# ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE VEÍCULOS LEVES MOVIDOS A ETANOL E ELÉTRICO

*ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS BETWEEN LIGHT VEHICLES POWERED BY ETHANOL AND ELECTRIC*

Rosado, Bruno
Dias, Matheus

[1]Alunos do curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco: Campus Campinas Swift
Professor Orientador Celso Antônio Cipolato, do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Francisco

**brosado789@gmail.com**
**m.silvadias@hotmail.com**

## RESUMO

O futuro da mobilidade no Brasil está diretamente ligado ao meio ambiente, infraestrutura, desenvolvimento das matrizes energéticas e de novas tecnologias. Atualmente os principais combustíveis utilizados são de fontes naturais finitas o que provoca um alto impacto ambiental, quando se trata da extração para produção de combustíveis ou da poluição provenientes da circulação das frotas automotivas, com isso, fez necessário avaliar o uso de outras alternativas sustentáveis com baixa emissões de CO2, buscando custo acessível para a grande massa da população, para que seja possível a redução das emissões, utilizando de um grande número de pessoas contribuintes, e por fim, manter o mesmo nível de autonomia dos veículos atuais.

Os veículos elétricos, e os veículos movidos à etanol, apresentam consistentes aspectos para atender essa demanda tão importante para o futuro da nação. A abordagem desenvolvida contempla as vantagens e desvantagens do etanol, da eletrificação e das interações entre as matrizes energéticas, levando em consideração a atual situação do país em termos de desenvolvimento econômico, emissões de CO2 para os diferentes tipos de propulsão, e assim determinar a matriz energética com melhor custo e benefício para veículos leves.

**Palavras-chave**: Emissões; Custo; Autonomia.

**ABSTRACT.**

The future of mobility in Brazil is directly linked to the environment, infrastructure, development of energy matrices and new technologies. Currently, the main fuels used are from finite natural sources or that cause a high environmental impact, when it comes to the elimination of fuel production or pollution from the circulation of automotive fleets, therefore, it has become necessary to evaluate the use of other sustainable alternatives with low CO2 emissions, seeking an affordable cost for a large mass of the population, so that it is possible to reduce emissions, using a large number of contributors, and finally, maintain the same level of autonomy as current vehicles.

Electric vehicles, and vehicles powered by ethanol, present consistent aspects to meet this demand that is so important for the nation's future. The approach developed considers the advantages and disadvantages of ethanol, electrification and interactions between energy matrices, considering the country's current situation in terms of economic development, CO2 emissions for different types of propulsion, and thus determine the matrix energy with better cost and benefit for light vehicles.

**Keywords**: Emissions; Cost; Autonomy

## INTRODUÇÃO

Na atualidade os veículos elétricos ganharam extrema notoriedade, o investimento por parte das montadoras, aliada a grandes empresas do setor automotivo, colocaram a tecnologia dos elétricos a um nível elevado. Porém, a sua eficiência frente a outras tecnologias, começou a ser questionada no Brasil, pois segundo o grupo Stellantis, o elétrico é pouco melhor que o etanol em CO2/km, assim se faz necessário analisar se esta vantagem, faz dos veículos elétricos a solução para o Brasil.

No Brasil, o etanol que é uma fonte renovável, demonstra alta capacidade de ser uma possível alternativa de investimento, a fim de extrair mais eficiência, aliando autonomia, custo e baixa emissão de CO2.

No entanto, veículos movidos à etanol, deixaram de ter alto investimento por parte das montadoras. Essa situação deve-se ao fato de grande parte da tecnologia, embarcada nos veículos atuais, terem origem europeia. Assim, o foco sempre foi a gasolina, devido ao fato da Europa não produzir etanol de qualidade.

Diante desses fatos algumas empresas visando o futuro da mobilidade no Brasil, começaram a dedicar pesquisas aos veículos a etanol. A Mahle por exemplo, em estudo

realizado identificou que a emissão de CO2 de um elétrico é de 17,6 toneladas em 10 anos, superior à de um veículo etanol, que segundo o mesmo estudo fica em 12,1 toneladas.

Motores a etanol não é tecnologia Brasileira, porém nenhum outro país evoluiu tanto o uso desse combustível como o Brasil. Na década de 1970, devido a dependência do petróleo internacional, o governo militar criou o programa nacional do álcool. Essa ação do governo influenciou o desenvolvimento de motores etanol no Brasil.

