



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

TALLES DI SERIO ZILIO

**ALTERNATIVA DE MOTORES HÍBRIDOS COMO SOLUÇÃO
SUSTENTÁVEL PARA O CENÁRIO BRASILEIRO**

Sorocaba

2024

TALLES DI SERIO ZILIO

**ALTERNATIVA DE MOTORES HÍBRIDOS COMO SOLUÇÃO
SUSTENTÁVEL PARA O CENÁRIO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Cesar Germano Martins

Sorocaba

2024

Z69a

Zilio, Talles Di Serio

Alternativa de motores híbridos como solução sustentável para o cenário brasileiro. / Talles Di Serio Zilio. -- Sorocaba, 2024

36 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Antonio Cesar Germano Martins

1. Motores Elétricos. 2. Motores de combustão interna. 3. Etanol. 4. Meio ambiente. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

**ALTERNATIVA DE MOTORES HÍBRIDOS COMO SOLUÇÃO
SUSTENTÁVEL PARA O CENÁRIO BRASILEIRO**

TALLES DI SERIO ZILIO

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE **BACHAREL EM
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO****

Prof. Dr. Everson Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS
Orientador/UNESP – Campus de Sorocaba

Prof.^a Dr.^a FABIANE MONDINI
UNESP - Campus de Sorocaba

Prof. Dr. LUIS DE ORO ARENAS
UNESP – Campus de Sorocaba

03 de junho de 2024

Ao chegar ao final desta jornada acadêmica, diversas emoções se entrelaçam em meu peito: gratidão, alívio, orgulho e uma sensação de realização que só quem percorre este caminho compreende. Este trabalho não apenas simboliza o culminar de anos de estudo e dedicação, mas também a concretização de um sonho alimentado por incontáveis horas de esforço, superação e, sobretudo, aprendizado.

Em primeiro lugar, minha gratidão imensurável à minha família, cujo apoio incondicional foi o farol que me guiou através dos momentos de tempestade. A paciência, o amor e a crença inabalável que depositaram em mim foram a base sobre a qual construí cada página deste trabalho. Sem vocês, a jornada teria sido imensuravelmente mais difícil. Em especial para minha mãe, em memória, Gisele Goretti Gallao Di Serio Zilio, meu pai Adriano Aparecido Zilio e minha irmã Tamires Di Serio Zilio.

Agradeço também aos meus amigos e moradores da República Sókanela, companheiros de uma jornada que, embora individual, jamais foi solitária. Nos momentos de desânimo, vocês foram a força que me impulsionou para frente; na celebração de cada pequena vitória, foram a alegria compartilhada que multiplicou o valor de cada conquista. A cada um de vocês, meu sincero obrigado por fazerem parte da minha história, em especial para Pedro Augusto Banieti Hidalgo, Milene Da Silva, Gabriel Sereia Batista da Silva, Lucas Eduardo Amore Fenz, Pedro de Oliveira Masetti, Pedro Pincinato Gut e Anderson Sousa Ramalho. E, de maneira carinhosa, meu maior agradecimento para a saudosa República SóKanela dona dos meus dias imorais, dona dos meus dias imortais.

Agradeço à Liconic Technology, com saudações para João Vitor Valentin Arruda e Murilo Rodrigues Rodelli pelo fato de impulsionarem e ampliarem minha visão profissional, me mostrando que os limites dos nossos mundos são os limites dos nossos conhecimentos.

À Universidade e ao Departamento de Engenharia de Controle e Automação, expresso minha gratidão por fornecerem o ambiente e os recursos necessários para a minha formação. Aos professores e mentores, em especial, meu profundo respeito e apreço por compartilharem não apenas seu vasto conhecimento, mas também sua paixão pela engenharia, inspirando-me a buscar sempre mais.

Este trabalho é dedicado a todos vocês, que de alguma forma tocaram minha vida e contribuíram para a minha formação. Que possamos continuar a construir juntos, em nossas respectivas jornadas, um futuro brilhante e repleto de novas conquistas.

“Acreditamos que a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda. Se a nossa opção é progressiva, se estamos a favor da vida e não da morte, da equidade e não da injustiça, do direito e não do arbítrio, da convivência com o diferente e não de sua negação, não temos outro caminho se não viver a nossa opção. Encarná-la, diminuindo, assim, a distância entre o que dizemos e o que fazemos.”

(Paulo Freire)

ZILIO, Talles Di Serio. **Alternativa de motores híbridos como solução sustentável para o cenário brasileiro**. 2024. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2024.

RESUMO

Com o passar dos anos a sociedade se torna cada vez mais dependente da mobilidade. Tendo como preferência os veículos de pequeno porte, estes só tendem a crescer em quantidade que trafegam pelas ruas colaborando assim significativamente para o aumento dos índices de gases que causam o efeito estufa. Dados recentes apontam que no Brasil a emissão de gases de efeito estufa emitidos pelo setor de energia ficam atrás apenas das emissões relativas ao desmatamento (mudança de uso da terra) e as emitidas pelo setor da agropecuária. Cada vez mais o setor automotivo busca alternativas para esse problema e a pesquisa, o desenvolvimento, a produção e a comercialização dos veículos elétricos e híbridos só vêm crescendo pelo mundo. Contudo os custos envolvidos nessa questão ainda são muito elevados sem mencionar a questão de conceitos enraizados pelo homem durante décadas na utilização de veículos movidos a combustíveis fósseis. O objetivo deste trabalho é trazer pra reflexão que, dentre as opções de propostas voltadas a preservação do meio ambiente adotadas pela indústria automotiva no desenvolvimento de veículos mais sustentáveis, a utilização de veículos híbridos, com motorização elétrica e a combustão por etanol se apresenta como uma alternativa extremamente interessante para o Brasil em relação à sustentabilidade. A metodologia utilizada foi uma pesquisa bibliográfica nas plataformas digitais CAPES, SCIELO e Google Acadêmico bem como uma pesquisa em sites especializados nas tendências do mercado automotivo que possibilitaram uma discussão embasada do uso do carro elétrico no Brasil. Os resultados encontrados apontam as iniciativas do setor automotivo em se posicionar em relação às questões de sustentabilidade apresentando algumas opções distintas de motorização veicular inclusive a opção de motores híbridos etanol, objeto desta pesquisa.

Palavras-Chave: motor elétrico; motor a combustão interna; etanol; meio ambiente.

ZILIO, Talles Di Serio. **Alternative to hybrid engines as a sustainable solution for the Brazilian scenario**. 2024. 36 p. Final Paper (Bachelor's Degree in Control and Automation Engineering) – Institute of Science and Technology, São Paulo State University, Sorocaba, 2024.

ABSTRACT

As the years go by, society becomes more and more dependent on mobility. With preference for small vehicles, they tend to grow in numbers traveling on the streets, thus contributing significantly to increase the levels of gases that cause the greenhouse effect. Recent data shows that, in Brazil, greenhouse gas emissions from the energy sector are second only to those resulting from deforestation (land use change) and those emitted by the agricultural. Increasingly, the automotive sector is looking for alternatives to this problem and the research, development, production and commercialization of electric and hybrid vehicles have only been growing around the world. However, the costs involved are still very high, not to mention the issue of concepts rooted by man for decades in the use of fossil fuel vehicles. The objective of this work is to bring to reflection that, among the options of proposals aimed at preserving the environment adopted by the automotive industry in the development of more sustainable vehicles, the use of hybrid vehicles, with electric motorization and ethanol combustion presents itself as an extremely interesting alternative for Brazil in relation to sustainability. The methodology used was a bibliographic research on the digital platforms CAPES, SCIELO and Google Scholar, as well as a research on websites specialized in automotive market trends that enabled a grounded discussion of the use of electric cars in Brazil. The results point to the initiatives of the automotive sector in positioning itself in relation to sustainability issues, presenting some different options of vehicle motorization, including the option of ethanol hybrid engines, object of this research.

