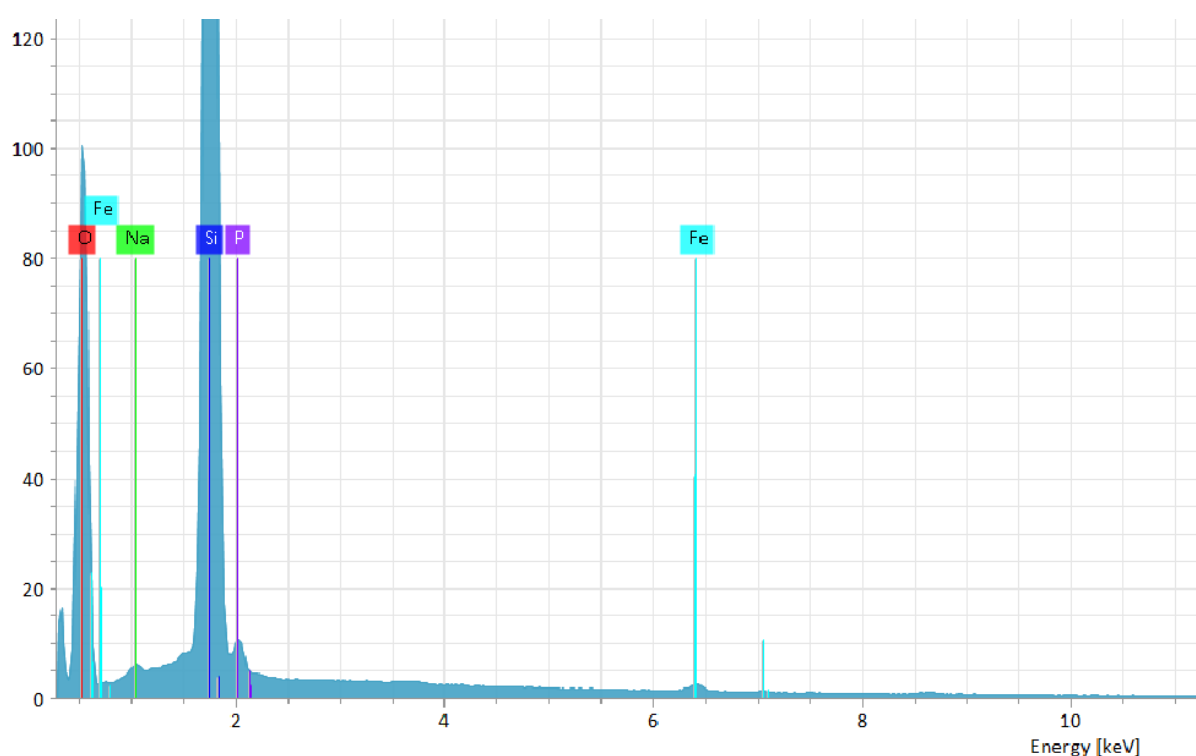


Figura 6: Espectro da Análise de EDS do resíduo da Proluminas

**Tabela 2.** Porcentagens atômicas obtidas por EDS para a amostra de resíduo analisada.

Emento identificado	Porcentagem na amostra
Oxigênio	66,6
Silício	31,2
Fósforo	1,2
Sódio	0,6
Ferro	0,4

Nota-se que o teor de silício (31,2%) é muito semelhante àquele obtido por FRX (36,2%), indicando que a amostra realmente é rica em SiO<sub>2</sub>. Nota-se também que o teor de oxigênio é aproximadamente o dobro do teor de silício, o que corrobora com a presença do óxido de silício.

O potássio e o sódio estão presentes como impureza em mínima quantidade, proveniente de uma contaminação por líquido de arrefecimento que é o responsável por manter uma temperatura ideal para que o motor trabalhe com eficiência. O ferro pode estar presente devido aos descartes das peças dos motores (MMTEC,2023).

### **5.3 Espectroscopia na região do Infravermelho (FTIR)**

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho foi aplicada na tentativa de revelar a presença de grupos funcionais na superfície do material. O espectro evidencia alguns grupos funcionais.