O etanol é frequentemente criticado por uma série de fatores inerentes à sua aplicação como matriz energética. Por um lado, ele interfere nos preços da gasolina, não apenas por ser parte da composição, mas também por concorrência com o combustível fóssil. Outro ponto, é o fato de concorrer com o açúcar no mercado internacional (daí a variação tão ampla de preços em um ano). Os motores à etanol, exigem uma adaptação regional em termos de componentes e calibração, sendo menos eficiente em termos de volume por quilômetro rodado.

Diante dos prós e contras de cada matriz energética, será apontado e discutido nesse estudo, os pontos em que cada matriz performa melhor, criando um panorama do Brasil, visando analisar criticamente o que é mais vantajoso para o cenário nacional.

## METODOLOGIA

O presente estudo será desenvolvido baseando-se no cenário atual do setor automotivo, no intuito de analisar o potencial energético de duas fontes abundantes no Brasil.

O escopo será delimitado entre etanol e eletrificação, devido à tendência de grandes montadoras investirem na descarbonização no setor. Considerando o cenário atual do Brasil, por permitir que duas fontes distintas tenham desempenho equivalentes, na função de redução de emissão de Co2.

Desta maneira será avaliado além das emissões, custos de propriedade, infraestrutura e autonomia, pois as condições adversas trazidas no território brasileiro, demandam uma análise minuciosa da implementação dos veículos elétricos, como solução para o problema de emissões.

A análise será feita com base em estudos feitos por grandes empresas do setor automotivo, montadoras e também órgãos públicos, estes que tem grande interesse no crédito de carbono nacional. O mapeamento da eletrificação no Brasil, abrangerá diversos fatores que influenciam na eficiência de veículos elétricos. Pois, por se tratar de um país em desenvolvimento, a infraestrutura presente no Brasil, pode não suportar tal evolução em um período curto.

Em contrapartida, a análise deve abordar os motores à etanol, de forma à considerar baixo desenvolvimento que houve nos último 15 anos nesta tecnologia. Assim, considerando que potencialmente, o etanol pode ser uma das saídas que o Brasil tem na descarbonização do meio ambiente, visto que a cana de açúcar gera crédito de carbono para o país.

Em suma, a finalidade do trabalho é analisar o contexto nacional de forma crítica, gerando informações substanciais para abordar as melhores alternativas para o futuro da mobilidade sustentável.

## EMISSÕES

Impactos do CO2 global

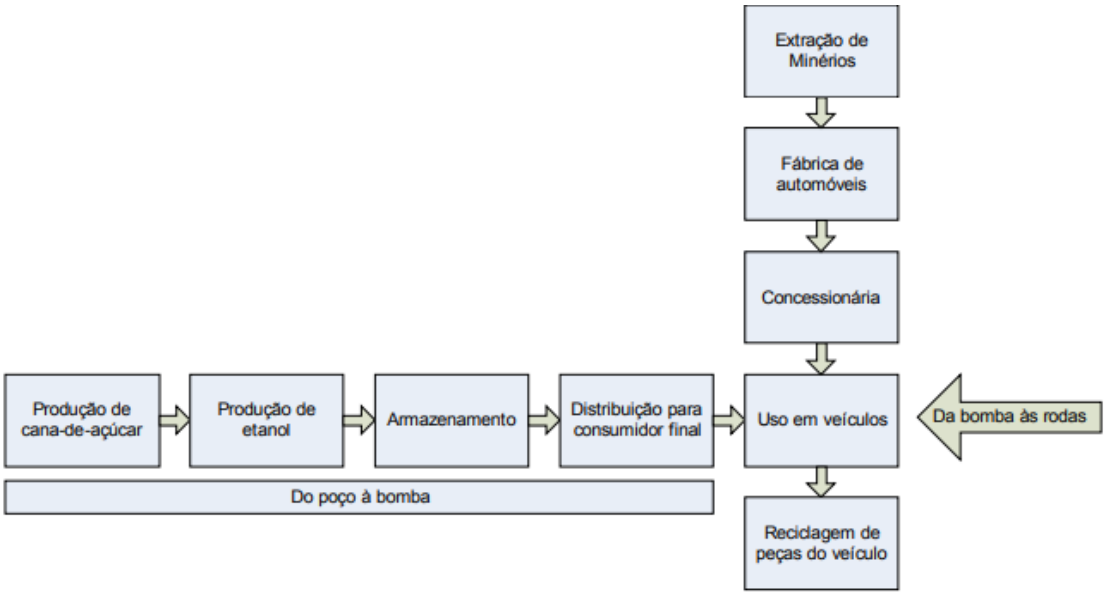
As emissões dos gases do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO2), contribuem com o aquecimento global. O CO2, é o gás responsável por 60% do efeito estufa, e são derivados da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural), através das atividades industriais e dos gases emitidos pelos veículos, contribuindo para o excesso de CO2 na atmosfera que a natureza não consegue absorver. Com o crescimento das emissões ao longo dos anos, foi necessário adotar medidas visando o controle da poluição atmosférica, de forma a minimizar problemas ambientais, então foi criado o Protocolo de Kyoto que constitui um tratado internacional onde os países integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU) firmaram reduzir as emissões de gases do efeito estufa, cujo países desenvolvidos se comprometeram a reduzir 5,2 % entre 2008 e 2012. Países em desenvolvimento, como o Brasil, China e Índia, não receberam metas obrigatórias para cumprir, no entanto na Conferência das Partes (COP 15) em 2009, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de CO2 entre 36,1% e 38,9% em 2020, conforme a lei n° 12.187/2009.

