

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ALEX HEIDI HAYASAKA**

**ESTUDO DE BIOLUBRIFICANTES PARA APLICAÇÃO NO EIXO DE  
TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

**LONDRINA**

**2022**

**ALEX HEIDI HAYASAKA**

**ESTUDO DE BIOLUBRIFICANTES PARA APLICAÇÃO NO EIXO DE  
TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

**Study of biolubrificants for application in the transmission shaft of electric  
vehicles**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Janaina Fracaro de Souza Gonçalves.

**LONDRINA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ALEX HEIDI HAYASAKA**

**ESTUDO DE BIOLUBRIFICANTES PARA APLICAÇÃO NO EIXO DE  
TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 13/06/2022

---

Roger Nabeyama Michels  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Janaína Fracaro De Souza Gonçalves  
Doutorado em Engenharia Mecânica Aeronáutica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Claudia Santos Fiuza Lima  
Doutorado em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

A toda minha família pelo incentivo, principalmente por parte dos meus pais e irmã e avó.

Agradeço de todo o coração a minha orientadora Prof. Dr. Janaína Fracaro De Souza Gonçalves pela paciência, apoio, incentivo e por todo conhecimento compartilhado.

A todos os meus amigos que me deram forças a todo momento, sendo de grande apoio nos melhores e piores momentos.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelos momentos proporcionados dentro e fora do câmpus.

## RESUMO

Com o termo sustentabilidade ganhando cada vez mais força, a utilização de veículos elétricos tende a aumentar. Os lubrificantes usuais aplicados em veículos que possuem motores a combustão interna não serão utilizados pelos veículos elétricos, dessa forma foi realizado um estudo relacionado a lubrificação utilizando-se de bases vegetais destinada a esse novo mercado crescente. A principal barreira que deve ser vencida está diretamente relacionada aos materiais que compõe a estrutura desse novo veículo, a utilização de materiais convencionais como metais deixará de fazer parte da estrutura dos veículos elétricos ou se apresentarão em menores quantidades. Atualmente existem lubrificantes destinados a esses tipos de veículos, porém são sintéticos, ou seja, prejudiciais ao meio ambiente. O componente selecionado para aplicação de lubrificação no presente trabalho foi o eixo de transmissão por se tratar de um componente problemático responsável por gerar perdas mecânicas e muitas vezes falhas nos veículos elétricos. A metodologia adotada foi a RSL, que consiste em reunir materiais semelhantes de diversos autores e assim realizar uma análise estatística, pode ser considerada uma pesquisa secundária pois faz uso de estudos primários para fazer a análise. Ao final do trabalho foram encontrados potenciais alternativas de biolubrificantes para aplicação na lubrificação do eixo de transmissão de veículos elétricos, devido as características físico-químicas apresentadas. Porém devem ser realizados mais testes e estudos por se tratar de um estudo pioneiro na área.

Palavras-chave: Lubrificação; Sustentabilidade; Motores a combustão interna; Mobilidade elétrica.

## **ABSTRACT**

With the term sustainability increasingly strong, the use of electric vehicles tends to increase. The engines used in vehicles that use vehicles for that domestic market will not be able to be used by the electric vehicles, but used as a study for use from a new model of use of bases destined to that market. The main barrier that must be overcome is directly related to the materials that make up the structure of new vehicles, the use of convenient metals as they will no longer be part of the structure of electric vehicles or will be presented in smaller materials for these new vehicles. There are different types of settings, i.e. harmful to the environment. Selective for application components often featured in the work was the driveshaft to address troublesome generators responsible for mechanical parts and component failures in electric vehicles. A methodology developed for an RSL, which consists of gathering several similar materials from authors and thus performing a statistical analysis, can be considered a secondary research because it makes use of primary studies to carry out a. At the end of the research, alternative biochemical work potentials of electric vehicle transmission were found, due to mechanical material resources. However, more tests and studies must be carried out to deal with a pioneering study in the area.

Keywords: Lubrication; Sustainability; Internal combustion engine; Electric mobility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1 - Robôs realizando a soldagem automatizada</b> .....  | 16 |
| <b>Figura 2 - Fábrica da GM</b> .....   | 16 |
| <b>Figura 3 - La Jamais Contente (1899)</b> .....   | 18 |
| <b>Figura 4 - Veículo a gasolina</b> .....  | 20 |
| <b>Figura 5 - Veículo elétrico</b> .....  | 21 |
| <b>Figura 6 - Ciclo Otto</b> .....  | 25 |
| <b>Figura 7 - Ciclo Diesel</b> .....  | 27 |
| <b>Figura 8 - Tesla S</b> .....   | 33 |
| <b>Figura 9 - Volteis X4</b> .....  | 34 |
| <b>Figura 10 - Tipos de veículos elétricos</b> .....  | 36 |
| <b>Figura 11 - Árvore da Carnaúba</b> .....   | 39 |
| <b>Figura 12 - Óleo de carnaúba</b> .....   | 40 |
| <b>Figura 13 - Joannesia Princeps</b> .....   | 41 |
| <b>Figura 14 - Evolução do mercado de veículos na União Europeia</b> .....  | 43 |
| <b>Figura 15 - Estoque global de carros elétricos, 2010-2020</b> .....  | 44 |
| <b>Figura 16 - Consumo médio de lubrificante por veículo</b> .....  | 45 |
| <b>Figura 17 - Expressão de busca</b> .....   | 47 |
| <b>Figura 18 - Fluxograma com as etapas da pesquisa</b> .....   | 53 |
| <b>Figura 19 - A) Resultado do teste com óleo mineral; B) Resultado do teste com óleo vegetal; C) Resultado do teste sem lubrificante</b> ..... | 54 |
| <b>Figura 20 - Misturas de óleo de Pinhão-Manso, Mamona, Amêndoa de Macaúba e Polpa de Macaúba (composição de 5 a 15)</b> .....                 | 55 |
| <b>Figura 21 - Óleo de oiticica (extraído mecanicamente na esquerda e quimicamente na direita)</b> .....  | 56 |
| <b>Figura 22 - Óleo de soja transesterificado</b> .....   | 57 |
| <b>Figura 23 - Fluxograma da caracterização do óleo de soja refinado</b> .....  | 57 |
| <b>Figura 24 - Produtos majoritários obtidos nas etapas reacionais</b> .....  | 58 |
| <b>Figura 25 - Procedimento experimental da obtenção do biolubrificante do óleo de Moringa</b> .....  | 59 |
| <b>Figura 26 - Óleo de Moringa puro e aditivado</b> .....   | 60 |

## LISTA DE QUADROS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Quadro 1 - Veículo convencional x elétrico .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>Quadro 2 - Vantagens x Desvantagens - Veículo elétrico em relação ao movido a gasolina.....</b> | <b>26</b> |
| <b>Quadro 3 - Diesel e suas características.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>Quadro 4 - Vantagens x desvantagens veículo elétrico em relação ao movido a etanol.....</b>     | <b>30</b> |
| <b>Quadro 5 - Critérios de inclusão .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>Quadro 6 - trabalhos relacionados à pesquisa.....</b>   | <b>50</b> |
| <b>Quadro 7 - Biolubrificantes .....</b>   | <b>61</b> |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Porcentagem de veículos.....                                       | 44 |
| Tabela 2 - Resultado dos trabalhos localizados, analisados e selecionados.... | 49 |

## SUMÁRIO

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>1</b>    | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>1.1</b>  | <b>Objetivos .....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1.1       | Objetivo Geral.....  | 13        |
| 1.1.2       | Objetivos Específicos .....  | 13        |
| <b>1.2</b>  | <b>Justificativa .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2</b>    | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.1</b>  | <b>Processo evolutivo na construção de automóveis .....</b>                              | <b>15</b> |
| <b>2.2</b>  | <b>Princípio de funcionamento de veículos elétricos x combustão interna</b><br><b>19</b> |           |
| <b>2.3</b>  | <b>Gasolina .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>2.4</b>  | <b>Óleo diesel .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>2.5</b>  | <b>Etanol combustível.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>2.6</b>  | <b>Projeções de mercado .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>2.7</b>  | <b>Motores flex .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>2.8</b>  | <b>Mobilidade elétrica .....</b>   | <b>33</b> |
| <b>2.9</b>  | <b>Biolubrificantes automobilísticos .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>2.10</b> | <b>Graxa vegetal .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>2.11</b> | <b>Óleos vegetais .....</b>  | <b>39</b> |
| 2.11.1      | Óleo de carnaúba .....   | 39        |
| 2.11.2      | Óleo joannesia princeps .....  | 41        |
| <b>2.12</b> | <b>Lubrificantes na mobilidade elétrica.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>2.13</b> | <b>Eixo de transmissão.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>3</b>    | <b>METODOLOGIA.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Questões de pesquisa.....</b>   | <b>47</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>String de busca.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>Processo de seleção de estudos primários .....</b>                                    | <b>48</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>Critérios de inclusão e exclusão .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>3.5</b>  | <b>Processo de busca e seleção.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>4</b>    | <b>RESULTADOS .....</b>  | <b>50</b> |
| <b>5</b>    | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>63</b> |
|             | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>64</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho será abordado o estudo de biolubrificantes para utilização em carros elétricos. A fabricação de carros elétricos tende a aumentar pois com o termo sustentabilidade se fortalecendo cada vez mais, não haverá espaço para carros movidos a combustíveis fósseis. A própria UE (União Europeia) sugere um corte de 100% das emissões de  $\text{CO}_2$  até 2035, o que tornaria impossível a venda de novos veículos movidos a combustível fóssil no bloco de 27 países (DW, 2021). Portanto é importante procurar alternativas sustentáveis para reduzir cada vez mais a emissão de poluentes e geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente.

Os veículos elétricos são uma das invenções mais importantes presente nos dias atuais. Com o objetivo de reduzir a emissão de poluentes na atmosfera e contribuir com o meio ambiente, essas máquinas são projetadas com inovação e engenharia de precisão para fornecer o bem estar e custo benefício dos consumidores. Isso pode ser considerado um grande salto para o campo da mobilidade, tirando a dependência dos combustíveis fósseis e ainda assim reduzindo os efeitos negativos dos mesmos ao ambiente. Porém ainda há muito a melhorar, uma das áreas a ser estudada deve ser as perdas mecânicas causadas principalmente pelo atrito durante a transmissão, muitas vezes levando a falhas fatais (KUNAPAREDDY, 2021). Por isso a lubrificação do eixo de transmissão é fundamental, de maneira geral sua estrutura é composta por um motor/gerador, conjunto de engrenagens de redução, diferencial, bomba auxiliar de fluido e conexão de cabos trifásicos (NETO,2021). Conhecendo esses componentes é possível filtrar os tipos de lubrificantes mais adequados para esse componente.

Para resolução do problema será realizado um estudo para verificar o biolubrificante que melhor se adequa a carros elétricos.

Desde 1970 a indústria de lubrificantes ambientalmente aceitáveis (EALs - sigla em inglês) vem crescendo de forma significativa, de modo que diversos setores começaram a investir no desenvolvimento dos EALs, como por exemplo o setor de fluido hidráulico para operações florestais na Alemanha na década de 1980 (NORRBY, 2003).

Para ser considerado um lubrificante ambientalmente aceitável é necessário atender alguns regulamentos das seguintes propriedades: (NORRBY, 2003; PETTERSSON, 2006)

- Biodegradabilidade;
- Renovabilidade;
- Toxicidade;
- Bioacumulabilidade e biomagnificação.

Biodegradabilidade é a característica expressa pela degradação realizada por microrganismos. O teste utilizado para medir grau de biodegradabilidade é o OECD 301 (LUTHER, 2017).

Renovabilidade é a quantificação do material que pode ser reutilizado, seja por reciclagem ou por processos naturais como o recrescimento (NORRBY, 2003).

Para ser considerado como biolubrificante a porcentagem mínima de óleo renovável deve ser de 25% (ASTM D-6866). Para o lubrificante possuir um rótulo ecológico da UE, a porcentagem de carbono originado de fonte renovável deve ser a seguinte (EUROPEAN COMMISSION, 2011):

- $\geq 50\%$  para fluidos hidráulicos;
- $\geq 45\%$  para graxas;
- $\geq 70\%$  para óleos de motosserra;
- $\geq 50\%$  para óleos terrestres e marinhos de dois tempos;
- $\geq 50\%$  para óleos de engrenagens industriais e marítimas.

A toxicidade quantifica o quão tóxico um material pode ser, nos últimos anos vem se requerendo a diminuição da toxicidade na formulação dos lubrificantes para se reduzir os impactos ambientais gerados (NAGENDRAMMA P, 2012). Fatores que podem afetar as propriedades toxicológicas do lubrificante são: a idade do lubrificante, o óleo base e o aditivo (PETTERSSON, 2007). O rótulo de um lubrificante não deve ser “perigoso para o meio ambiente” (Diretiva CLP 1272/2008/EC). Para isso é realizado um teste de acordo com a OECD 201/202/203:  $EC_{50}/LC_{50}/IC_{50} > 100 \text{mg l}^{-1}$  (LUTHER, 2017).

A bioacumulabilidade se trata do acúmulo gradativo de substâncias tóxicas lipofílicas em organismos vivos (NORRBY, 2003). Já a biomagnificação é o aumento da concentração de uma substância toda vez que sobe na cadeia alimentar. Uma

substância biomagnificativa deve ter mobilidade, ser solúvel no tecido adiposo, possuir uma vida longa e ser biologicamente ativa (PETTERSSON, 2005).

Os óleos básicos ambientalmente aceitáveis são selecionados a partir de Polialfaolefina de baixo peso molecular (PAO), Polialquilenoglicol (PAGs), Ésteres sintéticos (SEs) e Óleos vegetais (VOs). Porém, os óleos mais comuns disponíveis no mercado são os óleos à base de éster (LUTHER, 2017, NORRBY, TORBACKE, KOPP, 2002) isso se deve às suas propriedades personalizadas de alta qualidade, não toxicidade e biodegradação superiores (PETTERSSON, 2005). Seu desempenho tribológico é comparável ao dos óleos minerais, podendo ser misturado aos mesmos (BAYAT, 2020). Outra característica vantajosa dos ésteres é a possibilidade de implementação da tecnologia de aditivos desenvolvida para os óleos minerais (BARTELS, 2017).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Encontrar uma solução verde de um biolubrificante para aplicação no eixo de transmissão de veículos elétricos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Com intuito de atingir o objetivo principal serão requisitados alguns objetivos específicos, entre eles:

- Determinar o biolubrificante que melhor se adequa a nossa problematização;
- Levantar o potencial de algumas bases vegetais para teste;
- Verificar outros lubrificantes, como por exemplo os sintéticos;
- Levantar custo na utilização dos lubrificantes em estudo;
- Analisar das propriedades físico-químicas;

## 1.2 Justificativa

A sociedade vem passando por uma transição para uma economia mais sustentável tanto por incentivos políticos quanto pela própria conscientização do ser humano. Paralelamente a isso há uma grande preocupação com o esgotamento da principal fonte energética mundial, o petróleo. Um dos principais impactos que isso causaria para o mercado mundial seria a reestruturação do mercado de transportes, se voltando para uma maior produção de veículos elétricos. A estrutura desses veículos e seus componentes são totalmente diferentes dos veículos convencionais, isso permitirá que vários nichos de mercado possam se desenvolver, um deles é o dos biolubrificantes (lubrificantes derivados de bases vegetais) pois são menos nocivos ao ambiente e muitas vezes mais baratos que os tradicionais. O estudo tem como finalidade promover a redução de geração de resíduos provenientes do uso de lubrificantes comuns e aumentar a performance de veículos elétricos realizando a lubrificação adequada no eixo de transmissão do veículo elétrico, utilizando um biolubrificante.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Processo evolutivo na construção de automóveis

O processo mais importante no decorrer da história automobilística foi a implementação da produção em série. Henry Ford, um empreendedor da época tinha como objetivo massificar o automóvel, tornando-o acessível a toda população. Para isso realizou vários estudos, chegando à conclusão de que só seria possível se todos os veículos fossem iguais. Visando a produtividade, em vez do operário ir até a tarefa, a tarefa se deslocaria até ele (CAVALCANTE, 2021).

Utilizando conceitos advindos de outras áreas, inclusive de um matadouro, foi desenvolvido um sistema de esteiras no qual o veículo era movimentado até os operários que por sua vez eram responsáveis por fases distintas da montagem. A linha foi inaugurada em 1913 e o processo de fabricação do Ford T era dividido em 84 etapas (CAVALCANTE, 2021).

Entre os anos de 1910 a 1920 Henry Ford aplicou processos de padronização, métricas de produção e controle logístico, com o intuito de se preservar a linha de produção e o próprio produto (CAVALCANTE, 2021).

Durante os anos de 1930 a principal ferramenta utilizada para guiar a produção eram os gráficos estatísticos. Havia grande estoque interno dentro da linha de montagem, o que acabava tornando a fábrica uma bagunça (CAVALCANTE, 2021).