Ao se estudar os grupos funcionais presentes no resíduo, a análise de FTIR corrobora com aqueles obtidos por FRX e EDS, uma vez que bandas características de ligação siloxano são evidentes na Figura 5, sugerindo a presença de SiO<sub>2</sub>. No espectro a banda estreita é bem intensa entre 1050 e 1100 cm<sup>-1</sup> referente à vibração da ligação siloxano (Si-O-Si), além de uma banda de absorção em 460 cm<sup>-1</sup>, também relacionada à ligação Si-O. Resultados semelhantes foram observados por Guisto (2015) e Mourhly et al., (2015) quando cinza do bagaço de cana-de-açúcar e sílica amorfa extraída de pedras pomes foram analisadas por FTIR.

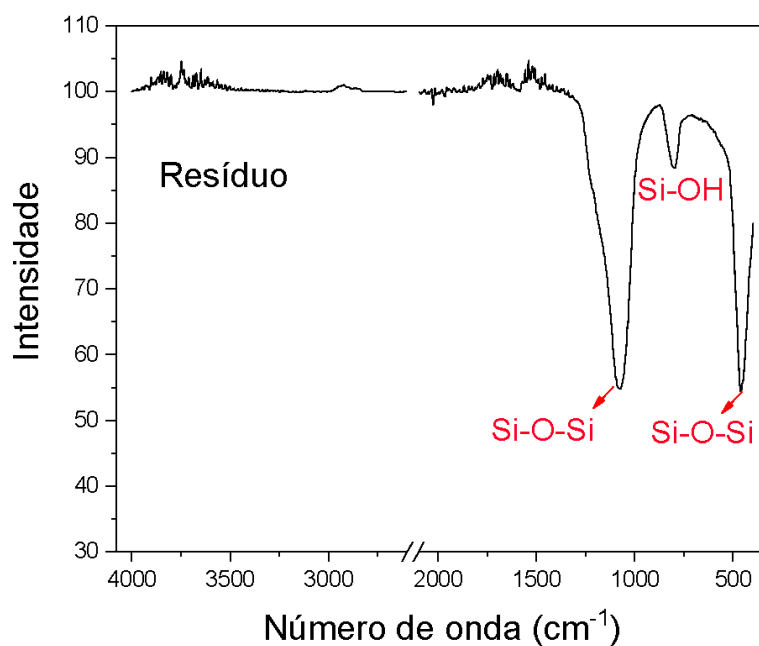


Figura 7: Espectro da Análise de infravermelho do resíduo da Proluminas

#### 5.4 Difração de raios – X (DRX)

A composição do material estudado foi investigada por difração de raios-X. O difratograma do resíduo está apresentado na Figura 6. Nota-se no difratograma um sinal largo centrado em 22 graus e um segundo, porém muito discreto em 35,5°, característicos de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Estes sinais correspondem aos planos (111) e (220) do  $\text{SiO}_2$ . O sinal alargado entre 10 e 35 graus, mostra que o  $\text{SiO}_2$  possui perfil amorfo. Este resultado é muito similar ao obtido por Mourhly et al. (2015), o qual caracterizou sílica amorfa extraída de pedras pomes. A ausência de outros sinais, indicam que a amostra do resíduo é rica em  $\text{SiO}_2$ , o que corrobora com os resultados de FRX, EDS e FTIR, apresentados anteriormente.