Keywords: electric motor; internal combustion engine; ethanol; environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Emissão de gases de efeito estufa no Brasil por setor	12
Figura 2 – Políticas públicas /Rotas de desenvolvimento.....	14
Figura 3 - Fluxograma das etapas de seleção dos artigos pesquisados.....	18
Figura 4 – Participação dos carros flex no Brasil.....	21
Figura 5 – Evolução da capacidade instalada de produção de etanol no Brasil.....	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de carros híbridos e elétricos na frota nacional (acumulado)	16
Gráfico 2 - Emissões de CO2 pelos veículos automotores no Brasil	23
Gráfico 3 - Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível 2023	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Contribuições das indústrias automotivas para a sustentabilidade	15
Quadro 2 – Comparativo tipos de motores.....	24

SUMÁRIO

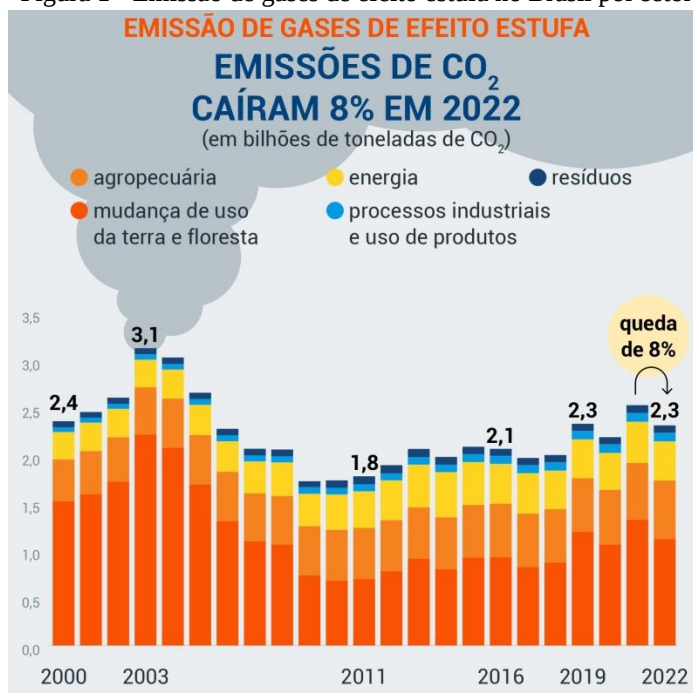
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo	17
1.2 Justificativa	17
1.3 Metodologia	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 O motor a combustão interna	19
2.2 O motor elétrico	19
2.3 O motor flex	20
2.4 O motor híbrido	21
2.5 Sustentabilidade veicular	22
2.6 Produção sustentável	26
3 RESULTADOS	28
4 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Um dos temas mais abordados em relação à sustentabilidade e preservação do meio ambiente é a emissão de poluentes oriundos de diversos setores, o que vem chamando a atenção de autoridades, gestores e a população de forma geral na busca de novas tecnologias que possam contribuir para a redução dos efeitos causados por esta prática.

Apesar de o Brasil apresentar uma queda de 8% na emissão de gases de efeito estufa em 2022 comparado ao ano anterior, o país produziu 2,3 bilhões de toneladas brutas de gases de efeito estufa, ou GtCO₂e (de gás Carbônico equivalente) (BANDEIRA, 2023). A figura 1 apresenta o setor de energia, onde são computados os números da indústria automotiva, como sendo o terceiro setor responsável pela emissão de gases de efeito estufa. Assim, soluções que visam reduzir essa prática e tornar o setor mais sustentável são imprescindíveis.

Figura 1 - Emissão de gases de efeito estufa no Brasil por setor



Fonte: Observatório do Clima (2023) *apud* Bandeira (2023).

A indústria automotiva tem sido considerada neste cenário uma das mais poluentes e vêm reavaliando seus processos produtivos em busca de opções mais sustentáveis, gerando maior valor para os empreendimentos e para a população (STOICOV; FERRONI, 2013).

Apoiada por programas governamentais de incentivos produtivos como, por exemplo, o Rota 2030 no Brasil, a indústria automotiva busca desenvolver novas tecnologias gerando maior

eficiência energética com alternativas menos poluentes tornando-se nas últimas décadas um dos setores que mais evoluiu na busca por alternativas sustentáveis.

A publicação da lei nº 13.755, de 10 de Dezembro de 2018 estabelece requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil e institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística; onde dispõe em seu Art 2º a redução de alíquotas do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) em até 2%. (BRASIL, 2018)

A referida lei ainda pontua em seu capítulo II especificamente sobre o programa Rota 2030 o seguinte:

Art. 7º Fica instituído o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade, a inovação, a segurança veicular, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade de automóveis, de caminhões, de ônibus, de chassis com motor e de autopeças.

Art. 8º O Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística terá as seguintes diretrizes:

I - incremento da eficiência energética, do desempenho estrutural e da disponibilidade de tecnologias assistivas à direção dos veículos comercializados no País;

II - aumento dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação no País;

III - estímulo à produção de novas tecnologias e inovações, de acordo com as tendências tecnológicas globais;

IV - incremento da produtividade das indústrias para a mobilidade e logística;

V - promoção do uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira;

VI - garantia da capacitação técnica e da qualificação profissional no setor de mobilidade e logística; e

VII - garantia da expansão ou manutenção do emprego no setor de mobilidade e logística. (BRASIL, 2018)

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) em parceria com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), agência pública que financia a inovação desde a pesquisa básica até a preparação do produto para o mercado, oferece também como incentivo o programa “Inova Sustentabilidade” cujo objetivo é coordenar e promover ações que ofereçam inovação a criação de instrumentos e ferramentas que colaborem com o meio ambiente na geração de projetos sustentáveis direcionados a:

- Eficiência energética no setor industrial.
- Produção sustentável mais eficiente de carvão vegetal.
- Prevenção e controle de emissões atmosféricas.
- Tratamento e redução no uso de substâncias tóxicas ou perigosas.
- Coleta, tratamento, redução e reutilização de efluentes líquidos industriais.

- Redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos industriais e recuperação de áreas degradadas (FINEP, [2023?]).

Além destes, existem diversos outros programas incentivando rotas de desenvolvimento no setor energético por meio das políticas públicas, conforme apresentado na Figura 2

Figura 2 – Políticas públicas /Rotas de desenvolvimento

Política	Rota Incentivada	Lançamento	Liderança
 Política Nacional de Biocombustíveis (Renovabio)	Biocombustíveis (ex. Etanol, Biodiesel, etc.)	2016	MME
 Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)	Biodiesel	2004	MAPA
 Novo Mercado do Gás	Gás Natural / Biogás	2019	MME
 Descontos em Tarifas de Importação para xEVs	Elétricos	2015	Ministério da Economia
 Desconto em IPI para xEVs	Elétricos	2020	MDIC
 Desconto em IPVA para xEVs	Elétricos	-	Governos Estaduais
 Programa Combustível do Futuro	Eixo sobre ciclo Otto, Diesel, Hidrogênio, etc.	2021	MME
 Programa Nacional do Hidrogênio	Hidrogênio	Em elaboração	MME

Nota: MME - Ministério de Minas e Energia; MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; xEVs - veículos eletrificados



13

Fonte: ANFAVEA (2021)

Essas iniciativas colaboram para que se tenha hoje uma realidade, não só no setor automotivo, pautando a busca por atitudes mais sustentáveis onde, na fabricação de veículos, se destaca uma nova concepção como opção aos clássicos motores a combustão.

De acordo com Moraes Júnior, Ikeda e Cunha Filho (2018), alternativas como os veículos elétricos e híbridos apresentam principal vantagem à redução de emissão de gás carbônico e um melhor reaproveitamento de energia.

Stoicov e Ferroni (2013) apontam a responsabilidade do setor automotivo em relação à sustentabilidade de uma maneira mais ampla. Para os autores a questão se estende não só a emissão de gases poluentes, que apresenta como alternativa a produção de outros tipos de veículos como híbridos e elétricos, mas traz aspectos relacionados à segurança, transporte público e equidade, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Contribuições das indústrias automotivas para a sustentabilidade

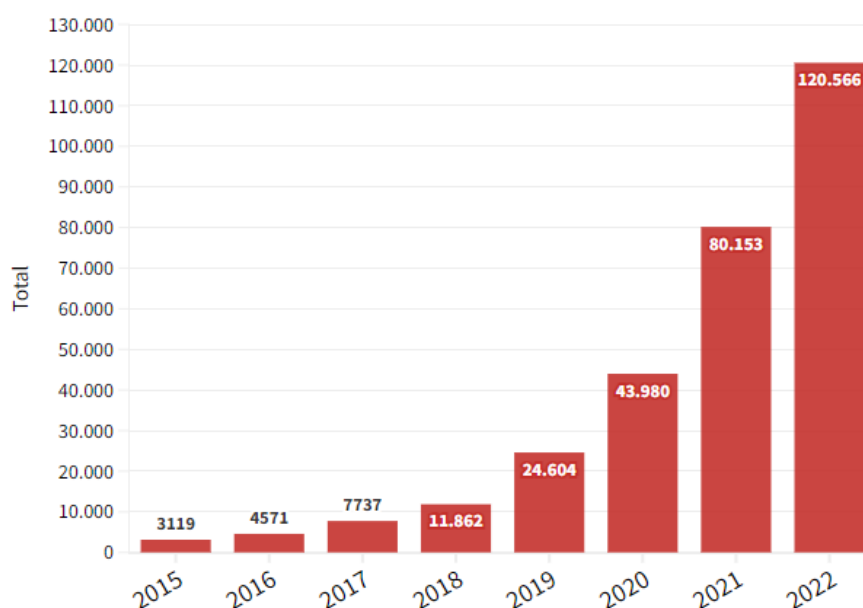
CONDIÇÃO	ALTERNATIVAS
Emissão de gases do efeito estufa. (GEE)	Diversidade de combustíveis (fóssil, biocombustível – tanto líquido como gasosos, hidrogênio e elétricos) e de motores de combustão interna (MCI), células combustíveis e células combustíveis híbridas (MCI híbridos).
Implicações nos princípios de equidade	Moderação na utilização do solo destinado ao transporte e sua destinação a áreas produtivas, incluindo os biocombustíveis. Aumento do acesso aos meios de mobilidade e a segurança pessoal nos transportes públicos, exposição aos níveis de ruído, etc.
Recursos naturais e impactos no meio ambiente	Alternativas às fontes finitas de combustível fóssil, redução do uso de energia para o transporte, fontes seguras e limpas de energia, volume total de materiais usados e as reais taxas de reciclagem veículos menos poluentes, etc.
Segurança	Desenvolvimento de tecnologia a favor da sustentabilidade, por exemplo: utilização de sensores de iluminação para redução do consumo de energia, desenvolvimento de materiais mais resistentes minimizando o volume de itens descartados, educação no trânsito e na condução do veículo, a fim de diminuir o descarte de RSU e despesas públicas.
Tempo de viagem	Redução do número total de viagens ou remoção da necessidade de locomoção (planejamento urbano e regional do transporte público e conexões, planejamento da logística de mercadorias, rodízios, caronas, etc.).