Entre os anos de 1960 e 1970 uma nova tecnologia surgiu, a robótica, com isso os operários começaram a ser substituídos por máquinas, e o volume de produção conseqüentemente aumentou. A principal área de atuação dos robôs era onde os processos eram demorados e exigiam precisão, como na soldagem por exemplo. Na Figura 1 mostra a soldagem automatizada do Camaro (1974) onde cerca de 95% era realizada dessa forma (CAVALCANTE, 2021).

**Figura 1 - Robôs realizando a soldagem automatizada**



**Fonte: Quatro rodas (2021)**

A partir dos anos 70 a GM supera a produção da Ford, graças ao seu aprimoramento em sistemas de gestão e técnicas de marketing. Lançou novos modelos e ampliou o catálogo de cores dos veículos. Vale salientar que a produção em série clássica começou a entrar em declínio, além disso devido à crise do petróleo mudanças nos modelos foram necessárias para se adaptar ao novo cenário. Na Figura 2 podemos notar a variedade de cores nos carros da GM (CAVALCANTE, 2021).

**Figura 2 - Fábrica da GM**



**Fonte: Quatro rodas (2021)**



A partir dos anos 80 o Toyotismo começa a substituir o modelo proposto por Ford, no qual conceitos de produção enxuta, diversificação de produtos e extremo cuidado com a qualidade tornaram-se mandatórios. Os fabricantes deixaram de se preocupar com a parte produtiva, relegando a sistemistas, empresas especializadas, a maior parte das peças. Para facilitar esse processo, foram criados parques industriais os quais englobam os fornecedores parceiros. Com isso, os fabricantes conseguiram focar apenas no processo logístico e de desenvolvimento do produto (CAVALCANTE, 2021).

A partir dos anos 90 filosofias e ferramentas administrativas começaram a ganhar força. O Japão se consolidou como expoente industrial graças a filosofia Kaizen, que buscava melhorias contínuas de processos. Um exemplo clássico é a Toyota, que se voltou à redução de desperdícios, aumentou o controle sobre os fluxos de matéria-prima e componentes, reduziu custos e começou a valorizar o fator humano dentro das fábricas (CAVALCANTE, 2021).

Novos conceitos de gestão também foram agregados, como a produção Just In Time, 5S e Six Sigma. Todas tinham em comum o foco na racionalização, na redução de custos e aumento da qualidade (CAVALCANTE, 2021).

A partir dos anos 2000 até hoje se caracterizam pela alta competitividade, devido ao grande número de empresas no ramo automobilístico, a questão ambiental, grande evolução da eletrônica e elevado custo de produção. O principal desafio industrial, é a implantação de fábricas sustentáveis, capazes de minimizar os impactos ambientais, assumindo responsabilidade pela região onde estão instaladas. Além da venda dos carros é necessário trabalhar no marketing, demonstrando a preocupação com a sociedade (CAVALCANTE, 2021).

O desenvolvimento dos veículos elétricos aconteceu de forma paralela ao surgimento dos veículos tradicionais. O projeto pioneiro na área foi do húngaro Ányos Jedlik em 1828 que criou um motor elétrico, porém a construção do primeiro veículo elétrico se deu apenas em 1835 por Thomas Davenport. Na Figura 3 o primeiro veículo a ultrapassar a marca de 100 km/h foi o carro elétrico La Jamais Contente em 1899 graças a sua aerodinâmica revolucionária, projeto de Camille Jenatzy (KLEINA, 2021).

**Figura 3 - La Jamais Contente (1899)**

**Fonte: Wikipedia (2022)**

No início do século XX haviam algumas empresas que fabricavam carros elétricos, no Estados Unidos cerca de 28% da produção nacional era composta por veículos elétricos. A queda de vendas desses veículos ocorreu devido a massificação dos carros de combustão implementada por Henry Ford.

A pauta de discussão sobre os veículos elétricos foi engavetada por bom tempo até que em 1956 e 1966 foram criadas leis para reduzir a poluição urbana, depois que grandes concentrações de fumaça chocaram a população. Novos projetos e protótipos começaram a surgir, como o General Motors Electrovair (1964), o experimento Ford Comuta (1967) e o BMW 1602 E. Porém esses veículos nunca foram produzidos em quantidades relevantes, o que impulsionou de fato as pesquisas relacionadas a esse campo foi a crise do petróleo que ocorreu em 1973, aumentando exponencialmente o valor do barril do petróleo, consequentemente elevou os preços dos veículos de combustão movidos a combustíveis fósseis. Contudo mesmo com todos os fatores a seu favor, ainda assim devido ao preço e o desempenho em relação aos veículos movidos a gasolina não valia a pena investir em um veículo elétrico. (MATULKA, 2014).

Nos anos de 1980 John Goodenough liderou uma pesquisa de um cátodo feito a partir de óxido de lítio-cobalto, que é um dos princípios para fabricação de baterias de íons de lítio. Esse trabalho foi um grande avanço para área de veículos elétricos. A partir de 1990 uma lei ambiental foi sancionada na Califórnia (Zero Emission Vehicle Program). Essa lei abriu um novo horizonte para as montadoras ajudando-as novamente a fabricar uma nova remessa de elétricos. Alguns modelos foram, o Toyota

Rav4, o Honda Ev Plus, o Chevrolet S-10 e a Ford Ranger que se destacou em relação ao seu desempenho (DAPENA E SHERMAN, 2019).

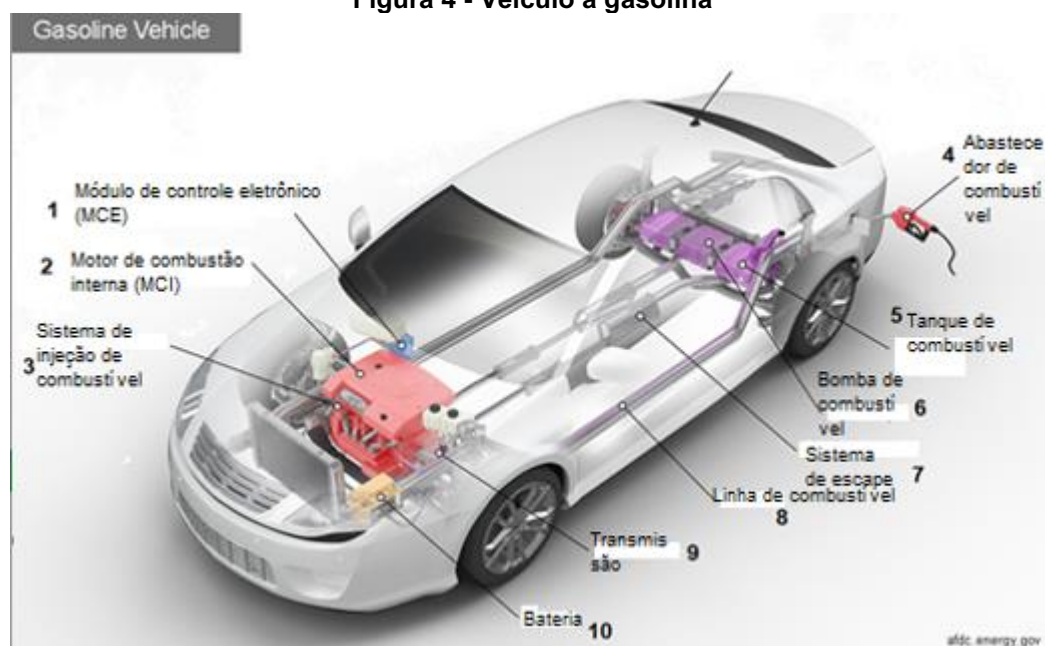
A partir de 2004 com o surgimento da Tesla Motors o mercado de carros híbridos e elétricos começou a tomar impulso, as montadoras começaram a comercializar de fato esse tipo de veículo mantendo um estoque generoso nas fábricas. Alguns dos veículos que se destacaram nesse meio são o Mitsubishi i-MiEV (2009), que encerrou sua produção em 2020; o Nissan Leaf e o Chevrolet Volt (2010); o Renault Zoe (2012); e o Volvo Polestar 1 (2015) (DAPENA E SHERMAN, 2019).

Em 2017, a venda anual de veículos elétricos superou a casa de 1 milhão de unidades pela primeira vez, dessa vez pode ser afirmado que os veículos estão sendo incorporados pela matriz mundial de veículos. Principalmente países da Europa estão incentivando a compra de veículos elétricos seja por meio de incentivos fiscais ou por restrições de circulação de modelos movidos a combustível. Ainda assim existem muitas barreiras a ser ultrapassadas para que a matriz de veículos mundial seja totalmente transacionada para elétricos e híbridos (KLEINA, 2021).

## **2.2 princípio de funcionamento de veículos elétricos x combustão interna**

Veículos a gasolina e diesel são similares, ambos utilizam motores de combustão interna. O motor a gasolina faz uso da ignição por centelha enquanto o motor a diesel funciona por compressão (AFDC, 2022). Na Figura 4 será demonstrado os principais componentes presentes no veículo convencional.

Figura 4 - Veículo a gasolina



Fonte: AFDC (2022)

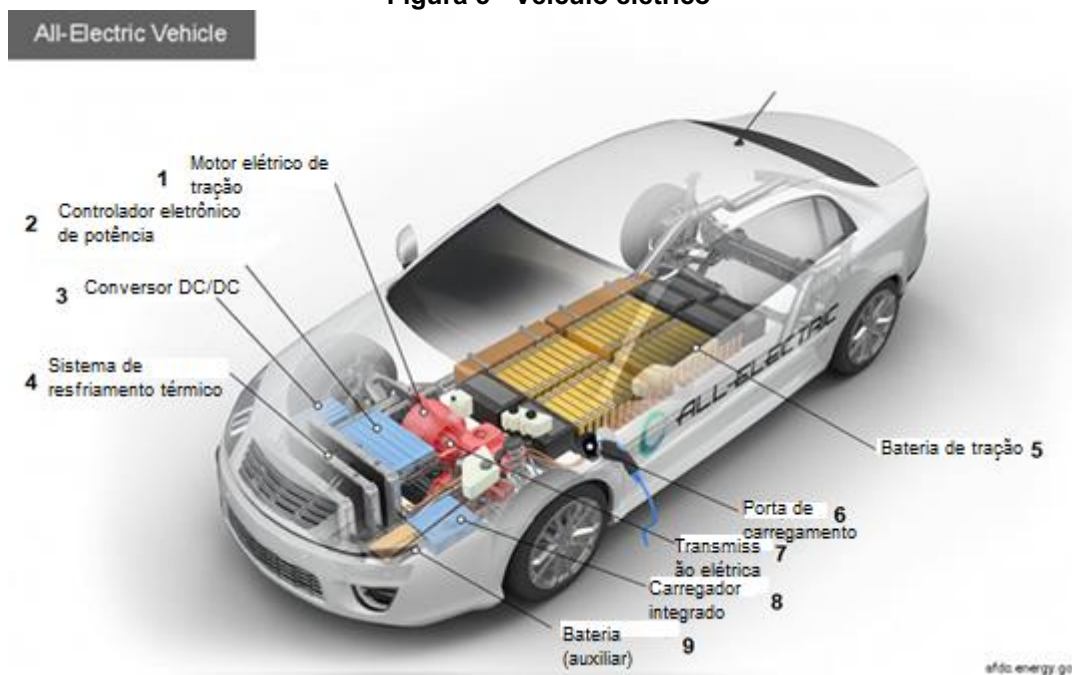
Os principais componentes de um carro que utiliza gasolina como combustível serão apresentados a seguir:

- **1 - Módulo de controle eletrônico (MCE):** controla a mistura de combustível, ponto de ignição e sistema de emissões; monitora o funcionamento do veículo; protege o motor e detecta e soluciona problemas.
- **2 - Motor de combustão interna (ignição por faísca):** Nesta configuração, o combustível é injetado no coletor de admissão ou na câmara de combustão, onde é combinado com o ar, e a mistura ar/combustível é inflamada pela faísca de uma vela de ignição.
- **3 - Sistema de injeção de combustível:** introduz combustível nas câmaras de combustão do motor para ignição.
- **4 - Abastecedor de combustível:** bico de um dispensador de combustível se conecta ao receptáculo no veículo para enche-lo.
- **5 - Tanque de combustível (gasolina):** Este tanque armazena a gasolina a bordo do veículo até que seja necessária para o motor.
- **6 - Bomba de combustível:** Uma bomba que transfere combustível do tanque para o sistema de injeção de combustível do motor através da linha de combustível.

- **7** - Sistema de escape: canaliza os gases de escape do motor através do tubo de escape. Um catalisador de 3 vias foi projetado para reduzir as emissões de saída do motor dentro do sistema de escapamento.
- **8** - Linha de combustível: um tubo de metal ou mangueira flexível (ou uma combinação de ambos) transfere o combustível do tanque para o sistema de injeção de combustível do motor.
- **9** - Transmissão: A transmissão transfere potência mecânica do motor e/ou motor elétrico de tração para acionar as rodas.
- **10** - Bateria: fornece a eletricidade para dar partida no motor e alimentação dos componentes eletrônicos do veículo.

Veículos elétricos utilizam um motor elétrico e na maioria das vezes uma grande bateria de tração para alimentar o motor. Esta bateria pode ser carregada ao fazer a conexão em algum terminal de carregamento. Eles não possuem algumas peças como bomba de combustível, escapamento, linha de combustível, carburador e tanque de combustível (MCFADDEN, 2020). Na Figura 5 será demonstrado os principais componentes presentes no veículo elétrico.

**Figura 5 - Veículo elétrico**



Os principais componentes presentes em veículos elétricos são:

- **1** - Motor elétrico de tração: uma vez que se espera que o veículo elétrico realmente se mova em algum ponto, é necessário um meio para converter eletricidade em força rotacional para mover as rodas. É aí que entra o motor de tração. Alguns veículos também têm funções de regeneração de energia nas rodas, também para recuperar parte da energia perdida.
- **2** - Controlador eletrônico de potência: Este dispositivo gerencia ativamente o fluxo de energia elétrica entregue à bateria e controla a velocidade do motor elétrico de tração (para não mencionar o torque que gera).
- **3** - Conversor DC/DC: Normalmente, a bateria de tração terá uma tensão mais alta do que muitos outros componentes do carro. Este dispositivo converte a CC de alta tensão em CC de baixa tensão para uso seguro.
- **4** - Sistema de resfriamento térmico: Este sistema mantém a faixa de temperatura operacional adequada do motor, motor elétrico, eletrônica de potência e outros componentes.
- **5** - Bateria de tração: Este é o "tanque de combustível" do veículo elétrico e é a fonte de toda a eletricidade usada para executar a maioria dos outros componentes do veículo.
- **6** - Porta de carregamento: A energia armazenada em uma bateria não pode durar para sempre e precisa ser recarregada de tempos em tempos. É aqui que a porta de carga entra em jogo. Ele permite que o veículo elétrico seja conectado a uma fonte de alimentação externa.
- **7** - Transmissão elétrica: Este dispositivo transfere a potência mecânica do motor de tração para acionar as rodas do veículo elétrico.
- **8** - Carregador integrado: Como a eletricidade de fontes externas geralmente é CA, este dispositivo a converte em CC para uso no carregamento da bateria. Ele também é usado para monitorar as características da bateria, como tensão, corrente, temperatura e estado de carga durante o carregamento da bateria.
- **9** - Bateria (auxiliar): Na maioria dos veículos de tração elétrica, a bateria auxiliar fornece eletricidade para a partida e para alimentar os acessórios do veículo, como o relógio. Isso não deve ser confundido com a bateria de tração principal.

Agora será demonstrada através do Quadro 1 um comparativo entre os componentes equivalentes entre veículos MCI e veículos elétricos.

**Quadro 1 - Veículo convencional x elétrico**

| <b>Convencional</b>                 | <b>Elétrico</b>                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Módulo de controle eletrônico (MCE) | Controlador eletrônico de potência |
| Motor de combustão interna          | Motor elétrico de tração           |
| -                                   | Conversor DC/DC                    |
| Sistema de injeção de combustível   | -                                  |
| Abastecedor de combustível          | Porta de carregamento              |
| Tanque de combustível               | -                                  |
| Bomba de combustível                | -                                  |
| Sistema de escape                   | -                                  |
| Linha de combustível                | -                                  |
| Transmissão                         | Transmissão elétrica               |
| Bateria                             | Bateria                            |
| -                                   | Sistema de resfriamento térmico    |
| -                                   | Carregador integrado               |
| -                                   | Bateria (auxiliar)                 |

**Fonte: autoria própria**

Esses componentes presentes nos veículos elétricos citados acima são substitutos equivalentes para o seu conjugado, além disso há presença de componentes que os veículos a combustão não possuem, tais como: conversor DC/DC, carregador integrado e a bateria auxiliar.