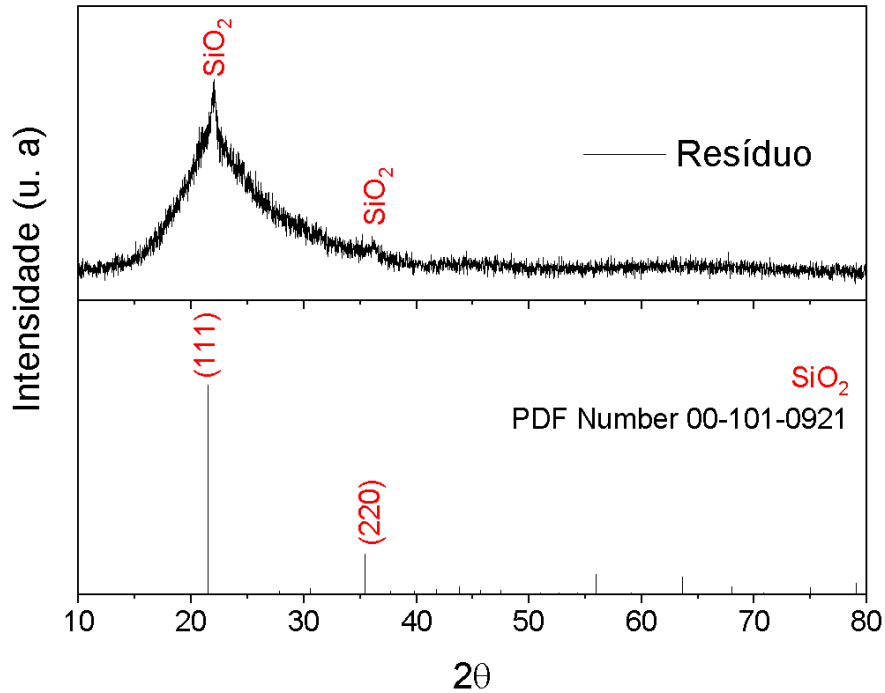


Figura 8: Espectro da Análise do resíduo da Proluminas

### 5.5 Análise termogravimétrica (TG)

Nos resultados da análise termogravimétrica (Fig.7A e B ), foi possível verificar a alta estabilidade do resíduo nas variações de temperatura, não ocorrendo nenhum evento significativo de perda de massa, o que está relacionado com a estabilidade do óxido de silício. Pode-se perceber que mesmo na mudança de atmosfera oxidante (ar sintético) e inerte (N<sub>2</sub>) não há grandes variações. Os resultados obtidos por DTA apresentam um evento endotérmico no início do aquecimento, indicando a perda de umidade na amostra. Um segundo evento endotérmico, que inicia em aproximadamente a 250 graus e termina próximo à 650 graus, pode estar relacionado com a perda de grupos funcionais presentes na superfície do resíduo. Também é importante ressaltar que o resíduo foi gerado a partir da queima do óleo combustível, o que ocorre a altas temperaturas (1000° C) e por isso o resíduo obtido apresenta tal estabilidade térmica.