### Emissões provenientes do etanol

O Brasil é o maior produtor mundial de etanol derivado de cana de açúcar, e o segundo maior produtor mundial de etanol. O crescimento produtivo do etanol como combustível, se deu após a chegada da tecnologia flex-fuel, possibilitando o uso de Etanol e Gasolina em um mesmo veículo. Embora um carro no conceito flex-fuel tenha a capacidade de operar com os dois combustíveis, e com qualquer proporção de mistura, na prática a tendência majoritária é a operação destes veículos com etanol, devido ao menor custo do etanol por quilômetro rodado.

O cálculo das emissões foi baseado em dados do Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira (NIPE / UNICAMP), no qual apresentou que ao longo de todo o ciclo de vida do etanol (da formação da muda de cana até a queima do etanol no motor do veículo), ocorre uma emissão líquida de 309 kg/1000 L, sendo que durante o ciclo, existe uma absorção de 7464 kg CO2 / 1000L contra uma emissão de 7773 kg CO2 / 1000 L de etanol.

*Figura 1 – Histograma da cana-de-açúcar e de automóveis.*




Fonte: adaptado de Wang et. Al, 2007

De março de 2003 à março de 2021, foi evitado o lançamento de 552 milhões de toneladas de CO2 na atmosfera com o uso de etanol, tendo em vista que o CO2 é naturalmente liberado na atmosfera devido aos processos de respiração e decomposição de seres vivos. A atividade humana hoje, é a grande responsável pela maior parte da produção de CO2 no planeta, devido às atividades relacionadas ao desmatamento, como as queimadas e conversão de florestas em solo para atividade agropecuária. Como uma alternativa para reduzir a emissão de CO2, o etanol começou a receber maior atenção devido ao seu potencial para ajudar no processo das mudanças climáticas. Ao utilizar o etanol proveniente da cana-de-açúcar, a diferença se dá não somente pela simples utilização do combustível, mas por toda a cadeia tecnológica relacionada à sua produção, e também durante o crescimento da cana de açúcar, pois a planta realiza fotossíntese, absorvendo o gás carbônico da atmosfera.

## Crédito de CO2 proveniente das plantações de cana de açúcar

Os combustíveis renováveis tiveram início no Brasil em 1975, devido a uma crise energética enfrentada na época, incentivando a produção de veículos movidos a etanol, o que acarretou no aumento das áreas de plantação de cana-de-açúcar e a criação de usinas de etanol. Hoje, esse é o biocombustível mais produzido em território nacional tendo grande relevância na agroindústria pela sua produção e comercialização.

Em 2004, foi instituído o Programa Nacional no Brasil, com o objetivo de promover o uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira, e reduzir a dependência do país em

relação aos combustíveis fósseis, instituindo em 2009 uma política nacional para o cultivo de cana-de-açúcar, embasado em critérios econômicos, ambientais e sociais, como por exemplo o programa Zoneamento Agroecológico de Cana-de-Açúcar (ZAEcana), que regulamenta o plantio de acordo com as áreas favoráveis a produção, levando em consideração o clima, solo e biomas.

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar cresce de acordo com o consumo interno do Brasil, onde a produção em 2019 foi de 59 bilhões de litros, mais que o dobro em relação ao ano de 2008. Além do alto crescimento ao longo dos anos, a cana de açúcar é altamente eficiente quando se trata de taxas fotossintéticas, calculadas em até 100mg de CO2 fixo por uma área de 1dm² por hora.