### **2.3 Gasolina**

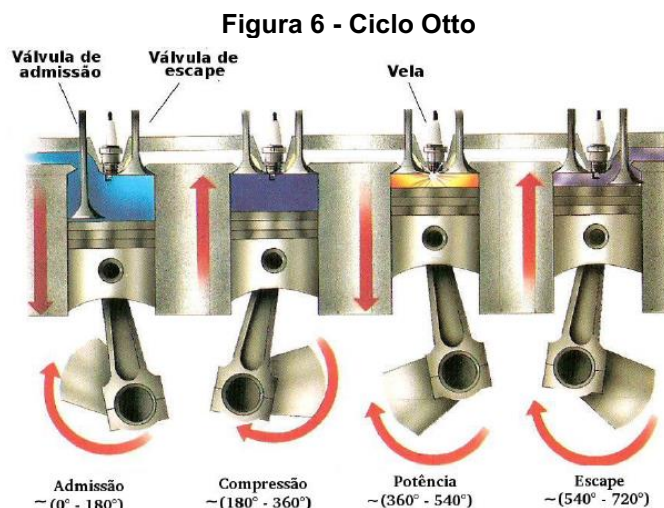
A gasolina é um dos principais produtos obtidos através da destilação do petróleo, visto que é utilizado pela maioria dos veículos, consequentemente beneficiando as indústrias petrolíferas (MINISTÉRIO DAS MINAS DE ENERGIA, 2012). Sua composição é dada pela maior parte por uma mistura de hidrocarbonetos e uma pequena parcela de componentes como enxofre, oxigênio e nitrogênio (OLIVEIRA, 2004), podendo mudar de acordo com sua origem e seu processamento. Os hidrocarbonetos presentes na gasolina podem variar de 4 a 12 átomos de carbono em sua estrutura (WIEDEMANN, 2005 E FLUMIGNAN, 2007)

BTEX é a denominação para os compostos aromáticos benzeno, tolueno, etil benzeno e xileno, são considerados os principais elementos aromáticos da gasolina (PERIAGO, ZAMBUDIO, PRADO, 1997). Onde o benzeno é o elemento que possui estrutura mais simples, desse modo está sempre presente nas misturas. O único problema é que o benzeno é tóxico, e pode ser absorvido pelo corpo humano, principalmente pelas vias aéreas e pelo contato direto com a nossa pele (Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer).

Os motores que utilizam a gasolina como fonte de combustível são denominados motores de combustão interna (explosão). Seu processo é dividido em quatro etapas, sendo elas expressas na Figura 6 e abaixo (SEARS E ZEMANSKY, 1973):

- Admissão: Consiste na primeira etapa do processo, onde a válvula de admissão permite a entrada de uma mistura de ar e combustível na câmara de combustão, de forma que o pistão se movimenta de forma a aumentar o volume do interior da câmara.
- Compressão: Consiste na segunda etapa do processo, na qual o pistão tem a função de comprimir a mistura, diminuindo seu volume. Vale-se destacar que a compressão ocorre de forma adiabática e em seguida a máquina térmica em questão recebe calor através de uma transformação isovolumétrica.
- Explosão: Consiste na terceira etapa do processo. Após o término da compressão uma centelha é gerada através da vela, fazendo com que ocorra uma explosão, conseqüentemente a expansão da mistura.
- Exaustão: Finalmente o último processo permite que os gases resultantes da explosão sejam dispersados para o ambiente, através da válvula de saída. O ciclo é reiniciado quando a máquina retorna ao seu estado inicial.





Fonte: **Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems, and Perspectives (2004).**

*Knocking* é um fenômeno que ocorre em motores de combustão interna, consiste em sons agudos provenientes da combustão precoce do ar comprimido da mistura no cilindro-pistão (BRITANNICA, 2015), fazendo com que o motor fique desregulado, diminuindo sua potência. Outros problemas podem surgir, como o superaquecimento das velas de ignição e a erosão da superfície da câmara de combustão. Esses problemas podem ser evitados adotando algumas medidas de precaução de projeto e de operação, como a taxa de compressão (adicionar antidetonantes a gasolina (FOGAÇA, 2021)), o tempo de queima e utilização de gasolina com alto índice de octanagem (BRITANNICA, 2015).

No Quadro 2 serão demonstradas as principais vantagens e desvantagens do veículo elétrico quando comparado ao veículo de combustão movido a gasolina.

**Quadro 2 - Vantagens x Desvantagens - Veículo elétrico em relação ao movido a gasolina**

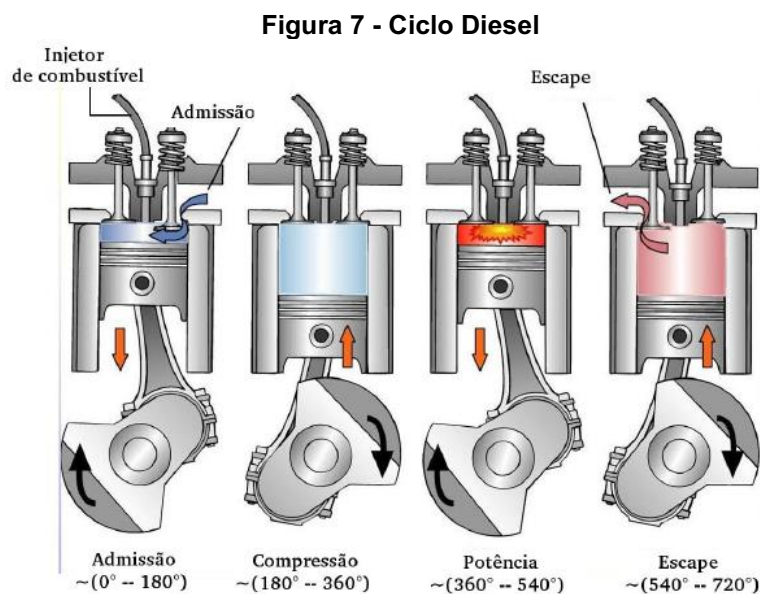
| <b>Vantagens</b>            | <b>Desvantagens</b>      |
|-----------------------------|--------------------------|
| Maior eficiência do motor   | Baterias                 |
| Zero emissões               | Autonomia                |
| Condução silenciosa         | Tempo de carga           |
| Custos de utilização        | Custo de aquisição       |
| Travagem regenerativa       | Produção de eletricidade |
| Condução                    | -                        |
| Menos impostos e incentivos | -                        |

Fonte: Autoria própria

## 2.4 Óleo Diesel

O óleo diesel é produto da destilação fracionada do petróleo, esse processo ocorre entre 200 °C e 380 °C, separado em duas correntes, diesel leve e diesel pesado que posteriormente serão refinados (BRUNETTI, 2012). Sua composição é formada basicamente por hidrocarbonetos e baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. É considerado o combustível mais comercializado no mercado brasileiro, podendo ser utilizado no transporte de cargas e de pessoas, na indústria, na geração de energia, entre outros. (PETROBRAS, 2014)

O óleo diesel sem adição de biodiesel pode ser denominado como “óleo diesel A”, já o óleo diesel com biodiesel é chamado de “óleo diesel B” (ANP). A principal diferença entre o motor diesel e motor a gasolina ocorre na combustão: nos motores a gasolina há necessidade de um dispositivo elétrico (vela) para iniciar a centelha, enquanto na maioria dos motores a diesel não há essa necessidade. Outra informação relevante é que há perdas na taxa de compressão do motor a gasolina pois o combustível é injetado durante a admissão do ar, enquanto no diesel, somente ar é aspirado na admissão, a injeção de combustível só ocorre quando o motor atinge a máxima compressão, ocasionando a explosão da mistura (MARSHALL, 2000). As etapas do ciclo diesel podem ser vistas na Figura 7.



**Fonte: Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems, and Perspectives (2004).**

Outras informações adicionais em termos comparativos com a gasolina serão explicitadas a seguir. O tempo de evaporação é maior para o óleo diesel pois apresenta viscosidade superior a gasolina, sendo assim requerida uma maior energia térmica para se romper as ligações das moléculas. Outra informação seria de que o diesel possui cadeias mais longas em relação à gasolina, gerando como consequência a necessidade de menos refinamento em relação à gasolina, que por fim reduz os custos do produto final. Por último o custo benefício em relação ao consumo, indica que motores a diesel tendem a ser mais econômicos que motores a gasolina, pelo simples fato de a densidade energética do diesel ser maior, ou seja, para uma mesma quantidade de ambos a energia obtida através da combustão do diesel é maior (MARSHALL, 2000).

Uma alternativa que vem ganhando destaque nos últimos anos é a do biodiesel. Biodiesel se trata de um combustível renovável composto por monoalquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa (BONILLA-PETRICIOLET E RANGAIAH, 2020), podendo ser adquiridos através de gorduras animais ou de óleos vegetais, dentre os principais vegetais utilizados na produção de biodiesel, estão a soja, o girassol (ANTOLIN et al., 2002), babaçu, mamona, amendoim, dendê (ANP, 2014). Para que os óleos possam ser utilizados com combustível é necessário realizar um processo químico denotado como transesterificação ou pela esterificação direta de seus ácidos graxos (BRUNETTI, 2012). Esse processo só pode ser realizado por

indústrias autorizadas e regulamentadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (ANP, 2014).

O biodiesel em comparação ao diesel tradicional, possui a capacidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, além disso, diminui a emissão de fumaça e praticamente erradica as emissões de óxido de enxofre. A grande redução de CO<sub>2</sub> emitido por um biodiesel se deve ao fato de o mesmo conseguir absorver parte do CO<sub>2</sub> que é emitido durante sua queima através da fase onde ocorre o crescimento da planta utilizada para sua fabricação, ou seja, se torna um ciclo fechado (LIMA, 2005). Uma grande vantagem na utilização do biodiesel se deve a não necessidade de se adaptar o motor para o uso, tornando a mudança para esse biocombustível economicamente viável a nível mundial (TOLMASQUIM, 2003).

O uso do biodiesel em motores diesel acarreta em alguns problemas que acabam interferindo na eficiência em relação ao uso do diesel comum. A degradação de componentes elastômeros (polímero que apresenta propriedades elásticas) do motor (DIAS, 2007). Devido a sua degradação ser muito rápida o armazenamento se torna um desafio, sendo requerido o uso de aditivos antioxidantes (BRUNETTI, 2012).

No Quadro 3 será explicitado os diferentes Diesel existentes e suas respectivas características.

**Quadro 3 - Diesel e suas características**

| <b>Diesel</b> | <b>Características</b>   |
|---------------|--|
| Biodiesel     | Derivado de gordura animal ou óleo vegetal, não há necessidade de adaptação dos motores para sua utilização, porém sua utilização em motores diesel comum acarreta em perda de desempenho e podem prejudicar alguns componentes se não utilizar aditivos antioxidantes. Além de reduzir a quantidade de emissões de CO <sub>2</sub> , diminui muito a quantidade de fumaça produzida e praticamente erradica as emissões de enxofre. |
| S-10          | Possui 10 ppm (partes por milhão) de enxofre, possui uma coloração mais clara. Ele é menos nocivo ao meio ambiente em relação ao Diesel comum e apresenta melhor desempenho também. Presença de maior quantidade de hidrogênio em sua estrutura proporcionando sua capacidade de solvente deixando o motor mais limpo e reduzindo custos com manutenção  |
| S-500         | Também conhecido como diesel comum é chamado dessa maneira pois possui em sua fórmula 500 mg/kg ou ppm de teor máximo de enxofre. Sua utilização é recomendada para veículos fabricados antes de 2012  |

**Fonte: Autoria própria**

Vale-se destacar que a mesma tabela utilizada para demonstrar as principais vantagens e desvantagens do veículo elétrico sobre um veículo de combustão movido a gasolina pode ser utilizado para exemplificar o modelo a diesel.

## 2.5 Etanol combustível

O biocombustível derivado da fermentação de açúcares e cereais, comumente conhecido como etanol se trata de uma substância líquida incolor, transparente, volátil, miscível em água e em outros líquidos orgânicos, de forma molecular (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH). No Brasil é exclusivamente obtido como produto da fermentação da cana-de-açúcar. Sua comercialização ocorre por meio de duas formas, hidratada (95 a 96%) e anidra (>99% de volume) (ARIAS, 1999).

Para a sua forma anidra temos em sua composição apenas o álcool etílico, utilizado como combustível para veículos e como matéria prima para indústrias de tintas, solventes e vernizes. Já a sua forma hidratada consiste de uma mistura do álcool etílico com água, comumente utilizado na indústria farmacêutica, alcoolquímica e de bebidas, inclusive no combustível de veículos, entre outros (NOVA CANA, 2017).

O etanol em sua forma hidratada é principalmente utilizado em motores de ignição por centelha (ciclo otto), já a sua forma anidra é misturada numa proporção de 20% na composição da gasolina. Porém com a questão ambiental cada vez mais rigorosa, os motores de ciclo diesel também estão utilizando o etanol (anidro), com o intuito de reduzir as emissões de gases poluentes a atmosfera, além do custo ser inferior ao próprio diesel (NOVA CANA, 2021).

No Quadro 4 serão descritas as principais vantagens e desvantagens da utilização do veículo elétrico em relação ao veículo movido a etanol.

**Quadro 4 - Vantagens x desvantagens veículo elétrico em relação ao movido a etanol**

| <b>Vantagens</b>              | <b>Desvantagens</b>            |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Sem emissões de gases nocivos | Preço do carro                 |
| Preço por km rodando          | Tempo de recarga/abastecimento |
| -                             | Emissões de gás carbônico      |

**Fonte: Autoria própria**

## 2.6 Projeções de mercado

Com o mercado crescente se voltando para uma forma mais sustentável toda a linha de produção está se adequando para os novos parâmetros exigidos. Em meio a tudo isso os veículos elétricos vêm ganhando muita força à medida que inúmeras políticas ambientais começaram a surgir e mais do que isso a principal fonte energética mundial tem previsão para esgotamento.

O crescimento do mercado automobilístico elétrico trará tanto consequências positivas como negativas. Provavelmente os que irão mais se beneficiar desse cenário serão os grandes fornecedores de baterias, como Panasonic, LG Chem e Samsung, por outro lado surgirão novos provedores de tecnologia, na área de software, cyber-proteção e por fim as empresas que fornecerão serviços de direção autônoma. Por outro lado, conforme o crescimento da mobilidade elétrica ocorrer toda cadeia que sustentava os veículos a combustão incluindo fabricantes de marchas, montadoras de sistemas de combustível, fornecedores de sistemas de exaustão e catalisação além de toda indústria associada a suprimentos e componentes desse tipo de negócio irão sofrer as consequências (NOVA CANA, 2016).

A demanda por químicos de baterias irá aumentar, em particular o lítio, porém não para por aí, serão necessários construir outros equipamentos do veículo elétrico o que demandará exploração de outros metais. O aço será utilizado com menor frequência, pois se trata de um material muito pesado, motivando a utilização de resinas, materiais compostos e aerogeis (NOVA CANA, 2016).

Os veículos elétricos vão requerer menor necessidade manutenção devido a sua estrutura ser composta por menos partes móveis, com apenas algumas vedações no motor elétrico, na direção e suspensão. Ainda não se possuem dados suficientes para criar uma estatística de duração da bateria principal, porém se estiva que dure pelo menos 110 mil quilômetros e ainda mais futuramente. A maioria dos ajustes no sistema dos veículos podem ser feitos remotamente, sem a presença de um mecânico (NOVA CANA, 2016).

Há previsões para o futuro do setor energético, estima-se que os veículos elétricos irão acrescentar 2,7 TWh à demanda global anual por eletricidade até 2040 ou seja 8% do total, podendo ser mais caso ocorra o crescimento de forma mais acelerado. O consumo de energia é um fator a ser questionado com o aumento da demanda de veículos elétricos, uma grande frota ativa desses veículos implica em um grande potencial para relação entre demanda e capacidade de resposta, ou seja, o seu carregamento pode ser realizado quando o preço da energia está baixo ou quando a geração de energia eólica está em alta (NOVA CANA, 2016).

Há uma estimativa que até 2040 ocorra uma redução diária de 13 milhões de barris de petróleo sendo consumidos. Porém, existente outros fatores a serem considerados se tratando dos níveis absolutos de demanda por gasolina, incluindo impacto do crescimento do PIB em mercados emergentes na aquisição de veículos, aumento de eficiência interna dos motores à combustão, mudanças nos modelos de transporte, biocombustíveis e combustíveis alternativos. Porém é um fato que a rápida transição para uma matriz de veículos formada por veículos elétricos, na escala esperada, será devastadora para a demanda por gasolina. Devido a esse novo concorrente, ocorrerá uma limitação para os preços do petróleo no longo prazo, que fará seu valor decair rapidamente, levando a prejuízos para as companhias internacionais de petróleo e os fornecedores de serviços no setor (NOVA CANA, 2016).

## 2.7 Motores flex

Muitos consumidores preferem ter mais de uma opção na hora de abastecer seu veículo, visando o custo benefício. E devido a esse fato o mercado está sendo dominado pela venda de veículos flexfuel, que consiste em motores capazes de utilizar o álcool e a gasolina, inclusive a mistura de ambos em quaisquer proporções (DI GIULIO, 2006).