Fonte: Stoicov e Ferroni (2013)

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), o Brasil contava em 2022 com uma frota de veículos na casa de 115 milhões sendo que os veículos de passeio correspondiam a aproximadamente 53% deste montante, algo em torno de 60 milhões.

A produção de veículos híbridos alcançou, no mesmo ano, a quantidade de 120 mil unidades, apesar de corresponder a aproximadamente 0,11 % da frota brasileira sua produção e venda vem crescendo gradativamente como apresentado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Quantidade de carros híbridos e elétricos na frota nacional (acumulado)



Fonte Neocharge (2023) apud Passos (2023).

O Brasil se destaca no cenário mundial, pois, apesar de ter um processo de eletrificação mais lento se comparado a outros países, as fontes de energia utilizadas para recarga dos motores híbridos, objeto de estudo desta pesquisa, são geradas prioritariamente a partir de fontes renováveis. Destaca-se também pela produção do etanol, oriundo da cana de açúcar, já utilizado como alternativa de combustível nos carros flex a combustão e podendo ser explorado como alternativa sustentável na concepção de carros híbridos em nosso país.

Estudos realizados nas últimas décadas mostram que o etanol é menos nocivo se comparado com a gasolina.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) já apontava em seu relatório de 2009 que o etanol reduz em média 73% das emissões de CO₂ (EMBRAPA, 2009 *apud* FERREIRA, 2009). De acordo com Raizen (2022), o etanol brasileiro emite em média 80% menos gases na atmosfera do que a gasolina, além do fato de oferecer uma gestão mais eficaz em relação ao ciclo de carbono, devido ao processo produtivo da cana de açúcar. Este percentual em torno de 80% vem sendo validado não só por órgãos e pesquisadores como também noticiado pela mídia como, por exemplo, no Jornal da Paraíba (OLIVEIRA, 2020).

1.1 Objetivo

Trazer pra reflexão que, dentre as opções de propostas voltadas a preservação do meio ambiente, adotadas pela indústria automotiva, no desenvolvimento de veículos mais sustentáveis, a utilização de veículos híbridos, com motorização elétrica e a combustão por etanol se apresenta como uma alternativa extremamente interessante para o Brasil em relação à sustentabilidade

1.2 Justificativa

Este trabalho se justifica ao tratar um assunto relevante e atualmente abordado em esfera global. A participação de 193 estados membros das Nações Unidas comprometidos desde setembro de 2015 com os aspectos de sustentabilidade em nosso planeta estabeleceu o ano de 2030 para o atingimento de 169 metas distribuídas em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Intitulada como Agenda 2030 tem como um de seus pontos principais a preservação e perpetuação do meio ambiente, a partir da redução da pegada de carbono e diminuição do efeito estufa, questões estas abordadas nesta pesquisa.

Este trabalho também se justifica uma vez que, apesar da pesquisa bibliográfica realizada apresentar diversos artigos sobre sustentabilidade veicular, detectou-se uma quantidade menor de artigos onde a literatura aborde as questões da utilização do etanol como opção de combustível a ser adotado, onde se pode concluir que este resultado remete-se a questão que apesar da busca por alternativas aos motores a combustão ser uma ideia antiga, como retratada na literatura encontrada, seu desenvolvimento efetivo só teve início com o suporte dos avanços da tecnologia, há aproximadamente 30 anos. Os primeiros carros híbridos a chegarem ao Brasil foram o *Ford Fusion* e o *Mercedes-Benz S400*, ambos em 2010 seguidos pelo *Toyota Prius* que embora tenha sido lançado na Europa em 1997 só foi apresentado ao público Brasileiro em 2012. Em 2019 a *Toyota* inova no quesito sustentabilidade e lança no Brasil o primeiro veículo híbrido flex, o *Corolla* híbrido (AUTOMÓVEL..., 2023).

Dessa forma, este trabalho busca contribuir com a discussão sobre o efeito do uso de energia no setor de transportes e incentivar outros estudos pertinentes ao tema.

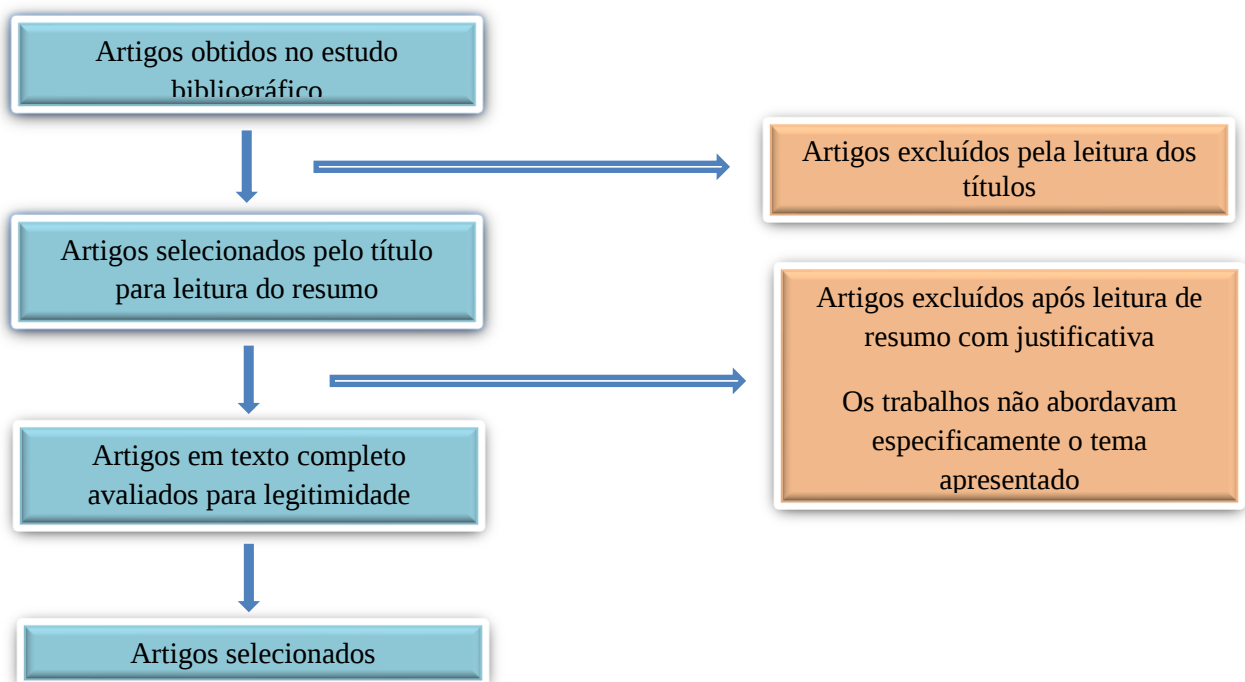
1.3 Metodologia

Para a elaboração deste trabalho foi realizado um estudo bibliográfico com base em uma pesquisa nas plataformas digitais CAPES Periódicos, SCIELO e Google Acadêmico bem como uma pesquisa na internet em sites governamentais, sites de notícias de grande visualização além de sites, blogs e redes sociais especializados nas inovações e tendências do mercado

automotivo, estes com o intuito de se ter acesso a notícias relevantes e atuais sobre o segmento de veículos elétricos e híbridos. Estas pesquisas apresentaram dados históricos da construção do automóvel e sua evolução durante o passar dos anos, trazendo informações dos diversos tipos de motores desenvolvidos até os dias de hoje permitindo assim um estudo comparativo entre eles sobre a viabilidade do desenvolvimento e utilização de veículos híbridos, elétrico e etanol.