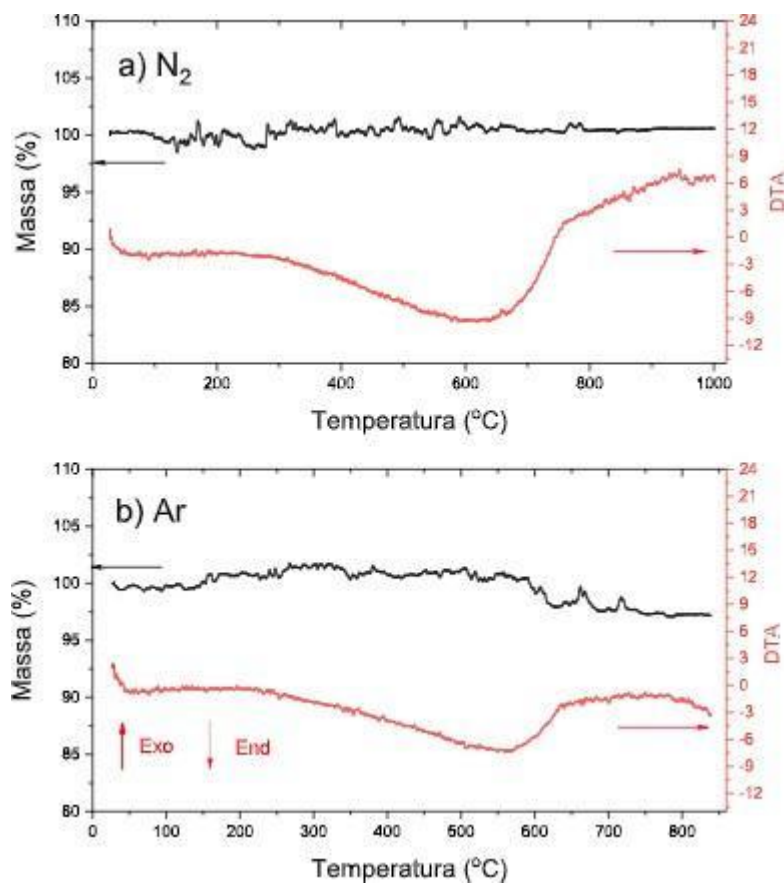


Figura 9: Termograma da Análise do resíduo da Proluminas

## 6. PRESENÇA DE ÓXIDO DE SILÍCIO

Após análises dos resultados é possível concluir que o resíduo é rico em óxido de silício amorfo. Este óxido é o principal constituinte das cinzas geradas durante a queima do óleo combustível proveniente do OLUC, que é rico em matéria orgânica. Segundo algumas análises de caracterização do óleo pela Proluminas, o mesmo possui baixo teor de silício (2 a 34 mgL<sup>-1</sup>). Este elemento pode aparecer nos óleos lubrificantes por motivos internos ou externos. Um dos motivos externos mais simples para a presença de silício no OLUC é sujeira comum de poeira de estrada, cinzas de usinas a carvão, as poeiras que ficam em suspensão nas fábricas de cimentos, entre outras. Esses podem ser os principais provedores do SiO<sub>2</sub> em resíduos de óleos lubrificantes, sendo essas as principais razões externas.

As razões internas são de peças utilizadas no próprio motor como os vedantes de silicone, graxas que tem em sua composição silicone, a sílica de selos mecânicos, gel de sílica



de respiradores, os próprios lubrificantes ou compostos secos de silicone, ou componentes que foram ligados a carbonetos de silício a fim de aumentar a dureza ou características de expansão térmica. Aditivos antiespumante alguns óleos contêm deformantes com base de silicone. Outra condição que pode fazer elevar a presença de sílica no OLUC, é que algumas peças de motores são feitas em fundições e as fundições usam moldes feitos de areia, que contém óxidos de silício. Os desgastes das peças causadas pelo atrito pode liberar quantidades desses óxidos para os óleos (MMTEC,2023).

Estudos permitem determinar qual a causa dos elevados níveis de alguns elementos químicos presentes no OLUC por exemplo: quando há uma elevada concentração de alumínio, chumbo, cobre e cromo está demonstrando que há um desgaste do equipamento ou motor. Se durante as análises estiverem elevadas concentrações de silício, alumínio, sódio e potássio está indicando que há uma contaminação externa por poeira (MMTEC,2023).

No geral é possível perceber que para o funcionamento de um motor há muitos componentes que possuem um pouco de silício, porém a rua traz fortemente o silício na forma de sujeira. Quando se analisam os resultados, percebe-se que o excesso de silício e alumínio são altos e isso pode indicar uma contaminação externa com sujeiras provenientes das ruas.

## **7. POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O SiO<sub>2</sub>**

O silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre. Os silicatos correspondem a 60% de todo o silício presente na Terra. O composto dióxido de silício, SiO<sub>2</sub>, é denominado de sílica e pode ser cristalina ou amorfa.

A sílica pode ser modificada para ampliar sua aplicação, pois este material permite a obtenção de compostos de maior versatilidade e com propriedades específicas, relacionadas às espécies ligadas à sua superfície. Entre suas diversas aplicações pode-se destacar a capacidade de troca catiônica, adsorção de contaminantes, suporte para catalisadores, produção de sensores eletroquímicos, aditivos para indústria de cimento sendo matéria-prima para indústria civil em especial pela sua capacidade de dar resistência, fluidez e durabilidade ao concreto, entre outras. Sendo assim, o resíduo gerado pela Proluminas Lubrificantes, pode ter diferentes aplicações, o que faz deste material, uma matéria prima para outros setores (Maourhly, et al., 2015). A possibilidade de outras aplicações, contribui para a

sustentabilidade, economia circular e alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU.

### **7.1 Sugestões De Trabalhos Futuros**

Tendo em vista os resultados obtidos neste estudo e sabendo como o dióxido de silício pode ser usado para diversas áreas, pretende-se realizar estudos futuros visando encontrar uma aplicação para esse resíduo. Sendo assim, em uma próxima etapa deste trabalho, o resíduo será testado como adsorvente para remoção de contaminantes orgânicos presentes em meio aquoso e também para obtenção de geopolímeros. Geopolímeros são uma nova classe de ligantes inorgânicos que possuem alta resistência mecânica, inércia química e podem ser fabricados a partir de uma série de subprodutos da indústria.