O motor utilizado se trata de um motor de 4 tempos (ciclo otto), o princípio de funcionamento se dá através de um sensor que detecta a quantidade da mistura de combustível, realizando os ajustes de acordo. A tecnologia utilizada para realizar esse ajuste é feito através de um software desenvolvido por engenheiros brasileiros no qual não é requisitado a presença de sensores adicionais para a leitura (HESSEL TEICH, 2006).

Em dezembro de 2018 foi lançado o primeiro carro híbrido flex pela Toyota do Brasil. O veículo poderia se locomover fazendo uso de combustíveis de combustão interna (álcool e gasolina) além da eletricidade. Esse projeto foi possível ser desenvolvido graças ao programa federal Rota 2030, que oferece informações da possibilidade de investimentos à longo prazo no país, estimulando a criação de veículos que possuem melhor rendimento (BARBIÉRI, 2018 E FAGUNDES, 2018).

A partir de 2025 entrará em vigor uma nova lei o Proconve L8, que trata da redução de emissão de O<sub>3</sub> na atmosfera. Portanto o uso de motores flex se tornará inviável pois o principal problema presente é a combustão incompleta do etanol, gerando uma maior emissão de monóxido de carbono. Além da redução das emissões, será obrigatório a utilização de etanol com maior grau de pureza, para isso seria necessário a remoção da água de sua composição atual (ORTIZ, 2019).

Se isso ocorrer o cenário se torna favorável para os veículos elétricos, já que o combustível fóssil se esgotará em um futuro próximo. A principal vantagem com relação a veículos flex será a ausência de emissão de poluentes na atmosfera e redução de realização de manutenções. Por outro lado, ainda assim existentes muitas desvantagens, por se tratar de uma tecnologia ainda não disseminada e massificada o custo de aquisição desses veículos é relativamente caro, a autonomia não se compara a nenhum veículo de MCI e ainda não se sabe como isso afetaria a matriz



energética fazendo elevar os preços da energia elétrica, dessa forma encarecendo a própria fonte de “combustível”.

## 2.8 Mobilidade elétrica

A humanidade vem passando por uma transformação baseada numa sociedade ecologicamente sustentável. A redução da emissão de poluentes através dos veículos vem sido pauta de discussão, o Proconve P8 vai estabelecer um controle rígido relacionado a emissão de poluentes provenientes da queima de combustíveis, que entrará em vigor em 2023 para todos veículos fabricados e comercializados no Brasil (ESTADAO, 2021).

Os carros elétricos surgem para substituir os carros tradicionais, porém os preços não são acessíveis a maioria da população, principalmente por falta de incentivos governamentais. O motor elétrico absorve cerca de 90% da energia elétrica e converte em potência mecânica (torque) (Silva, Tonin e Urbanetz, 2016). Isso tudo considerando um percentual reduzido de perdas.

Um grande problema dos carros elétricos está diretamente associado à sua autonomia, ou seja, o seu rendimento. Hoje em dia, o carro mais simples possui autonomia de 60km (Volteis X4) – Figura 9 enquanto o modelo mais sofisticado 426km (Tesla S) – Figura 8 (MEUNIER, 2012). Será necessário suprir a nova demanda energética advinda dos carros elétricos, de acordo com Baran o consumo de gasolina seria reduzido em torno de 40,7% até 2031, paralelamente a um aumento do consumo de eletricidade em 42,1% relacionado às projeções oficiais (BARAN, 2012).

**Figura 8 - Tesla S**



**Fonte: Tesla motors (2021)**

**Figura 9 - Volteis X4**

**Fonte: Electric greencar (2021)**

Existem atualmente quatro tipos de veículos elétricos, o veículo elétrico híbrido (HEV), o híbrido plug in (PHEV), o movido a bateria (BEV) e movido por célula de combustível (FCEV) exibidos na Figura 10.

O HEV utiliza como fonte de combustível principal a gasolina/álcool ou diesel, mas possui também em sua estrutura um motor elétrico e uma bateria. A adição do motor elétrico alimentado a bateria aumenta o desempenho do uso do combustível nos híbridos. O motor desliga quando está parado, economizando combustível. A bateria fornece energia para todos os acessórios, quando necessário o motor a combustão pode atuar em conjunto com o elétrico fornecendo maior potência. Outro mecanismo de economia de combustível está presente nos freios regenerativos (kERS). Durante a frenagem os freios conseguem capturar parte da energia e transformá-la em eletricidade, a qual é armazenada na bateria (NEOCHARGE, 2022).

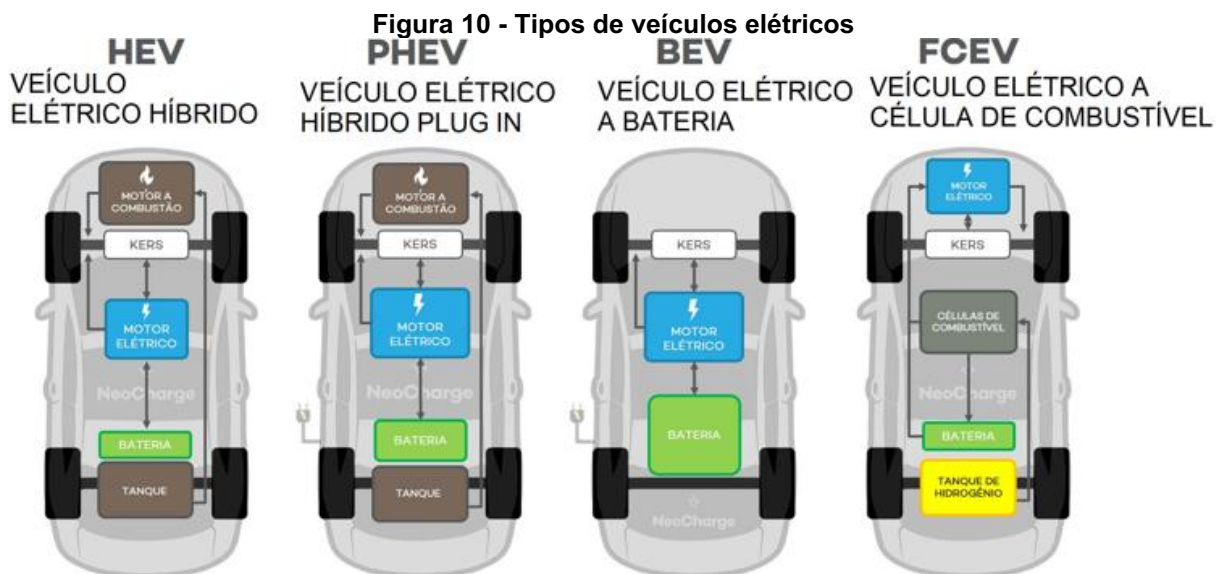
O PHEV possui um motor a combustão interna, um motor elétrico e além disso um banco de bateria recarregável. Essa combinação permite que sua bateria seja carregada de duas formas: a primeira é pela frenagem regenerativa, e a segunda é por cabo (alimentação por uma fonte elétrica). Esse carro combina as características de um veículo híbrido comum com todas as características elétricas de um veículo elétrico movido a bateria ou células de combustível. Funcionam de maneira geral com dois modos:

- 100% elétrico: energia do carro fornecida de maneira íntegra pelo motor e bateria;
- Híbrido: combustível líquido e eletricidade podem ser utilizados.

De maneira geral os PHEV iniciam sempre no modo 100% elétrico, isso ocorre até o esgotamento da bateria, já outros modelos trocam pro modo híbrido quando as velocidades ultrapassam 100 ou 115 km/h (NEOCHARGE, 2022).

O BEV é de fato o carro elétrico, utiliza eletricidade da bateria para alimentar o motor elétrico. A bateria pode ser recarregada pela frenagem regenerativa (kers) e por uma fonte elétrica através de uma tomada ou um plug. Não geram emissão de poluentes, porém a fonte de energia utilizada por eles pode vir de fontes que produzam ou gerem poluentes. Então a quantidade de poluição emitida é diretamente dependente da fonte de origem de sua energia (eletricidade). O abastecimento do veículo elétrico é significativamente mais barato em comparação com um carro à combustão. De maneira geral as características presentes no BEV são similares ao PHEV e HEV, com diferencial do torque instantâneo gerado pelo motor elétrico permitindo uma aceleração mais rápida e suave em comparação ao motor a combustão, além disso ele pode ser carregado em qualquer lugar onde tenha uma tomada de 220 V por perto (NEOCHARGE, 2022).

O FCEV faz uso do hidrogênio como principal fonte de energia. Assim como os demais modelos citados ele possui o freio regenerativo (kers), diferentemente dos veículos MCI ele combina hidrogênio e oxigênio para gerar eletricidade, alimentando assim o motor elétrico. Quanto sua autonomia e a forma de abastecimento se comparam a um veículo convencional. A única diferença entre o FCEV e BEV é a forma como o motor recebe a energia elétrica. Não ocorre emissão de poluentes pois os produtos finais da reação química geram apenas água e calor. Porém a produção do gás hidrogênio em si pode poluir, mas mesmo assim esses veículos geram 30% menos poluentes comparados aos veículos convencionais. Sua autonomia pode chegar entre 320 a 600 km por tanque de hidrogênio (NEOCHARGE, 2022).



Fonte: Adaptado de neocharge (2022)

Enquanto o mundo avança para o mercado de carros elétricos, o Brasil por outro lado resolve progredir de maneira mais lenta. O mercado mundial da indústria automotiva destaca a tendência do carro elétrico para os próximos anos. Países como Noruega e Holanda foram os campeões de compras de veículos elétricos no primeiro trimestre de 2015 (MCCARTHY, 2015).

## 2.9 Biolubrificantes automobilísticos

Os lubrificantes podem ser obtidos por meio de minerais, óleos vegetais ou serem sintetizados. Os lubrificantes minerais são derivados do petróleo, contendo em sua composição basicamente hidrocarbonetos, podendo conter traços de enxofre, nitrogênio e metais, tornando-os tóxicos e danosos a natureza, principalmente por não ser degradável. Os óleos sintéticos assim como os minerais são derivados do petróleo, são elas as polialfaoleofinas, outros ésteres sintéticos e polialquileono glicóis (LATHI e MATTIASSON, 2007; SALIH et al., 2011). Por último os lubrificantes vegetais podem ser enquadrados na classe de biolubrificantes que trata dos lubrificantes que possuem características não tóxicas e que sejam biodegradáveis, visando o bem estar dos seres vivos e ao meio ambiente (SALSA, 2009). A substituição dos lubrificantes comuns por biolubrificantes trazem como benefícios uma redução dos impactos ambientais, e a diminuição de custos relacionados ao descarte adequado dos óleos lubrificantes minerais e sintéticos utilizados atualmente (PETROBRAS, 2015).

Atualmente existem duas maneiras de se produzir um biolubrificante, utilizando como base óleos vegetais ou ésteres sintéticos que são produtos de óleos renováveis modificados ou de origem petrolífera (SALSA, 2009). Os biolubrificantes produzidos através dos óleos vegetais possuem em sua composição moléculas de ácidos graxos de cadeia longa e glicerol (triglicerídeos). Os triglicerídeos naturais possuem característica de alta biodegradação além de apresentar alta eficiência de lubrificação, por outro lado sua estabilidade térmica e oxidativa deixam a desejar (WAGNER et al., 2001; ZHANG et al., 2003; LATHI e MATTIASSON, 2007; SALIMON, SALIH e ABDULLAH, 2011). Manipulações químicas devem ser feitas para que as características anteriores citadas sejam aplicadas, tais como reação de transesterificação e de oxidação (SALIMON, SALIH e ABDULLAH, 2011).

As principais funções dos biolubrificantes são as mesmas desempenhadas por um lubrificante comum, e podem ser descritas a seguir: redução de perdas mecânicas, redução de desgaste dos componentes submetidos a fricção, proteção contra corrosão, aumento da estanqueidade e evita que detritos e sujeiras entupam componentes do motor (HERNANDES, 2018).

Em relação ao óleo lubrificante comum, os biolubrificantes possuem inúmeras vantagens tais como: maiores rendimentos, custo benefício devido ao aumento do ciclo de vida do produto, redução de geração de resíduos que possam contribuir negativamente com a natureza (UYVARI JR., 2012), alto índice de viscosidade, elevado ponto de inflamação, distribuição das perdas por evaporação (RUDNICK, 2006), maior segurança pro consumidor, elevada biodegradabilidade e menores graus de toxicidade (SALSA, 2009).

Em termos de aplicação para motores automotivos, o uso de biolubrificantes podem apresentar algumas desvantagens: a oxidação faz com que haja o aumento de viscosidade, exigindo um intervalo de troca menor; necessidade de purga do motor antes de realizar a troca do óleo; limitação em baixas temperaturas para algumas formulações (RUDNICK, 2006). A solução para esses problemas é a utilização de aditivos que também sejam biodegradáveis, retirando a dependência existente dos produtos derivados do petróleo (Erhan, 2005).

De maneira geral os veículos elétricos exigem menores quantidades de graxas do que veículos a combustão. Os veículos a combustão exigem lubrificação em diversos componentes sendo alguns deles, o cárter, bronzinas e virabrequins, motor (arrefecimento), já em veículos elétricos é necessário a utilização de um

lubrificante que tenha capacidade de resfriamento e lubrificação simultâneas, além de ser capaz de proteger a eletrônica a bordo e ser compatível com materiais não metálicos como por exemplo o plástico. Diferentemente dos veículos convencionais os elétricos possuem uma vasta gama de materiais em sua construção (EXAME, 2021).

Há uma projeção que a produção de lubrificantes de maneira geral comece a decair a partir de 2025 devido ao investimento da China e Europa no mercado de veículos elétricos. Estima-se que os veículos elétricos irão utilizar cerca de 50% a 70% menos graxa que os motores de combustão interna (ROLLAND, 2021).

## **2.10 Graxa vegetal**

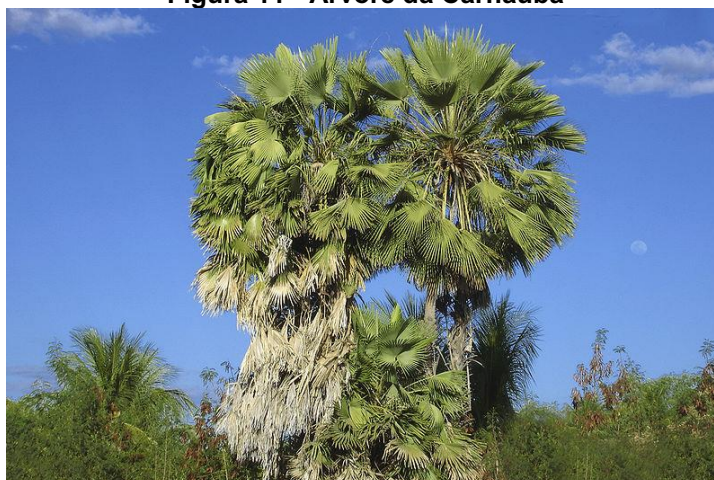
A utilização da graxa vegetal como lubrificante é uma alternativa sustentável, além disso apresenta alto desempenho para aplicações industriais, da mesma forma que a graxa comum, porém apresentando um impacto ambiental reduzido em relação aos seus concorrentes. A temperatura de trabalho máxima ao qual a graxa pode ser submetida é em torno de 250°C, portanto pode ser aplicado em equipamentos com altas rotações ou que trabalhem por longos períodos de operação continuamente. A graxa vegetal é produto direto do éster vegetal, podendo conter também sulfonato de cálcio e aditivo inorgânico (aspecto de consistência). A principal funcionalidade dos aditivos presentes na graxa vegetal é aumentar a resistência de carga e velocidade. Algumas vantagens na utilização da graxa vegetal estão presentes na resistência térmica e oxidativa, proporcionando uma proteção ao lubrificante e todos os componentes do equipamento e a presença do sulfonato de cálcio reduz a possibilidade de vazamentos e entrada de particulados, aumentando sua estanqueidade (EFFICAX, 2021) além disso trata-se de um produto não oferece riscos à saúde dos operários.

## 2.11 Óleos vegetais

### 2.11.1 Óleo de carnaúba

Em sua tese, Synara Cavalcanti apresenta a utilização do óleo de carnaúba como um biolubrificante. O custo benefício envolvido para sua produção foi considerada para o desenvolvimento do estudo. Se trata de uma planta com afinidade a clima árido, podendo ser encontrada em praticamente todos os estados do nordeste do Brasil. Sua cultura resiste inclusive a períodos de seca severas, na Figura 11 é possível visualizar a árvore da Carnaúba.

**Figura 11 - Árvore da Carnaúba**



**Fonte: Wikipedia (2021)**

O óleo de carnaúba na Figura 12 tem uma característica visual de cor verde-oliva levemente amarelado, com aroma semelhante à sua cera.