Com a forte pressão internacional, para que os combustíveis renováveis ganhem volume na matriz energética em função do aquecimento global, e com a evolução das técnicas de cultivo, as lavouras produtoras dos principais insumos dos combustíveis renováveis, se tornaram muito mais eficientes no Brasil. O crescimento das safras de cana-de-açúcar evoluiu de 47 toneladas por hectare em 1975, para 81 toneladas por hectare em 2009, apresentando um aumento de eficiência em 73,6%. Nesses 34 anos, a área de plantação aumentou em aproximadamente 3,8 vezes, enquanto a produção partiu de 91.524.559 toneladas em 1975 e alcançando o resultado de 612.211.200 toneladas no ano de 2009, um crescimento de aproximadamente 670%.

*Figura 2 – Crescimento de produção da cana de açúcar.*

| Ano | Fase | Área (Hectares) | Produção (Toneladas) | Rendimento (t/h) |
|---|---|---|---|---|
| 1975 | 1ª | 1.969.227,00 | 91.524.559,00 | 46,82 |
| 1985 | 2ª | 3.912.042,00 | 247.199.474,00 | 63,22 |
| 1995 | 3ª | 4.559.062,00 | 303.699.497,00 | 66,49 |
| 2000 | 4ª | 4.804.511,00 | 326.121.011,00 | 67,51 |
| 2009 | 5ª | 7.531.000,00 | 612.211.200,00 | 81,29 |
| 2019 | 5ª | 9.911.700,00 | 630.000.000,00 | 63,56 |

Fonte: adaptado de Cruz, 2012 e Conab, 2019.

**Emissões provenientes do veículo elétrico**

Em vista de alcançar a descarbonização dos veículos no Brasil, a transição energética brasileira vem ocorrendo em um passo mais lento, devido às peculiaridades do país, que não possui os mesmos recursos de infraestrutura e flexibilidade econômica, que em países europeus plenamente desenvolvidos, são pioneiros quando se trata de eletrificação automotiva. Apesar

de não estar à frente do movimento, o mercado brasileiro está caminhando em direção à eletrificação da frota de veículos.

Os veículos elétricos dependentes de bateria, que não são uma invenção recente, apresentam características semelhantes desde o princípio, e para torna-los eficiente ao ponto de ser uma solução, é fundamental que o veículo elétrico seja plenamente avaliado para que se possa compreender quais são suas vantagens e desvantagens, e chegar à melhor opção para o consumidor e o meio ambiente.

A grande vantagem dos veículos elétricos é o seu motor extremamente eficiente, e a baixa emissões de gases do efeito estufa, ao longo do seu funcionamento, nesse caso desconsiderando a fabricação e descarte. Por outro lado, a principal desvantagem se mostra na fabricação da bateria, pois a produção da mesma é inteiramente dependente da mineração e da extração de cobre, um recurso que é relativamente escasso na natureza. São utilizados cerca de 15kg de cobre para a produção de um carro à combustão comum, e para um carro elétrico, essa quantidade salta para 83 kg por veículo.

A análise dos impactos desta tecnologia no meio ambiente, não devem ser considerados apenas durante a utilização dos veículos, e sim, durante toda a cadeia, que vem da fabricação ao fim da vida útil do veículo. A produção de baterias, é inteiramente dependente da atividade de mineração e da disponibilidade do minérios, como lítio e cobre, sendo necessário considerar as emissões de carbono e o uso de energia que decorrem da fabricação das baterias, pois além de dependerem de cobre para a produção, é necessária a extração de diversos outros componentes, como lítio, cobalto, manganês, níquel e alumínio, que dependem de procedimentos altamente poluentes para que sejam produzidos, além de considerar todos os elementos necessários para a composição de uma bateria.

Outra desvantagem das baterias dos veículos elétricos é a massa adicionada, pois uma bateria de 60 kWh conterá aproximadamente 9 kg de lítio, 24 kg de níquel, 24 kg de cobalto, 22 kg de manganês e outras dezenas de quilogramas de grafite, alumínio e cobre, somando ao final, uma bateria pesará quase meia tonelada.

Observando o estudo feito pela Volvo, nos veículos XC40 movido a gasolina, e o C40 que é totalmente elétrico, que foram comparados para determinar qual a diferença na produção de CO2. O C40 e o XC40, são basicamente o mesmo veículo, são produzidos na mesma fábrica, e tem os mesmos fornecedores na parte externa e interna da carroceria, sendo a única grande diferença o seu *powertrain*. Comparando o resultante de CO2 emitido em sua construção, foi descoberto que 70% a mais de CO2 é produzido na fabricação do veículo totalmente elétrico, devido ao fato da produção de sua bateria, e maior número de componentes elétricos no motor. Sendo necessário um alto custo de CO2, pois há muito mais implementos na extração de sua matéria prima.