## **8. CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos pela caracterização do resíduo do rerrefino de óleos lubrificantes mostraram que o mesmo é rico em sílica amorfa, que se apresenta na forma de um pó fino e leve. Suas características físicas e composição sugerem que este material se assemelha às cinzas volantes ou cinzas de combustível pulverizadas, que são materiais finamente pulverizados e ricos em  $\text{SiO}_2$  amorfo. Sendo assim, este resíduo pode ter grande potencial para ser aplicado na produção de cimento Portland e geopolímeros. Desta forma, pode-se dizer que o resíduo gerado pela Proluminas Lubrificantes, possivelmente pode ser utilizado para obtenção de outros materiais, o que o torna uma importante matéria-prima para outros setores da indústria.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10004: **resíduos sólidos – classificação**, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[Microsoft Word - 10004.doc \(ufsc.br\)](#)>.

COMPER, I. **Caracterização e Desafios da Logística Reversa de Óleos Lubrificantes**. Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus. 2016. Disponível em: <[Caracterização e Desafios da Logística Reversa de Óleos Lubrificantes | Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade \(unb.br\)](#)> .

GARBACZ, H.; Kro, A. **Corrosion Resistance of Nanocrystalline Titanium**. Nanocrystalline Titanium. Elsevier. 2019. 145-193.

LAVEZZO, C. **Aquecimento Global**. *Revista Eletrônica Gestão Em Foco*, UNIFIA Amparo, 2016. Disponível em: <[013\\_sustentabilidade.pdf \(unisepe.com.br\)](#)> .

MATOS, P. R. R. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) -Universidade de Brasília, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, 2011.

ALMEIDA, R. A. DE; **Estudo da recuperação de óleos minerais usados usando solventes polares**. 83p. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande. 2011.

APROMAC. Associação De Proteção Ao Meio Ambiente De Cianorte. **Guia Básico: gerenciamento de óleos lubrificantes usados ou contaminados**. Portaria MMA n. 31, de 23 de fevereiro de 2007.

BELINELLI, M. M. Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria

**alimentícia.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação)-Escola Politécnica, São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-15072016-162939/pt-br.php>> .

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 02 ago. 2010. Disponível em: <[L12305 \(planalto.gov.br\)](http://www.planalto.gov.br)> .

BRIDJANIAN, H.; SATTARIN, M. **Modern Recovery Methods in Used oil Re-Refining.** Petroleum & Coal. n. 48, v. 1, p. 40-43, 2006. Disponível em: <[\[Pdf\] Modern Recovery Methods In Used Oil Re-Refining | Semantic Scholar](#)> .

DE ALMEIDA, P. S. **Lubrificação Industriais Tipos e métodos de lubrificação .** Saraiva Educação AS, 2014.

DE BRITO, M. P. **Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management?** Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2004 Disponível em: < ([PDF](#)) [Managing reverse logistics or reversing logistics management? / \(researchgate.net\)](#)>.

DÉCIO. L. D. **Gerenciamento Ambiental De Fluidos De Corte Em Indústrias Metal-Mecânicas.** Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2001 .

DINIZ, M. O Urbanismo Sustentável Sob A Óptica Da Caminhabilidade: O Pedestre Em Foco. 6Simposio de sustentabilidade, 2018 Acesso em < [5b45ebe4116f7.pdf \(fag.edu.br\)](#)>.

FASANELLA, C. C. **Produção de biosurfactantes em quatro linhagens fúngicas com potencial para futuro processo de biorremediação em derramamentos de petróleo provenientes de refinarias.** 2005, 59f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas). Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos, São João da Boa Vista (SP). Disponível em: <<https://revistaea.org/artigo.php?idartigo=1439>>.

FELICIO, R. S. Avaliação De Impactos Ambientais Do Processo De Rerrefino De Óleo Lubrificante Usado Visando A Implantação De Um Sistema De Gestão Ambiental. Belo Horizonte. 2012. Disponível em <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-93RNSD/1/monografia\\_oficial\\_rosilene\\_aparecida\\_fel\\_cio.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-93RNSD/1/monografia_oficial_rosilene_aparecida_fel_cio.pdf)> .

FERNANDES, G. B., Pimenta, R. A., & de Moura, R. V. (2019). **Logística reversa pós-venda: Uma análise dos recalls no setor automobilístico brasileiro**. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/log%C3%ADstica-reversa-p%C3%B3s-venda-assist%C3%A2ncia-t%C3%A9cnica-e-recall-barretto#:~:text=A%20log%C3%ADstica%20reversa%20no%20p%C3%B3s,assist%C3%A2ncia%20t%C3%A9cnica%20e%20ao%20recall.>> .