**Figura 12 - Óleo de carnaúba**

**Fonte: Cavalcanti, Synara (2014)**

Os valores de densidade do óleo de carnaúba são parecidos aos demais óleos vegetais existentes na literatura, e uma expansão ocorre quando há o aumento de sua temperatura, portanto uma massa reduzida ocupa um mesmo volume, característica similar aos óleos minerais. Quanto ao seu ponto de fulgor e de combustão, ambos apresentam-se razoáveis para utilização como lubrificantes, podendo ser manipulado em temperaturas acima da do ambiente. Apresenta um baixo grau de acidez e, portanto, um baixo grau de corrosividade. E por fim sua viscosidade sofre poucas alterações quando ocorre a variação de temperatura, permitindo que seja utilizado onde haja necessidade de um controle de viscosidade mais severo. Dadas essas características ele pode ser comparado com o óleo SAE 10W30 API SM, que apresenta características similares ao do óleo de carnaúba. Após inúmeros testes, foi comprovado que o óleo de carnaúba é mais eficiente na lubrificação de um sistema mecânico, com redução do desgaste e melhor dissipação de calor.

Mesmo apresentadas todas as análises acima, ainda sim será necessário realizar ensaios adicionais, pois todos os dados obtidos foram de um estudo pioneiro sobre a aplicação do óleo de carnaúba como um biolubrificante. Alguns pontos que podem ser levados em consideração, a análise da estabilidade oxidativa e térmica, análise de sua composição química, processo de transesterificação no óleo, repetição de todas as análises feitas anteriormente após o processo de transesterificação e por fim aplicação em um sistema real, verificando seu desempenho (CAVALCANTI, 2014).



### 2.11.2 Óleo *Joannesia princeps*

Arara Nut Tree é uma planta nativa do Brasil (*Joannesia princeps*) podendo ser visualizada na Figura 13, se trata de uma árvore caduca com copa densa e alongada que pode atingir os 15 a 20 metros de altura. Essa árvore produz grandes frutos com 2 ou 3 sementes ovais. Foi realizada uma pesquisa afim de se extrair o óleo dessa planta e utiliza-la como um biolubrificante. A semente possui um óleo com forte ação purgante podendo ser considerado venenoso para o ser humano. Apresenta um crescimento autossustentável, é autotrófico, ou seja, pode transformar a luz em energia química. Além do óleo extraído da semente, pode ser utilizada para fins ornamentais. A espécie encontra-se em perigo pois as florestas estão sendo devastadas para fins agrícolas e além disso sua madeira é muito valiosa (KOTIA,2021).

**Figura 13 - *Joannesia Princeps***



**Fonte: Wikipedia (2012)**

As principais propriedades desse óleo são:

- Sementes possuem 37% de um óleo amarelo pesado que é utilizado como combustível.
- Sementes e cascas utilizadas como remédio para tratar ascite, diarreia, feridas cortantes, etc.

- Não requer nenhum tratamento para ser semeado.

A semente é enxaguada com água para remover outros componentes indesejáveis e sua secagem ocorre sobre temperatura ambiente. As folhas secas ao ar (aproximadamente 100 gramas) de *Joannesia princeps* foram esmagadas. Por fim, as folhas são tratadas com petróleo/éter e o extrato evaporaram para coletar os resíduos (KOTIA, 2021).

A viscosidade na taxa de cisalhamento mais baixa do óleo apresentou melhoria de cerca de 12% e 14% com MWCNT e CeO<sub>2</sub> respectivamente. Porém apenas esses dados não são suficientes para estabelecer um padrão no seu comportamento, então serão necessários estudos mais detalhados. A utilização de nanopartículas em sua estrutura melhorou significativamente o comportamento de lubrificação (KOTIA, 2021).

## **2.12 Lubrificantes na mobilidade elétrica**

A Petronas Lubricants International (PLI) lançou em 2019 uma nova linha de lubrificantes dedicada a carros elétricos. Conhecidos como e-lubrificantes, surgiram com o intuito de contribuir com o meio ambiente, de forma a reduzir os impactos ambientais causados pelas emissões de poluentes na atmosfera. O grande desafio da empresa é o aumento da performance e durabilidade dos componentes de veículos elétricos. A linha abrange fluido para baterias (PETRONAS Iona Thermal), para fricção de transmissão e eixos (PETRONAS Iona Integra) e por fim graxas para rolamento (PETRONAS Iona Glide) (NUNES, 2019).

A Klüber Lubrication possui a série Klüberlectric que se trata de uma linha específica para rolamentos de propulsores elétricos que tem como objetivo evitar danos causados pela formação de arcos elétricos (KLUEBER, 2022).

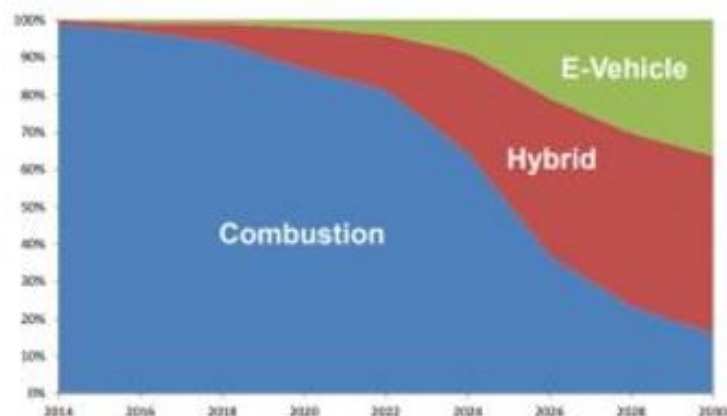
A Valvoline lançou uma nova linha de produtos afim de resolver problema comuns presentes em veículos elétricos relacionados a variações de temperatura da bateria, desempenho do trem de força e corrosão do sistema de freio e falha do rolamento do selo, etc. Com os fluidos de transferência de calor Valvoline EV (otimiza a regulação da temperatura operacional), fluidos de sistema de acionamento EV focado em atender as necessidades das transmissões de veículos (redução anti

corrosiva, perda de rotatividade e resfriamento do motor elétrico), fluido de freio Valvoline EV fornece pontos de ebulição elevados (úmido e seco), eliminação de ruído, redução do superaquecimento do freio e apresenta viscosidade baixa em temperaturas baixas e pôr fim a graxa EV Valvoline projetada para motores elétricos e rolamentos de vedação afim de se controlar a condutividade elétrica (LEXINGTON, 2019).

Apesar dos veículos elétricos apresentarem inúmeras qualidades ainda possuem pontos que devem ser levados em consideração, um deles seria as perdas mecânicas causadas pela fricção nos rolamentos durante a transmissão (Farfan-Cabrera, 2019; Lukaszczyk, M, 2014; de Santiago, J., 2012), muitas vezes podem levar a uma falha fatal. Em comparação a veículos com motores de combustão interna a necessidade de lubrificação ocorre em um número reduzido de componentes, sendo que o motor, um dos principais componentes de ambos veículos, não há necessidade de sua lubrificação.

Na tabela 1 e Figura 14 são apresentados uma projeção para que o mercado de veículos da União Europeia em 2030 esteja configurado da seguinte forma: cerca de 36,5% formado por veículos elétricos, 37,4% de híbridos e somente 26,1% por veículos com combustão interna, dados obtidos na FIGURA 14. Vale – se destacar que em 2016 os veículos com combustão interna representavam cerca de 98,9% da frota de veículos (PwC, 2016 publicado pela FUCHS, 2017).

**Figura 14 - Evolução do mercado de veículos na União Europeia**



Fonte: Price waterhouse Coopers (2016) publicado por FUCHS (2017)

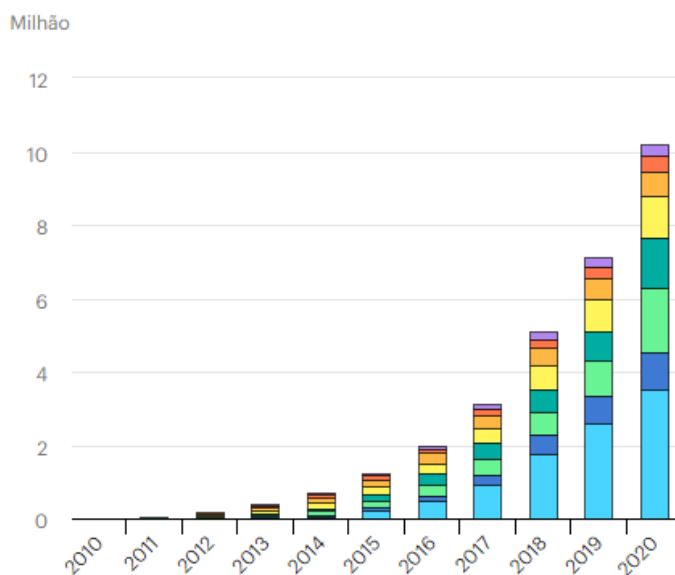
Tabela 1 - Porcentagem de veículos

| Veículos  | % representativa |
|-----------|------------------|
| Elétricos | 36,5             |
| Híbridos  | 37,4             |
| MCI       | 26,1             |

Fonte: Autoria própria

Na figura 15 um levantamento atual mostra que o estoque global de veículos elétricos de 2020 apresentou um aumento de 43% em relação a 2019. Vale – se destacar que os veículos elétricos a bateria (VEBs) representaram dois terços dos novos registros e além disso representaram esse mesmo valor associado ao estoque de 2020. Atualmente a China lidera a maior frota dos veículos elétricos com cerca de 4,5 milhões de carros elétricos (IEA, 2021).

Figura 15 - Estoque global de carros elétricos, 2010-2020



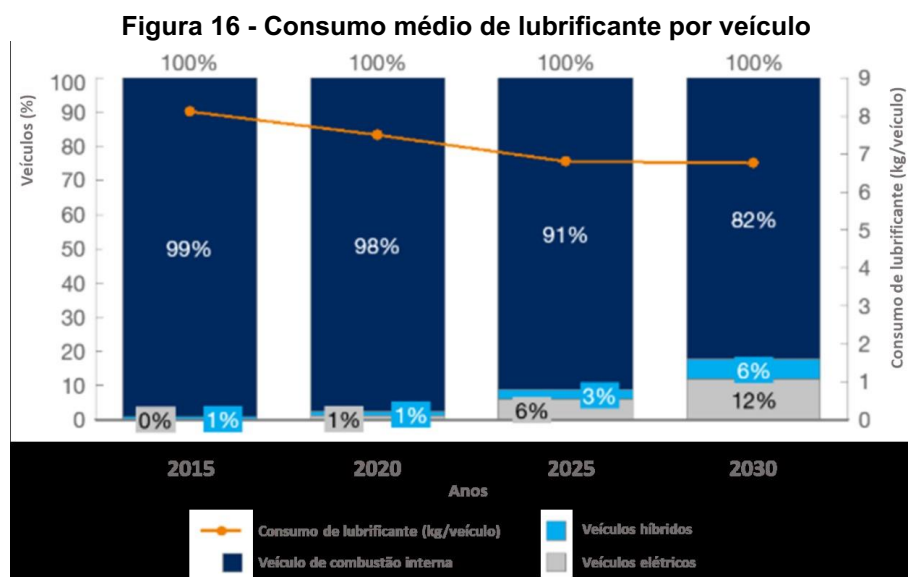
Fonte: IEA (2021)

Em 2015, o mercado mundial de óleos lubrificantes destinou cerca de 52% dos produtos a indústria de automóveis, representando 9,9 milhões de toneladas (McKinsey Energy Insights, 2017). Demonstrando que a indústria automobilística tem grande impacto no mercado de lubrificantes, podendo sofrer alterações de acordo.

Os veículos elétricos não dependem de um motor de combustão interna (MCI), dessa maneira não é necessária a utilização de óleos para lubrificação do motor, sendo requerida apenas uma quantidade ínfima de lubrificante (graxa) e outros

produtos secundários. Por outro lado, os veículos híbridos requerem a utilização de lubrificantes à medida que há presença de um MCI. Comparados aos veículos de combustão interna os híbridos requerem uma atenção especial, fazendo uso de lubrificantes de melhor desempenho (McKinsey Energy Insights, 2017).

Na Figura 16 temos a previsão da variação do consumo de lubrificante (kg/veículo) por tipo de veículo (frota de veículos ligeiros).



Algumas consequências para o mercado de lubrificantes dado ao aumento do número de veículos elétricos (Sogilub, 2019):

- Diminuição da procura por óleos de motor e transmissão;
- Maior demanda de graxas;
- Redução do uso de óleos na indústria metalúrgica;
- Redução do peso dos veículos, devido aos materiais de fabricação dos elétricos serem mais leves (menor quantidade de aço, mais alumínio, termoplásticos e fibras de carbono) consequentemente reduzindo a busca de lubrificantes e anticorrosivos.

Apresentada essas consequências os fabricantes de lubrificantes deverão buscar novas soluções tecnológicas para acompanhar o avanço dos veículos elétricos (Sogilub, 2019).

### **2.13 Eixo de transmissão**

O sistema de transmissão de um veículo elétrico funciona de forma a um carro com câmbio automático, porém de forma mais simplificada. Ao realizar o aceleração do veículo o motor recebe a energia das baterias de forma imediata. Nos veículos elétricos a conexão motor-eixo diferencial é realizada de forma direta (SANTANA, 2021)

No sistema de transmissão de veículos híbridos, já é recomendado por alguns fabricantes a utilização do fluido ATF possua propriedades dielétricas (isolantes) devido a presença do motor elétrico e demais componentes elétricos presentes no veículo (SOUZA, 2021).

Analisando os componentes presentes no eixo de transmissão será necessária uma atenção especial para a lubrificação principalmente dos rolamentos presentes no seu mecanismo.

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho será configurado com base em um estudo teórico por meio de aplicação do procedimento técnico de revisão sistemática da literatura (RSL). Essa técnica foi empregada afim de identificar, avaliar e interpretar as pesquisas relevantes sobre uma particular questão de pesquisa, utilizando - se de uma sequência metodológica bem definida que permite agregar informações e construir conhecimentos (KIETCHENHAM; CHARTERS, 2007; GREENHALGH, 1997).

A pesquisa foi feita nos meses de fevereiro a julho de 2022. Nas seguintes seções serão apresentadas as questões de pesquisa, as palavras-chave e string de busca, além disso foram buscadas outras informações tais como fontes de busca e critérios de inclusão e exclusão.

#### 3.1 Questões de pesquisa

Neste trabalho vigente foi buscado a resposta para as seguintes perguntas:

1. Qual o biolubrificante que melhor se adequa na lubrificação do eixo de transmissão do veículo elétrico?
2. Qual impacto no mercado de lubrificantes com a transição de uma frota de veículos MCI para veículos elétricos?

#### 3.2 String de busca

Na Figura 17 é apresentado a expressão de busca utilizada no Google, SCIELO, SCIENCE DIRECT e REPOSITARIO UTFPR, em português e inglês, para abranger uma maior gama de resultados. Porém além desses sites foi possível obter resultados de outras fontes de pesquisa.

**Figura 17 - Expressão de busca**

**"Lubrificação" e ("Biolubrificantes" ou Biolubricant") e ("Mobilidade elétrica" ou "Veículos elétricos" ou "Electric vehicles") e ("Eixo de transmissão ou Transmission")**

**Fonte: Autoria própria**

### **3.3 Processo de seleção de estudos primários**

Seguindo o que é definido pela RSL, foi realizada a seleção dos estudos seguindo os passos:

- Seleção: Os trabalhos foram selecionados utilizando uma a três expressões de busca entre o período de 2000 a 2022;
- Pré-filtro: Realizada uma análise dos dados pelos títulos, chaves de busca e sua coerência com o proposto para esta pesquisa;
- 1º Filtro: Foram analisados os resumos dos estudos para verificar sua coerência com relação a pesquisa;
- 2º Filtro: Depois do primeiro filtro, foram lidos todos os trabalhos a fim de utilizar o seu conteúdo para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram selecionados com base nos critérios de inclusão e não selecionados conforme os critérios de exclusão;
- Classificação: Os estudos foram selecionados conforme a relevância para essa pesquisa. No caso de duplicação de artigos foi selecionado o que obteve uma maior influência para nossa busca.

### **3.4 Critérios de inclusão e exclusão**

Os critérios de inclusão e exclusão serão apresentados no Quadro 5.



**Quadro 5 - Critérios de inclusão**

| <b>Critérios de inclusão</b>   | <b>Critérios de exclusão</b>                                    |
|--|---|
| O trabalho é um artigo científico, dissertação, TCC ou tese  | O trabalho não é acadêmico                                      |
| O trabalho é sobre biolubrificantes  | O trabalho não menciona biolubrificantes                        |
| O trabalho propõe a utilização do biolubrificante para aplicação na mobilidade elétrica                            | O trabalho não se trata de um estudo de um novo biolubrificante |
| O trabalho propõe a lubrificação (utilização de biolubrificantes) para o eixo de transmissão em veículos elétricos | O trabalho não faz uso de testes tribológicos                   |

Fonte: Autoria própria

### 3.5 Processo de busca e seleção

Os resultados obtidos com a expressão de busca utilizada no google acadêmico retornaram 54 trabalhos, que foram analisados primeiramente pelo título, resumo e resultados, levando-se em conta os critérios de inclusão e exclusão, especialmente no que diz respeito ao se tratar de um biolubrificante novo, como resultado dessa varredura restaram apenas 11 ao final, apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Resultado dos trabalhos localizados, analisados e selecionados**

| <b>Artigos retornados</b> | <b>Artigos selecionados</b> | <b>1ºfiltro</b> | <b>2ºfiltro</b> |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| 54                        | 54                          | 20              | 11              |

Fonte: autoria própria

Após a seleção final, os dez trabalhos restantes foram lidos e extraído informações relevantes às questões que nortearam a RSL.