Os filtros estabelecidos para a pesquisa dos artigos publicados nas bases de dados descritas foram: escritos na língua portuguesa, publicados nos últimos dez anos (de 2014 a 2023) e com as palavras chaves motor elétrico e motor híbrido, ciclo de carbono, etanol combustível e sustentabilidade. Em seguida, para a construção da base de dados a ser considerada, foram analisados os títulos, resumos e textos completos, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma das etapas de seleção dos artigos pesquisados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos resultados obtidos, foi realizada a análise e elaborada uma argumentação que visa corroborar a escolha do carro híbrido elétrico-etanol, como alternativa para a preservação do meio ambiente dentro do cenário Brasileiro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os capítulos a seguir retratam aspectos relacionados à história do surgimento dos motores a combustão, bem como sua evolução ao passar dos anos. O aprimoramento constante do segmento automotivo em busca da superação a crise do petróleo e a preocupação com o meio ambiente trazem alternativas de engenharia no desenvolvimento de novos tipos de motorização; os motores elétricos, flex e híbridos iniciando um processo de sustentabilidade veicular na busca de menores emissões de poluentes.

2.1 O motor a combustão interna

Os motores a combustão interna surgem no século XIX trazendo um grande desenvolvimento no segmento da mecânica ao se comparar com os então motores a vapor utilizados na época, que possuíam a lenha como fonte de energia, por serem mais potentes, pesarem menos, serem mais fáceis de ligar e podendo ser aplicados em diferentes tipos de maquinário. Em 1860 o engenheiro belga Étienne Lenoir constrói o primeiro motor a combustão movido a gás seguido em 1862 pelo engenheiro francês Alphonse Beau de Rochas que patenteou um motor de 4 tempos. Em 1867, Nikolaus Otto e Eugen Langen, patentearam o seu primeiro motor a gás também de quatro tempos, mas de forma diferenciada trabalhava com pistões livres de ação indireta pelas explosões dos gases no cilindro. Esse modelo de motor seria amplamente usado pela indústria automotiva. (TILLMANN, 2013).

Em 1876 Otto aprimora o motor desenvolvido através do ciclo termodinâmico, também denominados por motores de combustão por faísca (MIF), passando a serem utilizados na imensa maioria dos carros de passeios e motocicletas do mundo, funcionando com mais de um tipo de combustível. (BRUNETTI, 2012).

Em 1886 Carl Benz desenvolve e patenteia o primeiro veículo de combustão interna movido a gasolina, iniciando-se aí um processo evolutivo com impactos ao meio ambiente onde de acordo com Peña *et al.* (2014), desde o início de sua criação o aumento crescente da produção de automóveis implica na utilização de grande quantidade de recursos e energia ocasionando diversos riscos ambientais.

2.2 O motor elétrico

Ao contrário do que se pensa a tecnologia empregada para a criação dos carros elétricos e híbridos não é nova. De acordo com Baran e Legey (2011, p. 208) o surgimento desses veículos se dá no século XIX sendo desenvolvidos a partir da utilização de baterias de chumbo

e ácido. Na década de 1880 surgem os primeiros modelos nos Estados Unidos, no Reino Unido e na França.

A primeira evolução dessa tecnologia já surge em 1901 com a bateria níquel-ferro criada por Thomas Edison que oferecia 40% a mais de capacidade de armazenamento, mas com um custo mais elevado.

Os autores ainda ressaltam outras tecnologias empregadas nos dias atuais que também remontam o mesmo período, tais como: a frenagem regenerativa, cujo objetivo é converter energia cinética em movimento, além do sistema híbrido combinando eletricidade e gasolina.

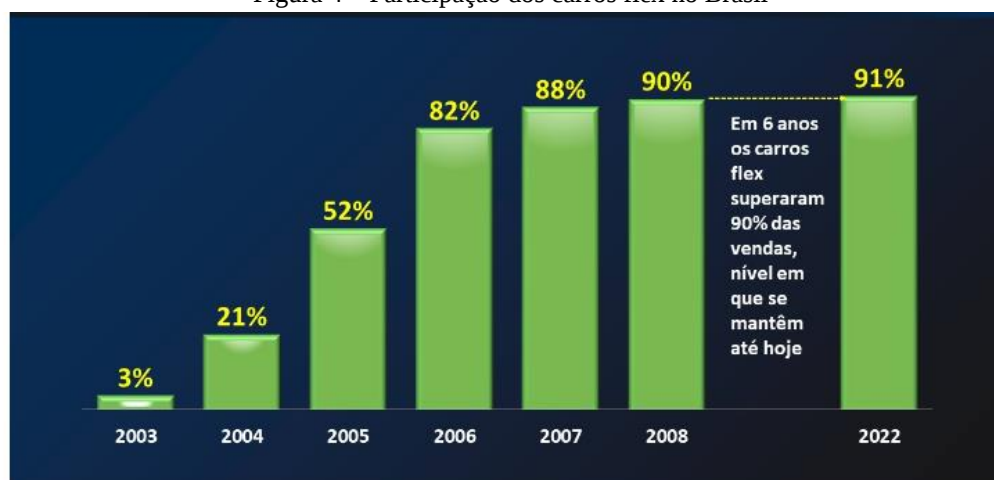
2.3 O motor flex

O primeiro carro flex foi desenvolvido por Henri Ford. Sendo produzido e comercializado em 1908, o veículo oferecia uma regulagem em seu carburador que permitia a utilização não só da gasolina como do etanol ou a mistura de ambos. Devido ao baixo custo do petróleo na época a predominância dos motores a gasolina permaneceu no gosto dos consumidores, cenário que se manteve até 1973 no advento da crise do petróleo que elevaria o preço do barril causando um desabastecimento nos postos de combustíveis (VAZZOLÉR, 2014).

Em ANFAVEA (2021) é ressaltado que apesar da tecnologia ter sido desenvolvida pelos Norte-Americanos, a viabilização comercial só foi possível após o trabalho da engenharia Brasileira e a criação do programa federal Próalcool em 1975, que levaram a uma produção em larga escala e ao domínio do carro a álcool no Brasil entre 1980 e 1990. A partir de 1990 ocorre um declínio no uso de veículos a álcool devido a um problema de abastecimento. Em 2003 montadoras como Volkswagen, Fiat e Chevrolet lançam seus primeiros carros flex resgatando o Etanol, inicia-se um período de evolução no conceito de motores flex que já dura mais de 20 anos tendo sua resistência inicial por parte dos consumidores transformada em elevados índices de aceitação (ver Figura 4).

Ainda segundo a ANFAVEA o surgimento dos carros flex além de oferecer uma opção importante ao consumidor da opção por uso de um combustível mais barato, agrega um papel importante à questão ambiental visto que o etanol é reconhecido como um combustível renovável que reduz muito a pegada de carbono. Outro aspecto extremamente favorável é que atualmente uma boa parte do etanol produzido no Brasil começa a vir do milho, como já ocorre em outros países, oferecendo safras por todo o ano e sendo assim possível reduzir o preço nas bombas de combustível (ANFAVEA, 2023).

Figura 4 – Participação dos carros flex no Brasil



Fonte: ANFAVEA (2023).

2.4 O motor híbrido

Segundo Porchera *et al.* (2016), o delineamento dos carros híbridos datam de 1903 onde sua concepção mecânica se baseava em um pequeno motor a combustão interna (MCI) trabalhando junto com um gerador alimentando dois motores elétricos conectados às rodas dianteiras. Outro exemplo que os autores trazem é de um veículo fabricado de 1901 a 1906 onde o MCI auxiliava o carregamento da bateria, enquanto o motor elétrico auxiliava o MCI.

Conclui-se que os primeiros motores híbridos eram direcionados a solucionar a baixa eficácia das baterias utilizadas. Porchera *et al.* (2016), ainda esclarecem o motivo pelos quais os carros híbridos e elétricos não se desenvolveram com o passar dos anos. O primeiro ponto destacado é a questão da autonomia se comparados aos MCI da época.

Outro fator importante era a facilidade para o abastecimento. Além disso, relacionados autores salientam as questões de manutenção onde, naquela época, poucos profissionais eram capacitados para o trabalho com esses motores, enquanto que os carros a combustão eram produzidos maciçamente em série seguindo o modelo desenvolvido por Henry Ford e, dessa maneira, sendo oferecidos ao mercado por custos bem menores e livres dos problemas de abastecimento, visto que o combustível era farto, e das questões de manutenção cujos motores eram facilmente reparados.

Diante deste cenário, os veículos à gasolina passam a ganhar cada vez mais mercado sem nenhum tipo de restrição até a década de 1960, onde se inicia a percepção que a queima de combustíveis provenientes do MCI elevava consideravelmente a emissão de poluentes na atmosfera levando a questões a preocupações mundiais.