GARBACZ, H.; Kro, A. Corrosion Resistance of Nanocrystalline Titanium. Nanocrystalline Titanium. Elsevier. 2019. 145-193.

GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, Cecília M.V.B.; BONILLA, Sílvia H. A ecologia industrial dentro do contexto empresarial. 2007. Disponível em: <[2007\\_Banas\\_ecoindlemp.pdf\(usp.br\)](2007_Banas_ecoindlemp.pdf(usp.br))> .

GIUSTO. L. R. **Esponja De Poli(Dimetilsiloxano) Funcionalizada Com Grupo Amino Para Adsorção De Metais Em Meio Aquoso**. Universidade Federal De Alfenas – UNIFAL – MG . 2019. Disponível em: <<https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/bitstream/tede/1637/5/Tese%20de%20Luana%20Aparecida%20dos%20Reis%20Giusto.pdf>> .

GONÇALVES, R. **Coleta e Rerrefino do óleo Lubrificante Usado: capacitação de agentes públicos**. Iv Congresso Brasileiro De Gestão Ambiental, novembro de 2013, Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/III-036.pdf>> .

GONZAGA, N. **Gerenciamento De Resíduos Do Óleo Lubrificante: Uma Revisão Sistemática Da Literatura**. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. 2021 ISSN: 1981-982X Disponível em: [Lubricant Oil Waste Management: A Systematic Literature Review | Revista de Gestão Social e Ambiental \(emnuvens.com.br\)](https://www.emnuvens.com.br) > .

GUEDES, A. E. D. S. **Síntese e caracterização de nanopartículas superparamagnéticas para aditivação de lubrificantes industriais.** 2017. 163f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) -Centro deTecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/2436>> .

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DA USP, ET AL.; **O que são resíduos?.** Conversão para ensino médio, 2012. Disponível em:  
<[http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/lixo\\_residuos.htm#:~:text=Res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20e%20l%C3%ADquidos%20podem,materiais%20como%20o%20pl%C3%A1stico%20%20](http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/lixo_residuos.htm#:~:text=Res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20e%20l%C3%ADquidos%20podem,materiais%20como%20o%20pl%C3%A1stico%20%20)> .

JULIÃO, J. C. Estudo comparativo de óleos lubrificantes básicos minerais. Revista da Graduação, v.4, n. 2, 2011.

KIPPER, A.. Logística reversa do óleo lubrificante usado é destaque. Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas que teve sua 26ª edição. Glasgow- Escócia. 2021.

LEITE, D. L. G.. **Estudo e análise do processo de rerrefino de óleo lubrificante usado - Campina Grande.** 2020 Disponível em: <[Estudo e análise do processo de rerrefino de óleo lubrificante usado. \(ufcg.edu.br\)](#)>.

LIONELLO,C. L. **Resíduos oleosos da indústria de óleo e gás: uma revisão dos tratamentos térmicos por micro-ondas.** Rio de Janeiro, 2018 Disponível em: <[Microsoft Word - Cristiane Lopes Lionello \(uerj.br\)](#)> .

MARIUZZO, P. **Gestão De Resíduos É Um Dos Grandes Desafios Das Metrópoles.** PUC/ Campinas, 2020. Disponível em:<<https://www.puc-campinas.edu.br/gestao-de-residuos-e-um-dos-grandes-desafios-das-metropoles/>> .

MARTINE, G. & Alves, J. E. D. **Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?**. Revista brasileira de estudos de população. 32(3), 433-460.(2015).MMTEC. Inspeções industriais, **O Que Devo Fazer Após Receber O Relatório Da Análise De Óleo?** Disponível em:

<<https://www.mmtec.com.br/relatorio-da-analise-de-oleo/#:~:text=Ao%20identificar%20uma%20alta%20concentra%C3%A7%C3%A3o,uma%20contamina%C3%A7%C3%A3o%20externa%20por%20poeira>> .