## 4 RESULTADOS

O principal objetivo dessa pesquisa foi encontrar o biolubrificante que melhor se adequa na aplicação na lubrificação no eixo de transmissão de veículos elétricos, apesar de todos 11 trabalhos não explicitarem diretamente se é viável ou não essa aplicação é possível verificar através das análises tribológicas o comportamental dos biolubrificantes em estudo. Existem diversos estudos nessa área, porém como a mobilidade elétrica é algo que vem crescendo cada vez mais é necessário estudar alternativas de lubrificantes que sejam biodegradáveis e apresentem baixa toxicidade, uma vez que estamos caminhando para uma sociedade com fontes de energia mais limpas.

Serão apresentados a seguir os resultados encontrados para cada questão de pesquisa.

**1ª Questão** - Qual o biolubrificante que melhor se adequa na lubrificação do eixo de transmissão do veículo elétrico?

A partir da pesquisa foram selecionados 11 trabalhos que mencionam a respeito de estudo de novos biolubrificantes que possivelmente poderão ser aplicados em eixo de transmissão de veículos elétricos. Os trabalhos serão listados no Quadro 6.

**Quadro 6 - trabalhos relacionados à pesquisa**

| Artigo   | Link  | Autor  |
|--|---|--|
| Síntese e caracterização de nanolubrificante de licuridegado   | <a href="https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25225/1/LuandaKiviaDeOliveiraRodrigues_TESE.pdf">https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25225/1/LuandaKiviaDeOliveiraRodrigues_TESE.pdf</a> | Rodrigues, 2018                              |
| Análise de viabilidade da utilização do óleo de dendê na lubrificação automotiva através do ensaio PIN-ON-DISK | <a href="http://forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/636/263">http://forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/636/263</a>                           | Silva, Cezar, Gonçalves, Matos e Costa, 2019 |

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
| Desenvolvimento de biolubrificantes a partir dos óleos de pinhão-mansó, macaúba e mamona                         | <a href="https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-AXHPSZ/1/maria_fl_via_rodrigues_starling__disserta__o_vers_o_corrigida_30mar_2016.pdf">https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-AXHPSZ/1/maria_fl_via_rodrigues_starling__disserta__o_vers_o_corrigida_30mar_2016.pdf</a> | Starling, 2018   |
| Obtenção e caracterização do óleo da oiticica (Licania rígida) para uso como biolubrificante                     | <a href="https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/21875/1/OtoLimaDeAlbuquerqueNeto_DISSERT.pdf">https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/21875/1/OtoLimaDeAlbuquerqueNeto_DISSERT.pdf</a>   | Neto, 2016       |
| Utilização do éster de soja como biolubrificante   | <a href="https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15704/1/LuandaKOR_DISSERT.pdf">https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15704/1/LuandaKOR_DISSERT.pdf</a>   | Rodrigues, 2013  |
| Caracterização do óleo de carnaúba para uso como biolubrificante   | <a href="https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15720">https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15720</a>   | Cavalcanti, 2014 |
| Análise reológica do óleo Joannesia Princeps para biolubrificante sustentável em aplicação em veículos elétricos | Ankit Kotia et al 2021 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng.1116 012015   | Kotia, 2021      |
| Síntese e caracterização de biolubrificantes a partir do óleo de soja refinado                                   | <a href="http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9611">http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9611</a>   | Santos, 2011     |

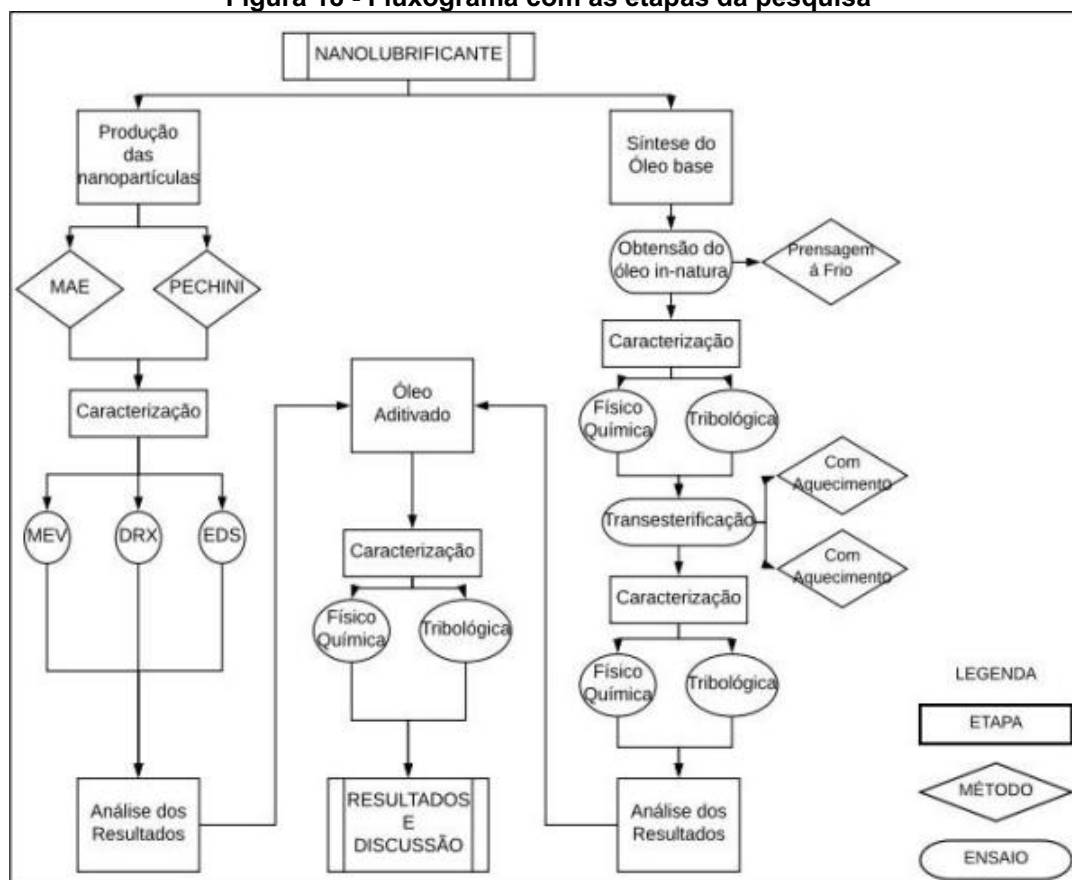
|   |   |                 |
|---|---|-----------------|
| Produção de biolubrificantes a partir dos óleos de mamona ( <i>Ricinus communis</i> ) e de vísceras da tilápia do nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) | <a href="http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9611">http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9611</a> | Rodrigues, 2011 |
| Desenvolvimento de biolubrificantes a base de óleo de moringa   | <a href="https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/38880">https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/38880</a>   | Aquino, 2018    |
| Síntese e avaliação termo-oxidativa de potenciais biolubrificantes a partir do cardanol   | <a href="http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/26520">http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/26520</a>       | Almeida, 2017   |

**Fonte: Autoria própria**

O nanolubrificante de licuri de gado surge com intuito de substituir lubrificantes biodegradáveis com taxas de oxidativas muito altas. O fato do licuri ser transesterificado ele acaba retardando o processo de degradação, porém sua viscosidade e capacidade de dissipação térmica diminuem (RODRIGUES, 2018). Na Figura 18 é apresentado os processos realizados para obtenção do nanolubrificante.

Ao final do projeto, após realizar todas as análises dos resultados concluiu que é viável sua utilização como um biolubrificante em aplicações onde são requeridas baixas viscosidades e não haja necessidade de redução de temperatura. A caracterização físico-química do óleo se apresentou favorável pois os valores de massa específica, índice de acidez, condutividade e resistência térmica apresentaram similares aos óleos vegetais existentes (RODRIGUES, 2018).

Figura 18 - Fluxograma com as etapas da pesquisa

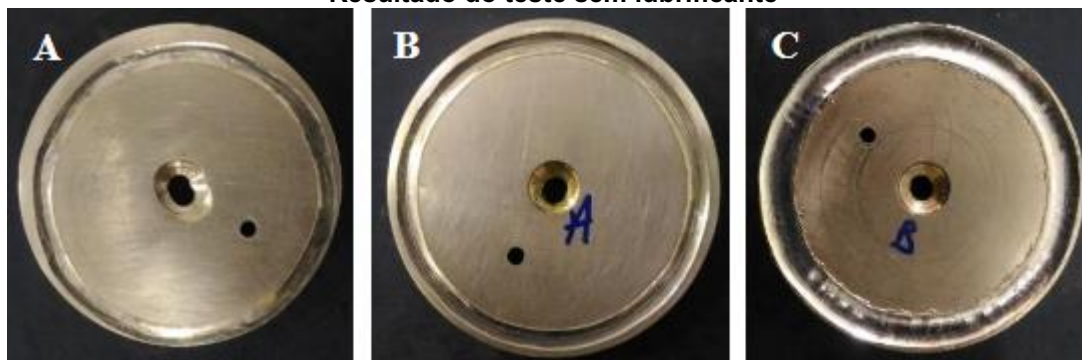


Fonte: Rodrigues, Luanda (2018)

A utilização de biolubrificantes de maneira geral vem se tornando cada vez mais usual, seguindo o modelo de uma economia mais sustentável. O óleo de dendê tem um grande potencial nessa área pois se trata de um dos óleos mais utilizados no mundo ficando atrás apenas do óleo de soja e canola. No presente estudo será realizado uma comparação das propriedades do óleo mineral 15w-40 com o óleo de dendê através do ensaio PIN-ON-DISK (ensaio que mede o atrito e desgaste) e com presença de filme de óleo (Silva, Cezar, Gonçalves, Matos e Costa, 2019).

Foi possível concluir após a análise dos resultados obtidos do ensaio PIN-ON-DISK representados na Figura 19, que as características de óleos de base vegetais são similares aos minerais se a análise for feita de maneira mais ampla (coeficientes de atrito muito próximos durante os primeiros 2000 segundos de teste, variação do índice PQ ficou muito próximo – utilizando o óleo de dendê sem aditivo) (Silva, Cezar, Gonçalves, Matos e Costa, 2019).

**Figura 19 - A) Resultado do teste com óleo mineral; B) Resultado do teste com óleo vegetal; C) Resultado do teste sem lubrificante**



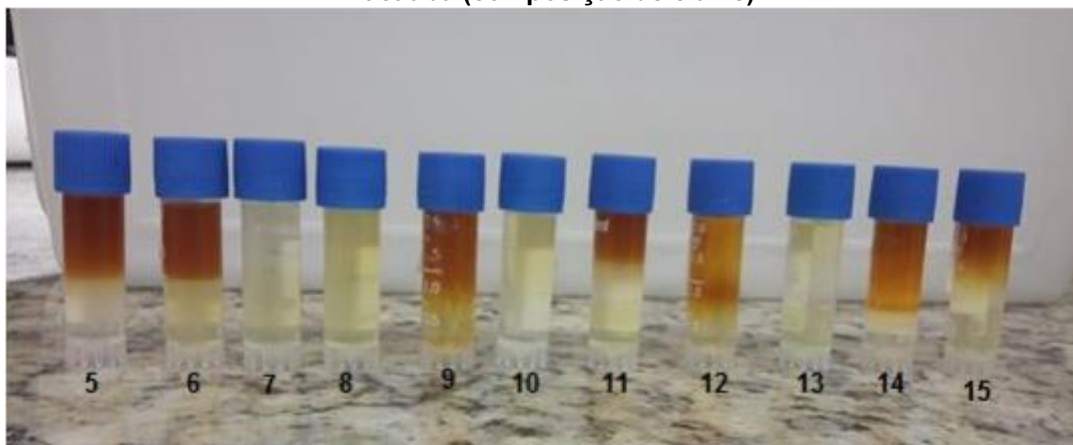
Fonte: Silva, Cezar, Gonçalves, Matos e Costa (2019)

Foi feito uma pesquisa em cima da aplicação do óleo de pinhão-manso e de suas misturas com óleo de mamona e de macaúba através do planejamento de mistura do tipo centroid-simplex para mistura de quatro componentes. Foram estudados os produtos gerados da transesterificação com metanol e etanol, além da influência da adição de nanoestruturas de óxido de zinco com grafite e nanofibras de zinco em rota de biocarbono de piche vegetal, para fabricação de biolubrificantes (STARLING, 2016).

Foi possível extrair através dos resultados que a interação primária das misturas ternárias pode ser sinérgica ou antagônica para as ranhuras e o índice de viscosidade, o que permitiu otimizar a formulação do produto com características mais favoráveis. A combinação dos óleos de mamona e polpa de macaúba apresentou valores favoráveis de lubrificação, já com relação ao índice de viscosidade, o óleo de pinhão-manso puro apresentou o melhor resultado, ainda melhor após a realização das modificações químicas resultantes da transesterificação. De maneira geral os dados apresentaram satisfatórios indicando que o óleo de pinhão-manso e suas respectivas misturas com os óleos de mamona e de macaúba apresentam-se promissores para aplicação como biolubrificante (STARLING, 2016).

Vale-se destacar que não foram adicionadas na Figura 20 os frascos de 1 a 4 pois estes são simplesmente as amostras de óleos vegetais puros.

**Figura 20 - Misturas de óleo de Pinhão-Manso, Mamona, Amêndoa de Macaúba e Polpa de Macaúba (composição de 5 a 15)**

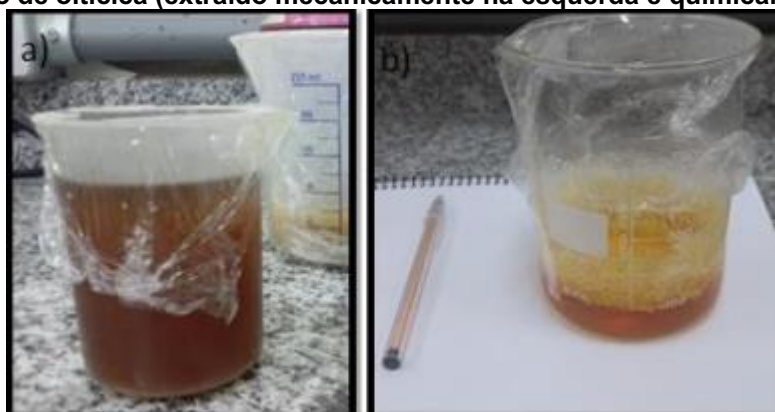


Fonte: Starling, Maria (2016)

O óleo vegetal proveniente da do fruto da oiticica (*Licania rígida*) é encontrada nas vegetações da caatinga, e pode ser considerada uma alternativa para uso como biolubrificante devido ao seu baixo custo e fácil extração. Neste trabalho foram utilizados dois métodos para extração (mecânica e química) e posterior análise físico-química e demais parâmetros para um bom funcionamento de um óleo lubrificante representados na Figura 21. O método mecânico demonstrou-se mais eficaz com relação a rapidez de extração, já o método químico possibilitou um maior rendimento relacionado a massa do vegetal e o volume produzido de óleo (NETO, 2016).

Os valores obtidos dos dois tipos de extração relacionados as propriedades físico-químicas se mostraram similares, dessa maneira os dois métodos podem ser utilizados na síntese do óleo da oiticica sem a preocupação de ocorrer alterações significativas nas principais propriedades esperadas de um óleo lubrificante. Os demais ensaios realizados (condutividade térmica, resistividade térmica e resistência ao desgaste) demonstraram-se valores superiores em comparação ao óleo comercial Lubrax 10W30, indicando que o poder de lubrificação e a sua capacidade de refrigeração são superiores e podem substituí-lo sem preocupações (NETO, 2016).

Figura 21 - Óleo de oiticica (extraído mecanicamente na esquerda e quimicamente na direita)



Fonte: Neto, Oto (2016)

Com o intuito de diminuir os impactos ambientais e evitar que pessoas sejam contaminados pelo contato é necessário fazer uso de óleos que sejam biodegradáveis e não sejam tóxicos. Uma possível solução é a utilização do óleo de soja, porém o problema existente é a questão oxidativa quando se é trabalhado com temperaturas mais elevadas. Com isso em mente o processo de transesterificação surge para diminuir a oxidação, no entanto algumas propriedades físico-químicas são alteradas (RODRIGUES, 2013).