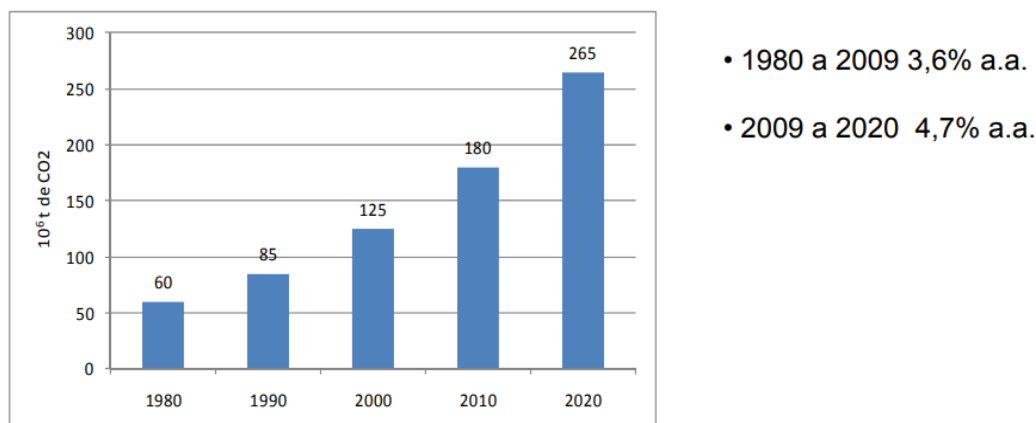
Surge assim, nas últimas décadas, uma busca por soluções inovadoras que colaborem para a sustentabilidade. De acordo com Barbato (2011), a sustentabilidade veicular passou a fazer parte de vários debates em nível mundial em busca de uma solução para o problema avaliando-se questões para redução deste impacto ambiental relacionadas inicialmente a produção, consumo e descarte e posteriormente na produção de veículos engajados com a proposta de sustentabilidade.

2.5 Sustentabilidade veicular

A questão da poluição atmosférica remonta algumas décadas. Têm como exemplo, os dados divulgados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2011, na elaboração do primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, com base nos dados do Ministério do Meio Ambiente, avaliando a questão da emissão de CO₂. A pesquisa realizada apontou que as emissões de gases do efeito estufa cresceram em média 3,6% ao ano entre 1980 e 2009 e projetava para 2020 um crescimento na ordem de 4,7% chegando em 265 milhões de toneladas, tendo como um dos fatores principais o aumento de veículos de uso individual nas ruas, conforme mostrado no Gráfico 2.

De fato, Lobato *et al.* (2021), apontam que foram emitidas 235.151 milhões de toneladas em 2020, uma redução de apenas 13% em relação as estimativas iniciais apresentadas, segundo os autores um dos motivos para essa redução seria o impacto do confinamento populacional durante a pandemia de COVID 19.

Esses números indicam a importância de continuar monitorando as emissões e a necessidade de incentivar a adoção de combustíveis mais limpos, como o etanol, que demonstrou a capacidade de reduzir emissões prejudiciais.

Gráfico 2 - Emissões de CO₂ pelos veículos automotores no Brasil

Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - MMA (BRASIL, 2011) *apud* Carvalho *et al.* (2011).

Esses dados validam a pesquisa realizada e trazem para reflexão para a importância do desenvolvimento de veículos mais sustentáveis que tenham uma emissão de carbono cada vez menor e qual o tipo de motorização mais adequada à realidade brasileira.

Este trabalho foca a produção de veículos híbridos com motores elétricos e etanol como o mais indicado a esta realidade, tendo como argumentos que a nossa maior fonte de energia é limpa, proveniente das usinas hidrelétricas, a cana de açúcar utilizada para a produção do etanol é uma cultura renovável e colabora na captura de CO₂ na atmosfera e o fato do etanol possuir uma emissão de CO₂ inferior aos combustíveis fósseis (RAIZEN, 2022).

Uma visão geral das principais particularidades de cada tipo de motorização é organizada por Matedde (2021), que apresenta um comparativo entre os tipos de motorização existente, conforme o Quadro 2

Quadro 2 – Comparativo tipos de motores

	Motor a combustão	Motor elétrico	Motor híbrido	
Sigla	<i>ICE</i> (Motor a combustão interna)	<i>BEV (BATTERY EV)</i> (Veículo elétrico a bateria)	<i>FULL HYBRID</i> (Híbrido convencional)	<i>PHEV (PLUG IN HYBRID EV)</i> (Veículos híbridos elétricos conectados a tomada)
Motor	Combustão	Elétrico	Combustão + Elétrico	Combustão + Elétrico
Baterias	-	Sim, muitas	Sim, capacidade menor	Sim, capacidade menor
Custo / KM	O mais alto	Muito baixo	Baixo	Baixo
Abastecimento	Posto de combustível	Carregador / Tomada	Posto de combustível	Posto de combustível Carregador / Tomada
Custo de Manutenção	Médio	Muito baixo	Muito alto	Alto
Tempo de Abastecimento	Poucos minutos	3 a 10 horas	Poucos minutos	1 a 3 horas
Emite gases	Sim	Nenhum	Sim	Sim
Exige troca de óleo	Sim	Não	Sim	Sim

Fonte : Matedde (2021)

Em uma análise inicial ao que foi apresentado por Matedde pode-se supor que a utilização dos veículos elétricos se apresenta como a opção mais favorável por ter uma emissão zero de gás carbônico no ato de sua utilização. Em contra partida, Porchera *et al.* (2016, p. 2) já apontavam que: “os veículos elétricos representam uma alternativa sustentável ante as pressões de conter a emissão de poluentes bem como a redução de uso das fontes primárias de energias. Entretanto alguns fatores impactam no advento da utilização desse veículo”.

As questões negativas apontadas pelos autores na adoção de veículos puramente elétricos estão relacionadas a considerarem o custo de aquisição, custo de troca das baterias que diferentemente do aspecto de custos de manutenção é altíssima, tempo destinado à recarga, custos com instalações de pontos de carregamento e aceitação popular que levam os consumidores ainda a considerarem a opção pelo veículo com motor à combustão.

Porchera *et al.* (2016), complementam que apesar dessas questões, a opção pelos carros elétricos e híbridos é uma realidade e será crescente. Desde sua criação nos anos 1900 os motores híbridos passaram por varias evoluções e aprimoramentos contando nos dias atuais com o favorecimento da tecnologia para seu desenvolvimento cada vez mais apurado.

De acordo com Imbasciati (2012), os motores híbridos atuam de formas variadas junto aos MCI tendo como foco em sua grande maioria a recuperação de energia cinética.

Stoicov e Ferroni (2013) classificam os motores híbridos como *full*, *plug in* ou *mild*, sendo as seguintes suas principais características;

- *Full hybrid* ou Híbrido convencional - denominados como *Hybrid Electric Vehicles* (HEV), esse tipo de veículo dispensa utilização de tomada, sendo o carregamento das baterias realizado por energia regenerativa.
- *Plug in* - denominados como *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEV), apresentam maior capacidade de bateria tendo seu motor elétrico independente do motor à combustão podendo ser carregado por meio de uma fonte externa.
- *Mild hybrid* – denominados como *Mild Hybrid Electric Vehicles* (MHEV) são classificados como a linha inicial carros híbridos e, diferentemente dos outros modelos, estes veículos não se locomovem no modo 100% elétrico e suas baterias apoiam o sistema a combustão.

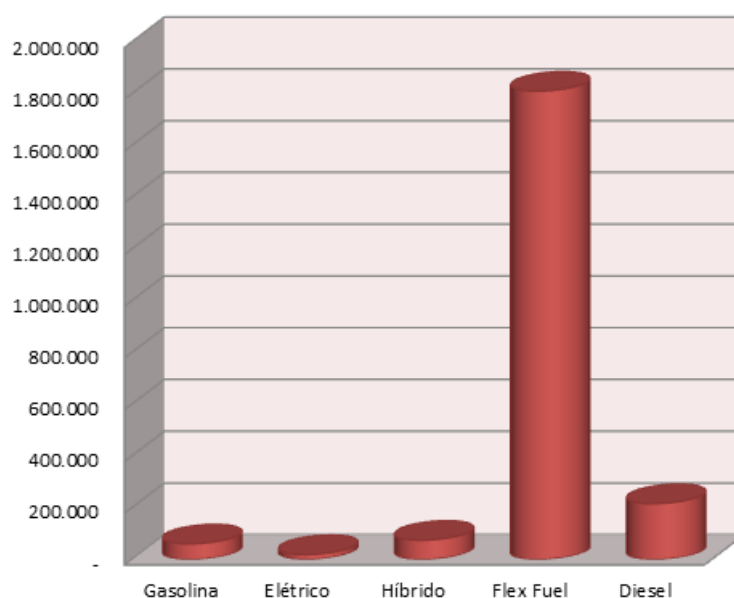
Apesar do quadro de Matedde (2021) retratar a motorização híbrida como a que detém os custos de manutenção mais elevados os carros híbridos já se mostram em um momento crescente de aquisição ficando apenas atrás dos carros flex que já ocupam o primeiro lugar no ranking de veículos comercializados no país e do Diesel, como mostrado no Gráfico 3.