**Custos de infraestrutura para transição energética**

Um dos principais pontos a serem considerados ao analisar uma completa transição do setor automotivo de um país, é o custo que será envolvido na infraestrutura de abastecimento. No caso do Brasil, especialmente quando comparado com o panorama europeu, é evidente que os cenários são significativamente distintos. Com base no cenário atual, o país não se encontra em um momento favorável, e com flexibilidade financeira suficiente para realizar os altíssimos investimentos, que seriam necessários para viabilizar a implementação de uma infraestrutura de abastecimento eficiente, e acessível por todo o país. A instalação de eletro pontos por todo o país, de forma suficiente a atender a demanda de um território com dimensões continentais, e com mais de 200 milhões de habitantes, geraria altos custos nos mais diversos sentidos, sendo os um deles, o planejamento por parte do governo e de toda a cadeia de empresas envolvidas.

Diferentemente dos países líderes na eletrificação do setor automotivo, que possuem capacidade financeira de fornecer subsídios para a compra de veículos e para a instalação de inúmeros pontos públicos de abastecimento, é evidente que a situação brasileira é radicalmente oposta e, portanto, apesar dos esforços que foram empreendidos no país até o momento, os veículos elétricos não são compatíveis com o cenário brasileiro.

Atualmente, os modelos de carros elétricos que são comercializados no Brasil, possuem um alto custo, em geral o valor de venda dos automóveis varia entre R$150 e R$300 mil, embora ainda tímidas, já é possível perceber uma movimentação voltada à elaboração de políticas públicas para incentivar o crescimento deste tipo de produto no mercado, como a isenção do imposto de importação sobre estes veículos. Essas medidas garantiram em 2020, um incentivo à compra de veículos elétricos, sendo isento do valor do imposto 35%.

Apesar dos Projetos de Lei tratarem sobre os impostos distintos (IPI, PIS/COFINS e II), com o objetivo de diminuir o preço final dos veículos dessa modalidade, e facilitar o acesso dos carros elétricos, o alto custo de aquisição desses veículos, atualmente ainda cria uma barreira quase insuperável à maior parte da população. O alto custo decorre de diversos fatores que interferem na cadeia produtiva deste tipo de veículo, e sua chegada ao consumidor final, como influência do dólar supervalorizado, o elevado custo das baterias, as medidas que impactam diretamente na capacidade da população de adquirir veículos elétricos são fundamentais para considerar a difusão deste tipo de veículos no território nacional, pois a demanda deve ser compatível com os investimentos que seriam necessários para viabilizar a instalação de uma nova infraestrutura de abastecimento por todo o país, de forma que os motoristas se sintam seguros e satisfeitos em relação à transição.

Juntamente desses fatores, há o fato de que no Brasil, a infraestrutura não está preparada para receber tamanha inovação na mobilidade.

Os veículos elétricos trazem consigo a dificuldade na sua autonomia, devido à falta de tecnologia para as baterias é necessário alto número de recarga durante seu uso, pois com apenas uma recarga não é possível andar grandes distâncias com o veículo. Outro ponto a ser ressaltado, é que no Brasil ainda não há presença de grande número de postos de recarga. Porém

mesmo que haja postos de recarga, a bateria leva um grande tempo para que seja recarregada, fazendo o uso do veículo elétrico um tanto quanto difícil em nosso território.