MELO. M, S. **Avaliação da Qualidade dos Óleos Básicos Rerrefinados Brasileiros e a Determinação de Metais por Espectrometria de Fluorescência de Raios X**. Universidade de Brasília Instituto de Química. Brasília , 2015

MOURHLY. A. **The Synthesis and Characterization of Low-cost Mesoporous Silica SiO<sub>2</sub> from Local Pumice Rock**. Nanomater Nanotechnol, 2015, 5:35 | doi: 10.5772/62033.

MOHAMMED. R. R. et al. **Waste lubricate oil treatment by extraction and adsorption**. Chemical Engineering Journal. V. 220, p. 343 -351, 2013.Disponível em: <[www.lubrificantes.net](http://www.lubrificantes.net)>.

ORTEGA, T, C, B. **Logística Reversa O Rerrefino Do Óleo Lubrificante**. Centro Estadual De Educação Tecnológica Paula Souza, LINS/SP 2014. Disponível em:<<https://docs.google.com/document/d/1j6V4PWJaLJp9HCohuSLbxqbbStlENz28HLjNMdkHH0/edit>> .

PETROBRAS - Petróleo Brasileiro Sa. **N-2622: Classificação, armazenamento temporário, transporte, tratamento e disposição de resíduos sólidos oleosos**. Rio de Janeiro.1998.

PRADO, A.G. S. **Química Verde, Os Desafios Da Química Do Novo Milênio**. Quim. Nova, Vol. 26, No. 5, 738-744, 2003

PROLUMINAS.2023 **Quem somos**. Disponível em: <<https://proluminas.com.br/quem-somos/>>.

Rizvi, S. Q. A. **A Comprehensive Review et Lubricant Chemistry, Technology, Selection, and Design**. ASTM: West Conshohocken, 2009.



SANTOS, V. S. **Danos causados por vazamento de petróleo nos oceanos.**Mundo Educação.2021Disponível em:<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/danos-causados-por-vazamentos-petroleo-nos-oceanos.htm>> .

SEM AUTOR: **A História Do Óleo Lubrificante.**Três irmãos Soluções em logística e abastecimento. Disponível em: < [Três Irmãos \(solucaotresirmaos.com.br\)](https://www.solucaotresirmaos.com.br) >.

SILVA, M. A. et al. **Avaliação do gerenciamento de resíduos de óleos lubrificantes e suas embalagens em oficinas mecânicas da cidade de Pombal – PB.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. P. 53-58, 2014. Disponível <[Avaliação do gerenciamento de resíduos de óleos lubrificantes e suas embalagens em oficinas mecânicas da cidade de Pombal – PB, Brasil | Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável \(gvaa.com.br\)](http://gvaa.com.br)> .

SILVEIRA, E. L. C et al. **Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando as faas.** Química Nova, v. 33, n. 9, p. 1863-1867, 2010.

SILVEIRA. E. L .E.L.C. et al. **Determinação de contaminantes em óleos lubrificantes usados e em esgotos contaminados por esses lubrificantes.** Química Nova. V.29, n°6. p 1193 – 1197. 2006.

SZIGETHY, L. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** IPEA Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade, 2021. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>> .

TANG, Z.; LI, S. **A review of recent developments of friction modifiers for liquid lubricants,** 2007. Current opinion in solid state and materials science. n. 18, p. 119-139, 2014 Disponível em: < [A review of recent developments of friction modifiers for liquid lubricants \(2007–present\) - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.cossms.2014.05.001)>.

TREVISAN, R. **Lixo interessante.** Nova Escola. São Paulo: Abril, 2010.

VEIRA, K. N.; SOARES, T. O. R.; SOARES, L. R. **A logística reversa do lixo tecnológico: um estudo sobre o projeto de coleta de lâmpadas, pilhas e baterias da Braskem.** Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 3, n. 3, p. 120-136, 2009 Disponível em:< [A Logística Reversa do Lixo Tecnológico: um estudo sobre o projeto de coleta de](https://doi.org/10.1016/j.rgsa.2009.05.001)

[lâmpadas, pilhas e baterias da BRASKEM | Revista de Gestão Social e Ambiental \(emnuvens.com.br\)](#)> .

WILLING, A. (2001). **Lubricants based on renewable resources—an environmentally compatible alternative to mineral oil products**. Chemosphere, 43(1), 89-98. Disponível em: <[Lubricants based on renewable resources – an environmentally compatible alternative to mineral oil products - ScienceDirect](#)>.