A liderança em vendas alcançada pelos motores flex tem como um dos fatores a vantagem oferecida no abastecimento com etanol que minimizam os custos, porém evitam o problema com sazonalidades na oferta do biocombustível.

A busca por informações que validem a utilização do etanol como o combustível a ser utilizado junto ao segmento dos veículos elétricos trás uma matéria publicada pela Forbes (2023), relatando pesquisas sendo realizadas pela Nissan, juntamente com o IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), e também pela Volkswagen com o apoio da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) que estão desenvolvendo um sistema de carregamento contínuo de bateria para veículos elétricos, por meio de uma célula de combustível utilizando o etanol que seja viável e comercialmente favorável.

O Brasil é líder global na produção de etanol de cana de açúcar e já possui uma farta rede de distribuição de combustíveis que resolveria uma das grandes questões dos veículos elétricos que seria os pontos de carregamento aliado ao tempo de recarga (JACINTHO, 2023).

Gráfico 3 - Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível 2023



Fonte :Anfavea (2023), adaptado pelo autor

O etanol se destaca como uma excelente opção na redução dos problemas ambientais apresentando inúmeras vantagens da produção e utilização em relação aos combustíveis fósseis, tais como: redução do impacto ambiental, redução de custos, maior preservação do meio ambiente e maior sustentabilidade (BERMANN, 2008).

2.6 Produção sustentável

De acordo com Baran e Legey (2011), o álcool etílico é utilizado desde o início da fabricação dos automóveis no século XIX como experimento a adaptação de combustível para motores a combustão.

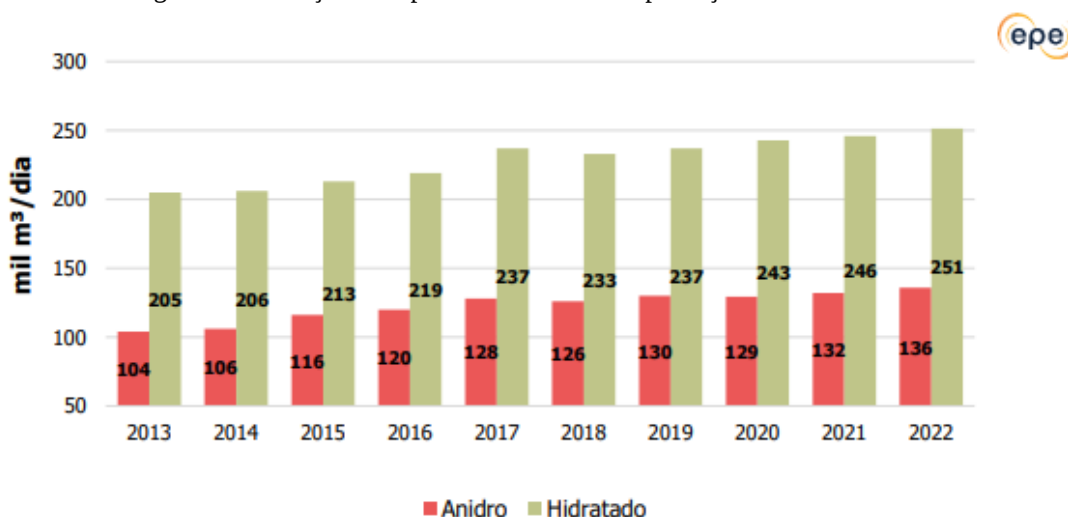
Desde aquela época e até os dias atuais, o uso do etanol vem sendo considerado um avanço para o setor automotivo. No Brasil a tecnologia empregada desde o PROALCOOL com início em 1975 é tida como o "mais bem sucedido programa de combustível alternativo já desenvolvido no planeta", sendo o único país do mundo que concilia produção com uma vasta rede de distribuição (SEBRAE, 2019).

Dos inúmeros produtos e subprodutos extraídos do plantio da cana de açúcar, o etanol se mostra extremamente relevante por oferecer além de ganhos ambientais, redução de custos, preservação do meio ambiente maior sustentabilidade e a substituição de combustíveis fósseis. O plantio da cana de açúcar, que permite ser cortada de cinco a seis vezes antes de ser replantada, oferece uma sustentabilidade também renovada a cada ciclo produtivo favorecendo os meios socioeconômicos e socioambientais garantindo a utilização correta do solo sem comprometer o futuro das próximas gerações (BERMANN, 2008).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) divulgou em seu relatório de Agosto de 2023, intitulado “Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2022” (EPE, 2023), dados colhidos junto a Associação Nacional de Petróleo (ANP) onde traz que em dezembro de 2022 o Brasil possuía 358 unidades que se encontravam capazes de comercializar etanol anidro e hidratado oferecendo uma capacidade produtiva total de 387 mil m³/dia . A capacidade de produção de etanol instalada no Brasil vem aumentando desde 2013, onde se pode observar um crescimento de 46 mil m³ /dia para o etanol hidratado e 32 mil m³ /dia para o etanol anidro, conforme apresentado na Figura 5.

A EPE ainda aponta que em 2022 o Brasil registrou uma capacidade de tancagem (capacidade de armazenamento) de etanol de 18,0 bilhões de litros.

Figura 5 – Evolução da capacidade instalada de produção de etanol no Brasil



Fonte: EPE (2023) a partir de ANP (2022).

3 RESULTADOS

Como resultado da pesquisa, os filtros estabelecidos detectaram 599 artigos sendo: 301 excluídos após a leitura dos títulos e 274 após a leitura do resumo, sendo elegíveis para o desenvolvimento deste trabalho 24 publicações.

A construção das sessões 4-Fundamentação Teórica, 5-Sustentabilidade Veicular e 6-Produção Sustentável foi feita levando-se em consideração a base de dados obtida pela aplicação dos filtros.

A título de apresentar informações atuais sobre o segmento automotivo e suas inovações também foram consultadas publicações em sites e blogs especializados no assunto.

A elaboração deste trabalho traz como resultado informações referentes às inovações do setor automotivo na busca pelo favorecimento ao meio ambiente uma vez que tal setor é responsável por 16,2% da emissão de gases de efeito estufa. A necessidade de ações que minimizem a emissão de poluentes traz os veículos elétricos e híbridos como protagonistas na busca por soluções. A questão aqui apresentada traz o carro elétrico *full hybrid* movido apenas a etanol como a opção de motorização mais adequada para o Brasil.

Essa afirmação se fundamenta em dois aspectos principais: O motor elétrico de um veículo *full hybrid* não necessita de carregamento através da rede elétrica (MATEDDE, 2021) o que implica em economia no desenvolvimento e implantação de uma rede de distribuição de energia por todo o país que sustente o carregamento das baterias dos carros elétricos dos tipos BEV (*Battery EV*) e PHEV (*Plug-in Hybrid EV*) em ambientes urbanos, rurais e estradas de rodagem. Outro aspecto importante é a redução em torno de 80% na emissão de CO₂ que o etanol oferece em comparação a utilização de combustíveis fósseis, gasolina e diesel (RAIZEN, 2022). Além disto, já existe uma grande rede de distribuição consolidada em território nacional para a comercialização do etanol, facilitando o carregamento do combustível.

Importante salientar que o etanol produzido no Brasil através da cana de açúcar colabora com o meio ambiente, uma vez que no processo de crescimento da cana-de-açúcar ocorrer à captura e fixação do carbono livre no meio, resultando que no processo todo que vai do plantio, produção e utilização, existe um equilíbrio entre a liberação e absorção de CO₂ para a atmosfera, reduzindo o efeito estufa, e contribuindo para uma transição energética verde.

Um estudo realizado pela EMBRAPA em parceria com a AGROICONE e a UNICAMP no ano de 2020 avaliou a expansão do plantio de cana de açúcar nas regiões de maior concentração do país, Centro-Sul e Norte, entre o período de 2000 a 2020.

Oposto ao esperado, o avanço sobre a vegetação natural foi de apenas 1,6% neste período repercutindo positivamente nos mercados e certificações nacionais e internacionais.

Ao se considerar apenas as áreas cultivadas por cana neste período foi retirado da atmosfera 9,8 milhões de toneladas de CO₂ ao ano, totalizando no período uma remoção total de 196 milhões de toneladas de CO₂. Para se alcançar resultados similares a esse no intuito de favorecer o meio ambiente seria necessário plantar 1,4 bilhões de árvores que ocupariam uma área superior a um milhão de campos de futebol ou 80 vezes o tamanho da cidade de Paris. (LIMA; PEREIRA, 2023).