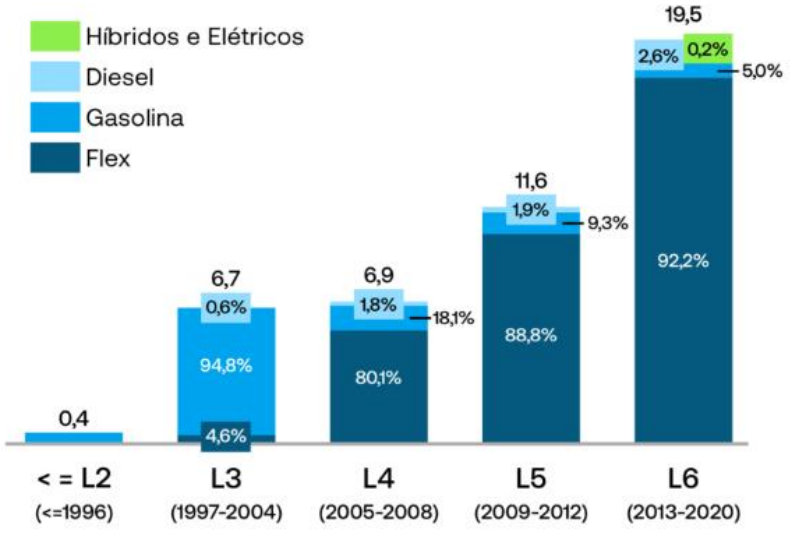
A autonomia será por muito tempo um dificultador na vida dos elétricos, fato este, devido aos veículos de entrada por exemplo não passarem, na média, de 250 km de autonomia com apenas uma carga, e tendo em média um tempo de recarga de aproximadamente 1h para 80% da carga. As recargas de bateria no Brasil, possuem ainda um outro dificultador, pois o país possui apenas 3200 postos de recarga, número bem abaixo se comparado aos Estados Unidos que tem 51.000 estações de recarga com 130.000 tomadas acessíveis em pontos públicos.

## POTENCIAL DOS MOTORES ETANOL

O debate em torno da eletrificação da frota automotiva é, sem dúvida, um tema de importância crescente em nível global. Países como China e nações europeias têm direcionado esforços consideráveis para desenvolver e adotar tecnologias mais sustentáveis, afastando-se da dependência do petróleo como fonte primária de energia para veículos. Essa mudança é motivada por preocupações ambientais, a busca por soluções de mobilidade mais limpas e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Ao analisar a situação brasileira, é inegável que o país já possui uma matriz energética peculiar, com uma significativa participação de biocombustíveis, como o etanol, na matriz de combustíveis para veículos. Essa característica singular, coloca o Brasil em uma posição vantajosa, apresentando uma alternativa relativamente mais limpa em comparação com os combustíveis fósseis puros.

*Figura 3 – Comparação ao longo dos anos para diferentes propulsões.*




Fonte: Adaptado

No entanto, a escolha do modelo ideal para a transição energética no setor automotivo é uma decisão complexa, envolvendo uma série de fatores que vão além das questões ambientais. A geoeconomia e a estratégia geopolítica desempenham papéis cruciais nesse contexto. A China, por exemplo, está buscando não apenas a redução das emissões, mas também a liderança na indústria de veículos elétricos, visando um papel proeminente no mercado global e garantindo sua segurança energética a longo prazo.

No cenário europeu, a transição para veículos elétricos está alinhada com as metas ambiciosas da União Europeia em relação à neutralidade climática até 2050. Essa iniciativa não apenas contribui para a diminuição das emissões de carbono, mas também impulsiona a inovação e o desenvolvimento tecnológico na região.

Quanto à proposta de adotar carros híbridos movidos a etanol no Brasil, é uma abordagem interessante que capitaliza a expertise do país na produção desse biocombustível. Os carros híbridos, oferecem uma transição gradual para a eletrificação, mantendo a flexibilidade do uso de combustíveis renováveis, como o etanol. Essa estratégia pode ser especialmente benéfica no contexto brasileiro, considerando a extensa infraestrutura já existente para a produção e distribuição de etanol.

A eletrificação da frota é um caminho crucial para reduzir a pegada ambiental dos veículos, a abordagem ideal pode variar de país para país, dependendo de suas circunstâncias específicas, recursos disponíveis e objetivos estratégicos. O Brasil, com sua rica tradição em biocombustíveis, tem a oportunidade de moldar sua transição de maneira única, alinhando-se com as demandas ambientais globais e, ao mesmo tempo, aproveitando suas vantagens competitivas.

Os motores a etanol, não tiveram o mesmo investimento do que motores gasolina. Um ponto importante a ser destacado, é que hoje ainda não há nenhum motor puramente etanol que tenha a injeção de combustível direto na câmara de combustão (injeção direta).

Na média, a injeção direta chega a reduzir em até 2% o consumo de combustível. Em veículos à gasolina esse tipo de injeção se tornou tendência mundial, pois tornou possível utilizar motores sobrealimentados extremamente eficientes.

Estes ganhos podem trazer ao etanol uma série de benefícios, pois motores etanol, tendem a ter mais potência, pois este combustível tem um coeficiente de expansão térmica maior do que a gasolina, o que pode resultar em uma expansão mais eficaz dos gases de combustão e, portanto, mais potência quando usado em motores otimizados para essa característica.