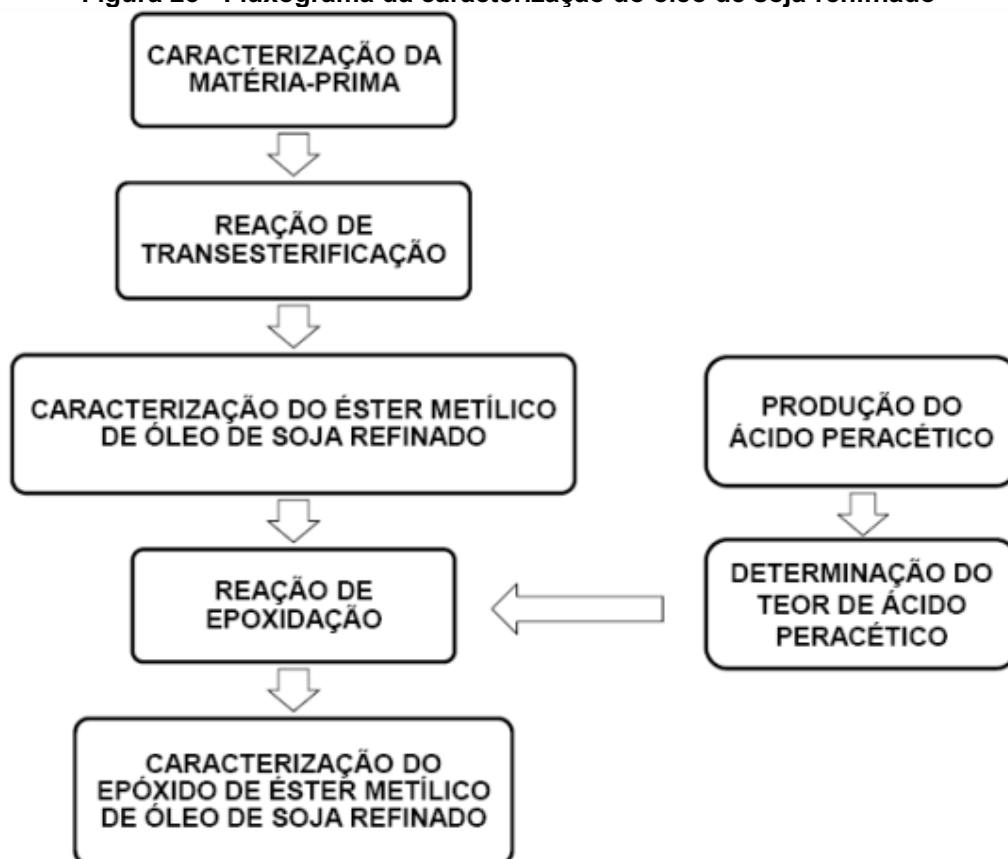
Após o processo de transesterificação do óleo de soja, foi submetido a ensaios de densidade, viscosidade dinâmica, ponto de fulgor e acidez. Além desses ensaios também foi submetido a um ensaio dinâmico no tribômetro adaptado em um torno de bancada cujo desgaste induzido foi o adesivo e por fim utilizado como fluido de corte em um processo de torneamento em 2 materiais distintos, aço 1045 e ferro fundido. Esse último ensaio apresentou resultados inferiores ao fluido de corte mineral, já nos outros ensaios alguns apresentaram-se satisfatórios enquanto outros não. Aditivos químicos podem ser utilizados para tentar equacionar todos os parâmetros e dessa maneira formular um biolubrificante não tóxico para aplicação nos processos de usinagem da indústria metalmeccânica (RODRIGUES, 2013). O óleo de soja transesterificado pode ser visualizado na Figura 22.



**Figura 22 - Óleo de soja transesterificado**

Fonte: Rodrigues, Luanda (2013)

Na tese de Eliziane Santos foi realizado um estudo em cima do óleo de soja refinado, como uma possível aplicação de biolubrificante. A caracterização do processo será explicitada na Figura 23.

**Figura 23 - Fluxograma da caracterização do óleo de soja refinado**

Fonte: Santos (2011)

O resultado da pesquisa retornou à possibilidade de utilização do óleo de soja refinado com um biolubrificante, porém para isso se tornar possível foi necessário a realização do controle correto da viscosidade. Na Figura 24 se encontram as fases finais após as etapas de reação de transesterificação e epoxidação (SANTOS, 2011).

**Figura 24 - Produtos majoritários obtidos nas etapas reacionais**



Fonte: santos (2011)

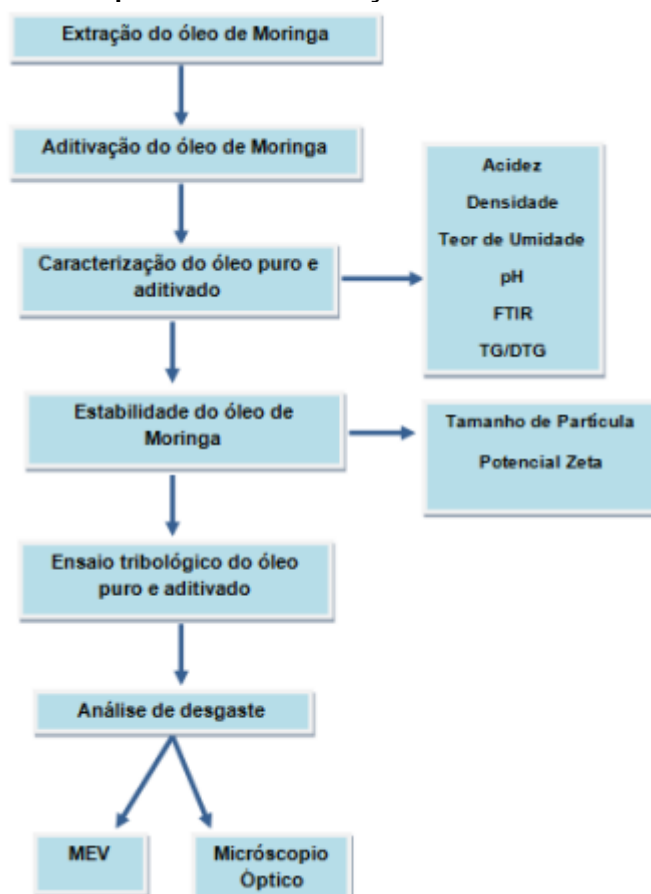
Na pesquisa de Jailson Rodrigues para obtenção dos biolubrificantes derivados do óleo de mamona e das vísceras da tilápia foi necessário uma série de processos, primeiramente determinar os reagentes e soluções que seriam utilizadas, coletar as amostras de óleo de mamona, extrair óleo das vísceras dos peixes. Em seguida realizada as análises físico-química dos óleos (índice de acidez, saponificação, iodo, refração, peróxido, estabilidade oxidativa, viscosidade cinemática a 40°C, densidade e massa específica, teor de umidade, determinação dos ácidos graxos de ambos óleos). Então foi seguido do processo de transesterificação, análise físico-química dos ésteres metílicos, análise da conversão e realizado a reação de epoxidação dos ésteres metílicos, seguido de análises físico-químicas dos ésteres metílicos epoxidados, reação de abertura dos mesmos e por fim foram utilizadas técnicas de caracterização estrutural (RODRIGUES, 2013).

Ambos os óleos podem ser utilizados como biolubrificantes, porém o derivado do óleo da mamona apresentou melhores propriedades físico-químicas, porém em relação ao custo benefício o óleo das vísceras de peixe é economicamente mais

viável, pois se trata de um subproduto de beneficiamento da tilápia. Os biolubrificantes derivados do óleo de mamona e das vísceras da tilápia apresentaram valores elevados de viscosidade, ou seja, podem ser utilizados em locais onde apresentem mudanças de temperaturas significativas. Inclusive utilizando como referência a classificação para óleos de motores da Society of Automotive Engineers (SAE J300 E J306) é verificado que os biolubrificantes produzidos podem ser utilizados na caixa de transmissão e nos motores automobilísticos. Os biolubrificantes apresentaram baixos valores de estabilidade oxidativa, isso pode ser corrigido adicionando antioxidantes (RODRIGUES, 2013).

Na tese de Carolina Aquino foi realizado um estudo em cima do óleo de moringa e sua possível aplicação como um biolubrificante, o processo para a obtenção do mesmo será apresentado na Figura 25.

**Figura 25 - Procedimento experimental da obtenção do biolubrificante do óleo de Moringa**



Fonte: Aquino (2018)

Na Figura 26 podemos observar os dois produtos analisados na esquerda o óleo de moringa puro e na direita o óleo de moringa aditivado.

**Figura 26 - Óleo de Moringa puro e aditivado**



**Fonte: Aquino (2018)**

Ao final do processo foi certificado que é possível a utilização do óleo de moringa puro e aditivado como biolubrificantes, devido a análise dos resultados da caracterização físico-química (densidade, índice de acidez, potencial hidrogeniônico e umidade) (AQUINO, 2018).

O trabalho de Mayara Almeida consistia em verificar a utilização do Cardanol como biolubrificante, o primeiro passo foi realizar a síntese orgânica assistida em microondas, posteriormente espectroscopia de ressonância magnética nuclear, cromatografia em camada delgada, cromatografia gasosa acoplada a espectroscopia de massas, espectroscopia vibracional na região infravermelho, calorimetria exploratória diferencial, análise termogravimétrica, reologia, purificação do cardanol a partir do LCC técnico 1, obtenção do Cdn-E, obtenção do Cdn-AO, obtenção do Cdn-AAA, obtenção do Cdn-A e por fim obtenção do Cdn-AE (ALMEIDA, 2017).

Os resultados das modificações químicas na estrutura do cardanol foram satisfatórios, ou seja, foram obtidos biolubrificantes com maiores estabilidades oxidativas. Graças aos estudos reológicos destacaram que as mudanças realizadas nas estruturas influenciaram diretamente na viscosidade dos biolubrificantes.

Todos os biolubrificantes foram testados, porém não aplicados especificamente no eixo de transmissão de veículos elétricos. O óleo de transmissão para veículos elétricos deve ser compatível com componentes metálicos e não metálicos além de possuir elevada condutividade térmica, já as graxas serão destinadas a lubrificação dos rolamentos dos motores e elementos de tração (BARDAHL, 2022). No Quadro 7 será explicitado os biolubrificantes obtido a partir das onze pesquisas.

**Quadro 7 - Biolubrificantes**

| <b>Título do artigo</b>   | <b>Biolubrificante</b>  |
|---|---|
| Síntese e caracterização de nanolubrificante de licuri de gado  | Nanolubrificante de licuri de gado                                  |
| Análise de viabilidade da utilização do óleo de dendê na lubrificação automotiva através do ensaio PIN-ON-DISK  | Óleo de dendê   |
| Desenvolvimento de biolubrificantes a partir dos óleos de pinhão-manso, macaúba e mamona  | Óleo de pinhão-manso, mamona, amêndoa de macaúba e polpa de macaúba |
| Obtenção e caracterização do óleo da oiticica ( <i>Licania rígida</i> ) para uso como biolubrificante   | Óleo de oiticica (extração mecânica e química)                      |
| Utilização do éster de soja como biolubrificante  | Óleo de soja tranesterificado                                       |
| Caracterização do óleo de carnaúba para uso como biolubrificante  | Óleo de carnaúba  |
| Análise reológica do óleo <i>Joannesia Princeps</i> para biolubrificante sustentável em aplicação em veículos elétricos                                 | Óleo <i>joannesia princeps</i>                                      |
| Síntese e caracterização de biolubrificantes a partir do óleo de soja refinado  | Óleo de soja refinado   |
| Produção de biolubrificantes a partir dos óleos de mamona ( <i>Ricinus communis</i> ) e de vísceras da tilápia do nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) | Óleo de mamona e de vísceras da tilápia                             |
| Desenvolvimento de biolubrificantes a base de óleo de moringa   | Óleo de moringa   |
| Síntese e avaliação termo-oxidativa de potenciais biolubrificantes a partir do cardanol   | Óleo de cardanol  |

**Fonte: Autoria própria**

**2ª Questão** – Qual impacto no mercado de lubrificantes com a transição de uma frota de veículos MCI para veículos elétricos?

Com a mudança de cenário que vem acontecendo no mundo inteiro, tanto por meio de políticas ambientais quanto o esgotamento da principal fonte de combustível dos automóveis em geral, nos leva a perguntar o que acontecerá se a matriz energética deixar de ser sustentada por derivados do petróleo, mas sim de uma fonte sustentável a energia elétrica.

Isso impacta diretamente no mercado de lubrificantes à medida que os fabricantes devem se preocupar com inúmeros fatores como: lubrificação nas áreas

de redução de ruído, eficiência energética e presença de correntes elétricas e campos magnéticos. Transferência térmica, vedação e compatibilidade de materiais também são considerações importantes (MARTINI, 2020).

A ausência do motor de combustão interna para mascarar vibrações aumenta a necessidade de lubrificantes que reduzem o ruído (MARTINI, 2020).

A eficiência energética está ligada à espessura o filme do lubrificante, ou seja, lubrificantes mais finos reduzem o atrito viscoso, o que permite maior conservação de energia. Já as graxas tendem a ficar mais líquidos conforme haja o aumento de temperatura, então a utilização de lubrificantes menos viscosos será um desafio (MARTINI, 2020).

É recomendado a utilização de superfícies com menor rugosidade para garantir que um fino filme de lubrificante possa separar as superfícies e atenuar o desgaste das peças (MARTINI, 2020).

Os materiais não tradicionais utilizados em veículos elétricos trazem novos desafios para os fabricantes de lubrificantes.

Os principais problemas enfrentados pelos fabricantes são satisfazer as novas demandas exigidas pelos novos materiais e ambientes que estão interligados aos projetos de veículos elétricos, causando uma incerteza para o mercado de graxas e lubrificantes que inclui a instabilidade no fornecimento de matéria-prima.

## 5 CONCLUSÃO

Diante das mudanças que vem ocorrendo na configuração da matriz energética mundial, de forma que tecnologias mais sustentáveis são exigidas, os biolubrificantes entram nesse jogo de forma a promover um lubrificante mais sustentável.

No trabalho presente o enfoque era levantar potenciais possibilidades de alternativas verdes para serem utilizadas em estudos de novas formulações e pesquisas de biolubrificantes no setor de mobilidade elétrica para aplicação no eixo de transmissão.

Apesar dos dados obtidos através do uso da RSL ainda assim são necessários mais estudos em cima dos candidatos a lubrificação do eixo, pois por se tratar de um estudo com base em outras pesquisas nenhum teste específico direcionado ao eixo de transmissão de carros elétricos foi realizado.

Mesmo assim vale-se salientar que já existem lubrificantes para o eixo de transmissão de veículos elétricos, os quais foram citados brevemente na revisão bibliográfica. A PETRONAS Iona Integra (fricção de transmissão e eixos), a graxa PETRONAS Iona Glide (rolamentos). A Klüber Lubrication por outro lado possui a série Klüberlectric que trata de uma linha destinada para rolamentos de propulsores elétricos. E por último temos a Valvoline com os fluidos de acionamento EV (eixo de transmissão) e a graxa EV Valvoline (motores elétricos e rolamentos de vedação-controle da condutividade elétrica).

Por se tratar de um estudo muito específico e pioneiro na área, o material presente é escasso, dessa maneira cabe aos trabalhos futuros se dedicarem a realizar as análises direcionadas a esse tipo de lubrificação o qual apresenta um grande potencial de crescimento, inclusive continuar com os trabalhos de biolubrificantes pré-existent, porém dedicar análises para aplicação no eixo de transmissão de veículos elétricos.

## REFERÊNCIAS

AFDC (2022). **How do gasolina cars work?** Disponível em: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-gasoline-cars-work>. Acesso em: 09/04/2022.

Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer, editor. **Alguns produtos químicos industriais e corantes: esta publicação representa os pontos de vista e opiniões de especialistas de um Grupo de Trabalho da IARC sobre a avaliação do risco carcinogênico de produtos químicos para humanos, que se reuniu em Lyon, de 13 a 20 de outubro de 1981** [Internet]. Lyon: Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer; 1982. 416 p. (Monografias da IARC sobre avaliação do risco cancerígeno de produtos químicos para humanos). Disponível em: <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol1-42/mono29.pdf>

Almeida, Mayara de Oliveira (2017). **Síntese e avaliação termo-oxidativa de potenciais biolubrificantes a partir do cardanol**. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/26520>. Acesso em: 12/06/2022.

Ankit Kotia et al 2021 **IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng.1116** 012015

Aquino, Carolina (23 de novembro de 2018). **Desenvolvimento de biobrificantes a base de óleo de moringa**. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/38880>. Acesso em: 10/06/2022.

ARIAS, M. S.; REVILLA, J. L. G.; CARRECEDO, G. B.; GARLOBO, C. M. S. Álcool. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA TECNOLÓGICA-ABIPTI. **Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia Brasília**. Brasília-DF Cap. 4.1 p 229-243. 1999.

Baran R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no consumo de gasolina e eletricidade, 2012**. Tese de Doutorado. Universidade



Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/baran.pdf>. Acesso em: 24/10/2021.

Barbiéri, Luiz Felipe (13 de dezembro de 2018). **Toyota lança em cerimônia com Temer tecnologia para produção de primeiro carro híbrido flex**. G1 (Grupo Globo). Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/videos/noticia/2018/12/toyota-lanca-tecnologia-para-producao-de-primeiro-carro-hibrido-flex-do-mundo.ghtml>. Acesso em: 24/10/2021.