O Brasil é soberano na produção de etanol, tido como maior produtor mundial de cana de açúcar e responsável pela produção de 29,7 bilhões de litros de etanol na safra 2020/2021 sendo que destes, o Estado de São Paulo foi responsável pela produção de 48,4% do etanol produzido no país (14,3 bilhões de litros) (NACHILUK, 2021).

Desde 1975 com o lançamento do Proálcool o Brasil vem se aprimorando para tornar esse biocombustível mais eficiente. Em 2010 a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), optou por padronizar o nome do combustível como etanol, apesar de serem sinônimos em sua composição química, a finalidade para que seja empregado é que estabelece a diferença em sua nomenclatura.

Pesquisadores vêm desenvolvendo nos últimos anos uma nova tecnologia para melhor aproveitamento da cana de açúcar na produção do etanol, sendo a proposta relativa à inclusão do bagaço da cana-de-açúcar, bem como a palha para aumentar a produção do etanol sem a necessidade de um aumento na área plantada no país. A técnica empregada nessa tecnologia é a hidrólise ácida ou enzimática e o combustível produzido já é tido como uma segunda geração de biocombustíveis (BARROS, 2021).

O Brasil é um país de proporções continentais, contudo possuímos uma rede de distribuição de Etanol ramificada o suficiente para abastecer, todos os estados e capitais.

Em paralelo ao desenvolvimento de novas tecnologias na produção do etanol o país vem se aprimorando na última década em processos que contribuam para uma rede de distribuição ainda maior e mais rápida que possa atender a demanda do produto produzido e comercializado no país (ALMEIDA, 2021).

A saber:

- Implantação de terminais de captação ferroviária no Centro-Oeste do País, possibilitando o transporte do etanol por ferrovia dessas regiões até o hub de combustíveis de Paulínia/SP (ALMEIDA, 2021);

- Disponibilização de mais embarcações para o transporte marítimo de etanol com origem nos portos do Sudeste e destino nos portos da região Norte-Nordeste do País; (ALMEIDA, 2021);
- Novos trechos de dutos e terminais de captação dutoviária implementados pela Logum Logística no interior de MG e de SP, possibilitando o transporte do etanol por dutos dessas regiões até Paulínia-SP, regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, além de acesso a uma saída portuária (Terminal de Ilha D'água-RJ), para exportação e/ou cabotagem para a região Norte-Nordeste (ALMEIDA, 2021).

Quando há necessidade de se carregar um carro elétrico *plug-in* desafios logísticos de abastecimento ainda são realidade. Levando-se em conta a extensão territorial brasileira a necessidade de se carregar um carro elétrico se torna mais complicada à medida que se afasta dos grandes centros. Desconsiderando a estrutura domiciliar a ser instalada e exigida ao adquirir um veículo elétrico *plug-in*, o Brasil apresenta uma realidade ainda carente na prestação deste serviço.

Até novembro de 2023 o país mantinha 431 estações de carregamento para carros elétricos sendo sua principal concentração, mais de 50%, em grandes polos comerciais com 231 estações distribuídas da seguinte forma:

- São Paulo – 110 estações,
- Rio de Janeiro – 49 estações,
- Curitiba – 16 estações,
- Brasília – 13 estações,
- Florianópolis – 12 estações,
- Campinas – 12 estações.
- Belo Horizonte – 11

As 208 demais estações de abastecimento se encontravam distribuídas em várias cidades do litoral e interior por todo o país, com números inferiores a 10 estações por cidade, com destaques negativos para Salvador e Campo Grande onde, apesar de serem capitais, possuíam quatro e uma estações respectivamente (ELECTROMAPS, 2023)

A expansão dos postos de carregamento de veículos elétricos pelo país requer grandes investimentos não apenas na preparação da estrutura física para recebê-los, mas principalmente na infraestrutura da rede elétrica de distribuição que possa suportar o aumento de consumo de energia.

A troca de combustíveis fósseis, grandes responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera, pela utilização de biocombustíveis provenientes de fontes limpas e renováveis se apresenta como tendência dentro do segmento automotivo.

Neste sentido a utilização de etanol, oriundo da produção sustentável da cana de açúcar oferece inúmeras vantagens: gera ganhos ambientais, reduz custos, preserva o meio ambiente e colabora com a sustentabilidade.

A produção de etanol é um ponto forte no cenário Brasileiro deixando o país em posição de destaque pelas vantagens alcançadas na tecnologia empregada ocupando a liderança na agricultura de energia e mercado de biocombustíveis.

Os veículos híbridos tiveram um salto na sua produção saindo de 3 mil para 120 mil unidades no período entre 2015 e 2022. Responsáveis em 2023 por 3,4% dos emplacamentos realizados e se posicionando no segundo lugar entre os mais vendidos (IBGE, [2023?]).

Os carros *flex*, também considerados neste trabalho como exemplos de utilização de maior monta no mercado automotivo, tiveram uma participação de 83% no volume de carros emplacados no ano de 2023 ocupando a primeira colocação no *ranking* de veículos licenciados (ANFAVEA, 2023).

Os dados obtidos referentes a este período também trazem informações a respeito dos veículos movidos apenas à gasolina e demonstram que estes perdem cada vez mais espaço atingindo 2,9% nos índices de emplacamento, ficando abaixo dos veículos híbridos. Já os veículos elétricos atingiram a marca de apenas 0,9%.

Estes dados mostram a aceitação da população em relação a veículos flex e ao etanol como alternativa de combustível. Apresentam também a tendência de crescimento na aquisição de veículos híbridos onde, da mesma forma que o etanol, se posicionam de maneira positiva em relação ao meio ambiente e quesitos de sustentabilidade.

Os programas governamentais que estimulam o desenvolvimento de veículos sustentáveis aliados aos números obtidos em relação à produção do etanol, na ordem de 18,0 bilhões de litros ano, e a aceitação dos consumidores perante os carros *flex*, gerando um grande volume de negócio, mostram que o Brasil oferece segurança para os investimentos das montadoras em relação à produção dos carros híbridos elétricos e etanol.

O Jornal Folha de São Paulo veiculou em 18 de fevereiro de 2024 na seção “mercado” matéria referente a mais um incentivo do governo que segue em tramitação para aprovação, destinado à produção de veículos sustentáveis, o programa Mobilidade Verde (MOVER) publicado em 30 de novembro de 2023 reúne regras sobre eficiência energética para a indústria automotiva e da continuidade ao programa Rota 2030.

Relacionado ao Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) no caso em questão batizado pelo governo de IPI VERDE estabelece alíquotas específicas para tipos diversos de motorização, favorecendo motores híbridos *flex* e motores *flex*.

Atualmente as alíquotas já são escalonadas, por exemplo, um carro 1.0 *flex* tem uma alíquota de 7%, enquanto um carro 2.0 a gasolina tem uma alíquota de 13%.

Na nova proposta, esse escalonamento muda, estabelecendo percentuais mais atrativos onde um carro flex tradicional poderia ser tarifado de 3% a 6%, para modelos híbridos *flex* o teto estabelecido de 1% podendo chegar a zero enquanto os veículos com motorização exclusivamente elétrica poderão ter um imposto cobrado na casa de 6%, com possibilidade futura de serem isentos, de acordo com seu enquadramento em novas regras a serem estabelecidas pelo governo. Para os carros híbridos a gasolina as alíquotas podem variar entre 10,5% a 17%.

Cabe ressaltar que o governo irá disponibilizar 19,3 bilhões de reais em um intervalo de cinco anos as empresas que aderirem ao programa, se comprometendo com a redução de carbono em 50% até 2030 (SODRÉ, 2024).

4 CONCLUSÃO

Partindo do contraste das tecnologias avaliadas neste trabalho, para se estabelecer qual a motorização veicular mais adequada a ser adotada no Brasil, nota-se que o caminho de se utilizar etanol em um carro híbrido não plug-in se apresenta como uma alternativa sustentável ao se considerar todas as vantagens detectadas na produção distribuição e utilização do etanol oriundo da cultura da cana de açúcar aliado ao fato de não exercer pressão sobre os recursos da federação, seguindo o fluxo já existente de investimentos e desenvolvimento.

Este trabalho oferece uma análise relevante, uma vez que discute uma proposta ainda embrionária no setor automobilístico, considerando sua evolução e apresentando tendências para alternativas sustentáveis.

A questão abordada trás luz para aspectos da utilização de veículos híbridos, com realce a aqueles movidos a motores elétricos e etanol, como sendo a melhor alternativa dentre às opções de veículos sustentáveis devido à matriz energética brasileira, a rede de distribuição já consolidada e a produção sustentável da cana de açúcar, tendo como validação para sua escolha os aspectos positivos apresentados em relação ao etanol.

Com base na literatura pesquisada e as notícias e publicações encontradas nas mídias digitais em relação às vantagens da utilização do etanol e os impactos positivos na utilização de veículos elétricos a utilização de veículos híbridos a etanol com motores elétricos não *plug-in* se apresenta viável e passível de adoção no cenário nacional, contribuindo com a transição energética verde uma vez que se trata da adequação de tecnologias já existentes.