A comparação entre as emissões de dióxido de carbono ($CO_2$) de um veículo elétrico abastecido com eletricidade gerada no Brasil, e um carro utilizando etanol destaca a relevância de considerar diferentes fontes de energia ao avaliar a pegada de carbono dos meios de transporte.

Ao analisar um estudo realizado pela Stellantis, após o veículo percorrer uma distância padrão de teste, o carro movido a etanol emitiu 25,79 kg CO2, menos da metade do que o carro movido a gasolina do mesmo teste que emitiu 60,64 kgCO2. O etanol, também apresentou um resultado melhor que o do carro 100% elétrico (BEV) que usou energia europeia, emitindo 30,41 kgCO2eq, pois apenas o carro 100% elétrico (BEV) que utilizou energia brasileira, teve um índice menor que o etanol no teste dinâmico, emitindo 21,45 kgCO2eq. Os resultados comprovam que existem vantagens comparativas da matriz energética brasileira, principalmente a importância dos biocombustíveis para uma mobilidade mais sustentável.

No caso específico, os números apresentados evidenciam que, em termos de emissões de CO2 por quilômetro percorrido, o carro abastecido com eletricidade tem uma vantagem substancial sobre o veículo etanol. A diferença de praticamente 4,3 KgCO2 entre os dois métodos de propulsão ressalta o potencial ambientalmente benéfico do etanol como combustível.

Porém a comparação do ciclo completo do etanol, isto é, do campo à roda, é crucial ao avaliar a eficiência e as emissões associadas ao etanol. O fato de que a cana-de-açúcar, durante seu ciclo de desenvolvimento vegetal, absorve uma porcentagem substancial do CO2 liberado durante a produção e queima do etanol é um ponto-chave para compreender a eficiência ambiental dessa fonte de energia.

O conceito "*well-to-wheel*" leva em conta todas as etapas do processo, desde o cultivo da matéria-prima até a utilização final no veículo. A capacidade da cana-de-açúcar de absorver entre 70% e 80% do CO2 emitido durante esse ciclo, contribui de maneira significativa para a redução líquida das emissões de carbono.

Essa característica do etanol destaca-se como uma vantagem ambiental, especialmente quando comparada a combustíveis fósseis que contribuem para o acúmulo líquido de CO2 na atmosfera. A capacidade da biomassa, como a cana-de-açúcar, de atuar como um sumidouro de carbono durante seu crescimento, compensa as emissões liberadas durante a produção e a queima do etanol, criando um ciclo mais equilibrado.

É importante ressaltar que a eficiência ambiental do etanol no contexto "*well-to-wheel*" não apenas depende da capacidade de absorção de carbono da biomassa, mas também de práticas agrícolas sustentáveis, métodos eficientes de produção e processos de transporte e distribuição com baixas emissões.

Dessa forma, ao considerar o etanol como uma alternativa de combustível, a análise completa do ciclo de vida, incorporando a absorção de CO2 pela planta durante o cultivo, reforça seu potencial para contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, promovendo assim uma abordagem mais sustentável na matriz energética.

Devido as inúmeras vantagens dos motores etanol, e também dos veículos elétricos, é necessário despolarizar a linha de raciocínio. Ao considerar as duas propulsões como possíveis alternativas, os veículos híbridos ganham notoriedade. Aliando a autonomia e facilidade de abastecimento do etanol, com a baixa emissão de CO2 dos elétricos, essa combinação mostra-se potencialmente superior à qualquer outra já testada, visto que grandes grupos como a

Stellantis planejam extinguir motores flex, substituindo-o por veículos híbridos com motores combustão unicamente a etanol.

A integração de motores híbridos com combustíveis à base de etanol é uma proposta que tem sido considerada como uma potencial solução para promover a mobilidade sustentável. Essa abordagem busca combinar os benefícios da eletrificação, proporcionados pelos motores elétricos, com a eficiência e a flexibilidade dos motores de combustão movidos a etanol.

Ao integrar um motor de combustão movido a etanol a um sistema híbrido, é possível aproveitar a eficiência desse tipo de motor, que tem um rendimento energético notável. Além disso, a presença de um componente elétrico permite otimizar o consumo de combustível, especialmente em condições de tráfego urbano, onde a frenagem regenerativa e a operação em baixas velocidades são mais eficientes.

A tecnologia híbrida também oferece a vantagem da autonomia estendida. Os motores elétricos podem assumir a carga de trabalho em deslocamentos urbanos diários, enquanto o motor a etanol entra em ação em viagens mais longas, proporcionando uma solução versátil que atende às necessidades variadas dos condutores.