Bardahl (2022). **Carros elétricos precisam de lubrificantes?** Disponível em: <https://blog.bardahl.com.br/carros-eletricos-precisam-de-lubrificantes/>. Acesso em: 14/05/2022.

Bartels T, Bock W. **Gear Lubrication Oils**. In: Mang T, Dresel W, editors. Lubr. Lubr. 3rd ed., Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2017, p. 293–344. doi:10.1002/9783527645565.ch10.

Bayat R, Lehtovaara A. **EHL/mixed transition of fully formulated environmentally acceptable gear oils**. Tribol Int 2020:106158. doi:10.1016/j.triboint.2020.106158.

Borges, Rafaela (2022). **Etanol X elétricos**. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/reportagens-especiais/etanol-x-eletricos/#cover>. Acesso em: 09/06/2022.

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. **"Knocking"**. Encyclopedia Britannica, 15 Jun. 2015, <https://www.britannica.com/technology/knocking-internal-combustion-engine>. Acesso em: 23/10/2021.

Carboroil (2021). **Por que utilizar o Diesel s10 é melhor?** Disponível em: <https://carboroil.com.br/por-que-utilizar-o-diesel-s10-e-melhor/#:~:text=ser%20mais%20vantajoso!-,O%20que%20%C3%A9%20o%20diesel%20S10,do%20tom%20vermelho%20do%20S500>. Acesso em: 08/06/2022.

Cavalcante, Ulisses. **A evolução das linhas de montagem de automóveis**. Quatro rodas, 2021. Disponível em <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/a-evolucao-das-linhas-de-montagem-de-automoveis>. Acesso em: 13/10/2021.

CAVALCANTI, Synara Lucien de Lima. **Caracterização do óleo de carnaúba para uso como biolubrificante**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

CNN (18 de julho de 2019). **Electric cars have been around since before the US civil war**. Disponível em: <https://edition.cnn.com/interactive/2019/07/business/electric-car-timeline/index.html>. Acesso em: 09/04/2022.

Daniel Hessel Teich (15 de junho de 2006). **A consagração do carro flex**. Revista exame. Acesso em: 24/10/2021.

de Santiago, J.; Bernhoff, H.; Ekergård, B.; Eriksson, S.; Ferhatovic, S.; Waters, R.; Leijon, M. **Electrical Motor Drivelines in Commercial All-Electric Vehicles: A Review**. IEEE Trans. Veh. Technol. 2012, 61, 475–484.

DI GIULIO, Gabriela. Motor bicombustível ganha cada vez mais consumidores. **Inovação Uniemp**, Campinas, v. 2, n. 1, mar. 2006. Disponível em <[http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1808-23942006000100022&lng=pt&nrm=iso](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942006000100022&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 24 out. 2021.

Efficaxbrasil. **Graxa vegetal**. Disponível em: <https://www.efficaxbrasil.com.br/graxa-vegetal/>. Acesso em 07/11/2021.

E-mobile (2005). **La Jamais Contente Caractéristiques techniques**. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20101218064720/http://www.e-mobile.ch/pdf/2005/Fact-Sheet\\_LaJamaisContente\\_FW.pdf](https://web.archive.org/web/20101218064720/http://www.e-mobile.ch/pdf/2005/Fact-Sheet_LaJamaisContente_FW.pdf). Acesso em: 09/04/2022.

Energy (15 de setembro de 2014). **The history of the Electric Car**. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>. Acesso em: 09/04/2022.

Erhan, S. Z. (2005). **Industrial Uses of Vegetable Oil**. AOCS publishing.

European Commission. **2011/381/EU: Commission Decision of 24 June 2011 on establishing the ecological criteria for the award of the EU Ecolabel to lubricants (notified under document C(2011) 4447)** Text with EEA relevance. 2011.

Exame (2019). **Veículos elétricos podem acabar também com outro setor: o de lubrificantes**. Disponível em: <https://exame.com/negocios/veiculos-eletricos-podem-acabar-tambem-com-outro-setor-o-de-lubrificantes/>. Acesso em: 08/06/2022

Fagundes, Dyogo (13 de dezembro de 2018). **Toyota confirma produção do primeiro híbrido flex no Brasil em 2019**. G1 (Grupo Globo). Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2018/12/toyota-confirma-producao-do-primeiro-carro-hibrido-flex-do-mundo-no-brasil.ghtml>. Acesso em 24/10/2021.

Farfan-Cabrera, L.I. **Tribology of electric vehicles: A review of critical components, current state and future improvement trends**. Tribol. Int. 2019, 138, 473–486.

Flumignan DL, Anaia GC, Ferreira FO, Tininis AG, de Oliveira JE. **Avaliação da qualidade da gasolina automotiva brasileira por meio da quantificação de hidrocarbonetos saturados e etanol anidro por cromatografia gasosa e análise exploratória de dados**. Cromatografia. 2007; 65 (9): 617-23.

GREENHALGH, Trisha. **How to read a paper: Papers that summarise other papers: systematic reviews and meta-analysis**. British Medical Journal, v. 315, p. 672-5, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.672>.

Hernandes, Pedro (31 de julho de 2018). **As cinco funções básicas do óleo lubrificante**. Disponível em: <https://www.alsglobal.com/%2Fpt-br%2Fnews%2Fartigos%2F2018%2F07%2Fas-cinco-funes-bsicas-do-leo-lubrificante>. Acesso em: 07/11/2021.

IEA (2021), **Global EV Outlook 2021**, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.

Interestingengineering (01 de julho de 2020). **A brief history and Evolution of electric cars**. Disponível em: <https://interestingengineering.com/a-brief-history-and-evolution-of-electric-cars>. Acesso em: 09/04/2022.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. In: Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE, 2007. Disponível em: [https://www.elsevier.com/\\_\\_data/promis\\_misc/525444systematicreviewsguide.pdf](https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf). Acesso 17/11/2021.

Kleina, Nilton (16 de março de 2021). **A história dos carros elétricos**. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/212835-historia-carros-eletricos-saiba-tudo-comecou.htm>. Acesso em: 09/04/2022.

Klueber (2022). **Lubrificantes especiais para veículos: todos os aspectos do Powertrain**. Disponível em: <https://www.klueber.com/br/pt/solucoes-para-a-industria/industria/industria-automotiva/lubrificantes-especiais-para-ve%C3%ADculos-todos-os-aspectos-do-powertrain/>. Acesso em: 16/06/2022.

Kunapareddy, Nikhil. **Finding the best lubricant for an electric vehicle**. Tribonet,2021. Disponível em <<https://www.tribonet.org/finding-the-best-lubricant-for-an-electric-vehicle/>>. Acesso em: 13/10/2021.

LATHI, Piyushi S; MATTIASSON, B. **Green approach for the preparation of biodegradable lubricant base stock from epoxidized vegetable oil**. AppliedCatalysis B 69: Environmental Sweden, p. 207-212, 2007.

LEXINGTON, KY. (26 de Setembro de 2019). **A Valvoline anuncia linha de produtos para veículos elétricos**. Disponível em: <https://valvoline.com.br/a-valvoline-anuncia-linha-de-produtos-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 16/06/2022.

LIMA NETO, Ademar; DA CUNHA, Mônica; CARVALHO, Lukas. **Uma revisão sistemática sobre tecnologias assistivas voltadas para auxiliar a locomoção de deficientes visuais em ambiente externo utilizando soluções embarcadas.** *In: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO BAHIA, ALAGOAS E SERGIPE (ERBASE), 20., 2020, Arapiraca-AL. Anais [...].* Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 89-98.

Luther R. **Lubricants in the Environment.** *In: Mang T, Dresel W, editors. Lubr. Lubr. 3rd ed.,* Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2017, p. 153–236. doi:10.1002/9783527610341.ch7.

Lukaszczyk, M. **Improving efficiency in electric motors.** *World Pumps 2014, 2014,* 34–41.

MANUAL DA QUÍMICA. **Gasolina.** Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/combustiveis/gasolina.htm> Acesso em 24/10/2021.

Margarida, B. R., Giacomini-Junior, W. R., Lima Luz Junior, L. F., Pedersen Voll, F. A., & Corazza, M. L. (2020). **Process Analysis of Biodiesel Production – Kinetic Modeling, Simulation, and Process Design.** *In Process Systems Engineering for Biofuels Development.* Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119582694.ch9>.

MARSHALL BRAIN. **"HowStuffWorks - Como funcionam os motores a diesel"**. Publicado em 01 de abril de 2000 (atualizado em 14 de abril de 2008).

Martini (2020). **Graxas para veículos elétricos: um futuro incerto.** Disponível em: <https://portallubes.com.br/2020/06/graxas-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 14/05/2022.

Mccarthy N. **Oito países com maior mercado de carros elétricos no 1º trimestre de 2015.** *Revista Forbe 2015.*

Meunier N. **La vérité sur la consommation des voitures électriques: Magazine Challenges, 2012.** Disponível em:

<http://automobile.challenges.fr/dossiers/20120807.LQA3178/la-verite-sur-la-consommation-des-voitures-electriques.html>. Acesso em: 24/10/2021.

Ministério das Minas de Energia (MME); **Balço energético Nacional**. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf), acessado em 22/10/2021.

Mobarak HM, Niza Mohamad E, Masjuki HH, Kalam MA, Al Mahmud KAH, Habibullah M, et al. **The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications**. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;33:34–43. doi:10.1016/J.RSER.2014.01.062.

Mobilidade. **Veículos se preparam para atender a legislação do Proconve P8**. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/meios-de-transporte/veiculos-se-preparam-para-atender-a-legislacao-do-proconve-p8/>. Acesso em 24/10/2021.

MOURA SOUSA SILVA, E. F.; CEZAR, S. O.; GONÇALVES, A. C.; MATOS FILHO, P. R. R.; COSTA, G. A. **Análise de viabilidade da utilização do óleo de dendê na lubrificação automotiva através do ensaio pin-on-disk**. *ForScience*, v. 7, n. 2, 26 set. 2019.

Nagendramma P, Kaul S. **Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview**. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:764–74. doi:10.1016/J.RSER.2011.09.002.

Neocharge (2022). **Conheça os tipos de carros elétricos**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Acesso em: 09/06/2022.

Neto, Carlos (1 de abril de 2021). **Sistema de transmissão do carro elétrico Bolt da Chevrolet – componentes e funcionamento**. Disponível em: <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/sistema-de-transmissao-do-carro-eletrico-bolt-da-chevrolet-componentes-e->



<https://jornaldocarro.estadao.com.br/servicos/motores-flex-correm-risco-acabar-partir-2025/>. Acesso em 24/10/2021.

Periago JF, Zambudio A, Prado C. **Avaliação dos níveis ambientais de hidrocarbonetos aromáticos em postos de gasolina por cromatografia gasosa.** J Chromatogr A. 1997; 778 (1-2): 263-8.

Perlangeli, A. (setembro de 2017). **Impact of electric vehicles on lubricants demand.** McKinseyEnergyInsights. Disponível em: <https://www.mckinseyenergyinsights.com/insights/impact-of-electric-vehicles-on-lubricants-demand/>. Acesso em 19/11/2021.

PETROBRAS (03 de fevereiro de 2015). **Iniciamos testes de campo com biolubrificantes.** Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/iniciamos-testes-de-campo-com-biolubrificantes.htm>. Acesso em: 07/11/2021.

Petrobras. **Óleo diesel.** Petrobras. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/automotivos/oleo-diesel/>. Acesso em: 22/10/2021.

Petrobras (2022). **Óleo Diesel.** Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/industriais/oleo-diesel/>. Acesso em: 08/06/2022.

Pettersson A. **Environmentally Adapted Lubricants: Properties and Performance.** Luleå University of Technology, 2006.

Pettersson A. **High-performance base fluids for environmentally adapted lubricants.** Tribol Int 2007;40:638–45. doi:10.1016/j.triboint.2005.11.016.

Reis, Pedro (22 de novembro de 2018). **Vantagens e desvantagens do carro elétrico VS gasolina.** Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/>. Acesso em: 09/06/2022.

RIBEIRO JUNIOR. Elson Heraldo; PENTEADO, Rosangela de Fatima Stankowitz. **Modelo para formatação de trabalhos acadêmicos da UTFPR.** Ponta Grossa, 2011. (Apostila).



Rodrigues, Jailson (2013). **Produção de biolubrificantes a partir dos óleos de mamona (*ricinus communis*) e de vísceras da tilápia do nilo (*oreochromis niloticus*)**. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/22595>. Acesso em: 10/06/2022.

RODRIGUES, Luanda Kívia de Oliveira (24 de julho de 2013). **Utilização do éster de soja como biolubrificante**. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15704>. Acesso em: 15/05/2022.

RODRIGUES, Luanda Kívia de Oliveira. **Síntese de caracterização de nanolubrificante de Licuri de gado**. 2018. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

Rudnick LR. **Synthetics, mineral oils, and bio-based lubricants – chemistry and technology**. Boca Raton: CRC Press; 2006. Cap. 21, 22, 24.

SALIMON, Jumat; SALIH, Nadia; ABDULLAH, Bashar M. **Improvement of Physicochemical Characteristics of Monoepoxide Linoleic Acid Ring Opening for Biolubricant Base Oil**. Journal of Biomedicine and Biotechnology, v. 2011.

Salsa, Carol (14 de outubro de 2009). **Biolubrificantes: Protegendo o ambiente**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2009/10/14/biolubrificantes-protetendo-o-ambiente-artigo-de-carol-salsa/>. Acesso em: 07/11/2021.

Santana, Nicole (2 de dezembro de 2021). **Carros elétricos tem câmbio? Confira essa e outras curiosidades**. Disponível em: <https://garagem360.com.br/carros-eletricos-tem-cambio-confira-essa-e-outras-curiosidades/>. Acesso em: 10/04/2022.

Santos, Eliziane (30 de novembro de 2011). **Síntese e caracterização de biolubrificantes a partir do óleo de soja refinado**. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9611>. Acesso em: 10/06/2022.

SEARS, F. W., ZEMANSKY, M. W. **Física**. Brasília, v.2, Ed Universidade de Brasília, 1973.

Silva JE, Tonin F, Urbanetz JJ. **Veículos elétricos e a geração distribuída partir de sistemas fotovoltaicos: Conferência internacional de energias inteligentes**. Curitiba, 2016.

Sogilub. **Impacte da mobilidade eléctrica no mercado de óleos lubrificantes**. Disponível em: <https://www.sogilub.pt/mobilidade-electrica/>. Acesso em: 16/11/2021.

Souza, Jean (29 de janeiro de 2021). **Carros elétricos e híbridos: vantagens, desvantagens e como funciona troca de óleo**. Disponível em: <https://oleocerto.com/veiculos/carro/carros-eletricos-e-hibridos-conheca-as-vantagens-desvantagens-e-saiba-como-funciona-sua-troca-de-oleo/>. Acesso em: 16/06/2022

Starling, Maria Flávia Rodrigues (24 de fevereiro de 2016). **Desenvolvimento de biolubrificantes a partir dos óleos de pinhão-manso, macaúba e mamona**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/SFSA-AXHPSZ>. Acesso em: 15/05/2022.

**UE quer proibir carros movidos a combustível fóssil até 2035**, dw, 2021. Disponível em <https://www.dw.com/pt-br/ue-quer-proibir-carros-movidos-a-combust%C3%ADvel-f%C3%B3ssil-at%C3%A9-2035/a-58265590>. Acesso em 13/10/2021.

Uyvari Jr., Roberto (19 de setembro de 2012). **Tecnologia verde-Biolubrificantes chegam às grandes indústrias nacionais**. Disponível em: <https://ideiasustentavel.com.br/tecnologia-verde-biolubrificantes-chegam-as-grandes-industrias-nacionais/>. Acesso em: 07/11/2021.

WAGNER, H., LUTHER, R., MANG, T. **Lubricant base fluids on renewable raw materials their catalytic manufacture and modification**. AppliedCatalysis, v. 221, p. 429-442, 2001.

Walther, H.C.; Holub, R.A. **Lubrication of electric motors as defined by IEEE standard 841-2009, shortcomings and potential improvement opportunities.** In Proceedings of the 2014 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), San Francisco, CA, USA, 8–10 September 2014; pp. 91–98.

Wiedemann LS, d'Avila LA, Azevedo D de A. **Qualidade da gasolina brasileira: estudo da adulteração por análise estatística e cromatografia gasosa.** J Braz Chem Soc. 2005; 16 (2): 139-46.

Wikipedia (2021). **Carnaúba.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Carna%C3%BAba>. Acesso em: 07/11/2021.

Wikipedia (2022). **Veículo elétrico.** Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ve%C3%ADculo\\_el%C3%A9trico#/media/Ficheiro:Jamais\\_contente\\_parade.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ve%C3%ADculo_el%C3%A9trico#/media/Ficheiro:Jamais_contente_parade.jpg). Acesso em: 09/04/2022.

ZHANG, Y.; DUBÉ, M.A.; Mc LEAN, D.D.; KATES, M. **Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment.** Bioresource Technology, v. 89, p. 1-16, 2003.