Após entender-se todos os pontos que passam por motorização, tipos de veículos, característica da frota no Brasil, política públicas para o biocombustível e como a produção e distribuição do etanol é madura e bem realizada pode-se concluir que ao adotar-se o carro híbrido a etanol não plug-in para o Brasil o caminho a ser trilhado é sustentável, sendo favorável ao meio ambiente, ajudando a amenizar mudanças climáticas que seriam prejudiciais à produção de cana-de-açúcar e assim impactariam negativamente a saída sustentável de utilizar o etanol como matriz energética. Além disso, o Brasil é um país de dimensões continentais e população superior a 200 milhões de habitantes isso torna a escalabilidade do veículo totalmente elétrico um grande desafio, já que se a frota brasileira fosse inteiramente eletrificada teríamos mais de 100 milhões de veículos conectados a rede elétrica para poder manter as operações do país, volume o qual a infraestrutura elétrica não está preparada para receber e ainda não conta com a distribuição logística de pontos de carregamento pelo país, como os de combustíveis para motores a combustão.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. A. Logística de etanol: uma evolução em andamento. **Opiniões**, [s. l.], ano 18, n. 68, p. 62-64 2021. Disponível em: <https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/leitura/online/o-mercado-mundial-do-acucar-e-do-etanol/>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- ANFAVEA. **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**. [S. l.]: ANFAVEA, 10 ago. 2021. Disponível em: https://anfavea.com.br/docs/APRESENTA%C3%87%C3%83O_ANFAVEA_E_BCG.pdf. Acesso em: 16 jan. 2024.
- ANFAVEA. **20 Fatos e curiosidades sobre os 20 anos do carro flex**. [S. l.]: LinkedIn, 22 mar. 2023. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/20-fatos-e-curiosidades-sobre-os-anos-do-carro-flex-anfavea/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 18 jan. 2024.
- AUTOMÓVEL híbrido elétrico. In: WIKIPEDIA, a enciclopédia livre. [São Francisco, CA: Wikimedia Foundation], 7 dez. 2023. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vel_h%C3%ADbrido_el%C3%A9trico. Acesso em: 17 fev. 2024.
- BANDEIRA, G. **Brasil emitiu 8% menos gases de efeito estufa em 2022, diz estudo**. [S. l.]: Poder 360, 23 nov. 2023. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/meio-ambiente/brasil-emitiu-8-menos-gases-de-efeito-estufa-em-2022-diz-estudo/>. Acesso em: 25 set. 2023.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, v. 33, p. 207-224, 2011.
- BARBATO, A. G. **Estratégias ambientais na indústria automobilística: um estudo de caso na Volkswagen de São Carlos – SP**. 2011 45f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Araraquara, 2011.
- BARROS, T. D. **Etanol**. Brasília: EMBRAPA, 08 dez. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/etanol>. Acesso em 15 abr. 2023.
- BERMANN, C. **Crise ambiental e as energias renováveis**. 2008. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300010. Acesso em: 11 jan. 2024 .
- BRASIL. **Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018**. Estabelece requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil; institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística; dispõe sobre o regime tributário de autopeças não produzidas; e altera as Leis nº 9.440, de 14 de março de 1997, 12.546, de 14 de dezembro de 2011, 10.865, de 30 de abril de 2004, 9.826, de 23 de agosto de 1999, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 8.383, de 30 de dezembro de 1991, e 8.989, de 24 de fevereiro de 1995, e o Decreto-Lei nº 288, de 28 de fevereiro de 1967. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Lei/L13755.htm. Acesso em: 25 set. 2023

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. 1 ed. Instituto Mauá de tecnologia 2012. Editora Blucher, 2012.

CARVALHO, C. H. R. *et al.* **Poluição veicular atmosférica**. [Brasília]: IPEA, 2011. (Comunicados do IPEA, n. 113). Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5281>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ELECTROMAPS. **Lista de pontos de carregamento de veículos elétricos em Brasil**. 2023. Disponível em <https://www.electromaps.com/pt/estacoes-de-carregamento/brasil>. Acesso 15 abr. 2024.

EPE. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2022** – Agosto de 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-756/NT-EPE-DPG-SDB-2023-01_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_Ano2022.pdf. Acesso em 19 fev. 2024.

FERREIRA, A. L. **Estudo mostra que etanol de cana emite menos gás carbônico para a atmosfera do que a gasolina**. [Brasília]: EMBRAPA, 01 abr. 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/18044516/estudo-mostra-que-etanol-de-cana-emite-menos-gas-carbonico-para-a-atmosfera-do-que-a-gasolina>. Acesso em: 17 nov. 2023.

FINEP. **Inova sustentabilidade**. Rio de Janeiro: FINEP, [2023?]. Disponível em <http://www.finep.gov.br/afinep/65-fontes-de-recurso/fundos-setoriais/65-inova-sustentabilidade>. Acesso em 27 set. 2023

IBGE. **Frota de veículos 2022**. . [2023?]. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120>. Acesso em: 27 set. 2023

IMBASCIATI, H. **Estudo descritivo dos sistemas, subsistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos**. 2012. 58f. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2012.

JACINTHO, H. **Etanol como combustível para carros elétricos?**. [S. l.]: Forbes, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2023/03/etanol-como-combustivel-para-carros-eletricos/>. Acesso em: 19 jan. 2024.

LIMA, E.; PEREIRA, J. **Cana-de-açúcar contribuiu para remover carbono da atmosfera nos últimos 20 anos no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/79479966/cana-de-acucar-contribuiu-para-remover-carbono-da-atmosfera-nos-ultimos-20-anos-no-brasil>. Acesso em: 11 abr. 2023.

LOBATO, J.; M. F.; RODRIGUES, B. M. M.; SANTOS, A. G. dos. **Impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões veiculares no Brasil no período de janeiro a maio de 2020**. 2021 Disponível em <https://www.scielo.br/j/esa/a/sRtHmMScvbxSJ3znxtYb7Sh/?lang=pt>. Acesso em 02 abr. 2024.

MATEDDE, H. **Carros elétricos, tipos e características!** 2020. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/carros-eletricos-tipos-e-caracteristicas/>>. Acesso em: 08 jan. 2024.

MORAES JÚNIOR, A. A. de; IKEDA, A. H.; CUNHA FILHO, R. S. R. **Veículos Elétricos: O Futuro da Indústria Automobilística** Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Administração e Economia) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2018.

NACHILUK, K. **Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana.** Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5.

Disponível em:

<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,de%20litros%20de%20etanol1>. Acesso em 11 abr. 2023.

OLIVEIRA, J. **Etanol é sustentável e econômico, bom para o mundo e para seu bolso.** [S. l.]: Jornal da Paraíba, 06 dez. 2020. Disponível

em: https://jornaldaparaiba.com.br/comunidade/vida_urbana/saiba-por-que-o-alcool-e-melhorescolha-para-voce-e-seu-carro/. Acesso em: 17 nov. 2023.

PASSOS, E. **Frota de carros elétricos e híbridos do Brasil triplicou em três anos.** [S. l.]: Quatro Rodas, 20 mar. 2023. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/frota-de-carros-eletricos-e-hibridos-do-brasil-triplicou-em-tres-anos>. Acesso em: 02 nov. 2023.

PEÑA, M.L.M.; GARRIDO, E.D.; LÓPEZ, J.M.S. **Analysis of benefits and difficulties associated with firms' Environmental Management Systems: the case of the Spanish automotive industry.** Journal of Cleaner Production, v.70, p.220-230, 2014

PORCHERA, G. da S. O. *et al.* **Vantagens e barreiras à utilização de veículos elétricos.** In: Simpósio De Excelência Em Gestão E Tecnologia, 13., 2016, Resende. Anais...Resende: SEGET, 2016.

RAÍZEN. **Etanol: entenda o que é, para que serve e como é usado no Brasil.** 2022. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol>. Acesso em: 27 set. 2023.

SEBRAE. **O etanol como alternativa energética e aumento da eficiência produtiva** – Abril de 2019, disponível em <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-etanol,ac3d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em 19 fev. 2024.

SODRÉ E. **IPI Verde privilegia etanol e prejudica montadoras chinesas** – Jornal Folha de São Paulo, SP 18 de Fevereiro de 2024, seção mercado, disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/poder/2024/02/folha-completa-103-anos-e-lanca-campanha-por-energia-limpa.shtml>, acesso em 20 fev. 2024

STOICOV, C.; FERRONI, G. **Sustentabilidade no Setor Automotivo.** São Paulo: Uniethos, 2013.

TILLMANN, C.. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas** . Pelotas-RS. 2013.

VAZZOLÉR, L. F. R. **Trajetórias tecnológicas e política setorial: desafios para o desenvolvimento do veículo flex fuel no brasil,** Dissertação de mestrado. Unicamp, 2014.