No entanto, é importante considerar alguns desafios associados a essa proposta. Como já mencionado anteriormente a infraestrutura de recarga para veículos elétricos ainda é limitada em algumas regiões, o que pode dificultar a adoção em larga escala dos veículos híbridos. Além disso, é crucial garantir que a produção de etanol seja sustentável, sem comprometer a segurança alimentar ou resultar em impactos ambientais negativos.

Em resumo, a integração de motores híbridos com combustíveis à base de etanol apresenta-se como uma solução promissora para a mobilidade sustentável, combinando eficiência, redução de emissões e versatilidade. No entanto, é necessário abordar desafios como infraestrutura e sustentabilidade na produção para garantir uma transição bem-sucedida para esse modelo de transporte.

## CONCLUSÃO

Diante dos fatos analisados, é evidenciado que ambas propulsões carregam vantagens que contribuiriam para a descarbonização do meio ambiente.

Esta conclusão deve-se ao fato de em meios urbanos a eletricidade ter muito mais vantagens, pois alia baixo consumo com a menor taxa de emissão de CO2 dentre os combustíveis avaliados. Por outro lado, quando for necessário autonomias maiores, a propulsão via etanol estará presente, baixo custo, emissões equivalentes à de um veículo 100% elétrico e diferentemente da recarga elétrica que ainda é escassa no Brasil o etanol é facilmente encontrado.

Em suma, levando em conta a disponibilidade de matrizes energéticas limpas presentes no Brasil, os veículos híbridos mostram o maior potencial para reduzir as emissões de CO2, pois conseguem combinar as vantagens da propulsão elétrica no meio urbano, com a capacidade de motores movidos a etanol terem autonomia elevada ao mesmo passo que mantém as emissões a níveis baixos. Juntamente com esses fatores, a infraestrutura no Brasil permite o fácil acesso do etanol em todo território.

Haja visto estas condições, o futuro da mobilidade sustentável deve convergir para o uso de ambas matrizes energéticas a fim de aproveitar as melhores características de cada uma. No contexto brasileiro os veículos híbridos com motor a combustão unicamente movido a etanol é a alternativa mais viável.

## REFERÊNCIAS

ESTADÃO. Etanol, solução brasileira para a transição energética do mundo. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/etanol-solucao-brasileira-para-a-transicao-energetica-do-mundo/>. Acesso em: 4 nov. 2023.

FABRICIO, A. et al. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Disponível em:<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12590/TCCE_EEAPP_EaD_2017_SANTOS_ANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 out. 2023.

FELIPE, L. et al. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. BNDES Setorial, v. 41, p. 295–344, [s.d.].

GAZZONI, DL Balanço de emissões de CO2 utilizando etanol ou gasolina como combustível. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/gazzoni/balanco-emissoes-co2-etanol-gasolina-combustivel-30-06-08>. Acesso em: 10 nov. 2023.

GOVERNAMENTAL. Fatores de emissões. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 23 out. 2023.

HAUCH, B.; DE CASTRO, R.; FERREIRA, T. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%c3%adculos%20el%c3%a9tricos%20aspectos%20b%c3%a1sicos%2c%20perspectivas_P.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

HOLLANDA, R; CAMPOS, M. Etanol como opção brasileira para a mobilidade sustentável do futuro. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/02/17/etanol-como-opcao-

brasileira-para-a-mobilidade-sustentavel-do-futuro-por-roberto-hollanda- e-mario-campos.html>. Acesso em: 4 nov. 2023.

MORELLI, R. Comparativo de emissões coloca o Brasil em vantagem competitiva. Disponível em:<https://canalve.com.br/comparativo-de-emissoes-coloca-brasil-em-vantagem competitiva>. Acesso em: 16 out. 2023.

MIRANDA, M. M. DE. Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22012013-112737/en.php>. Acesso em: 15 out. 2023.

NEVES, Henrique. The expansion of renewable energy in Brazil: opportunities and barriers within the context of energy transition and climate change mitigation, v.15, n.3, p. 2535-2563.

PEREIRA, B. R. et al. PRODUÇÃO DO ETANOL E SUA MITIGAÇÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES. Brasil Para Todos - Revista Internacional, v. 8, n. 1, p. 13–21, 7 out. 2020.

UNESP. Novas aplicações do etanol podem ser a via mais vantajosa para transição energética da frota de veículos brasileira. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/10/11/novas-aplicacoes-do-etanol-podem-ser-a-via-mais-vantajosa-para-transicao-energetica-da-frota-de-veiculos-brasileira/>. Acesso em: 7 out. 2023.