

Biocombustíveis ou eletrificação?

Perspectivas para a descarbonização dos transportes no Brasil

O transporte é um segmento chave para a economia, garante a mobilidade de passageiros e cargas, o acesso a bens e serviços, e conecta mercados globais promovendo oportunidades comerciais fundamentais para o desenvolvimento dos países. Contudo, de acordo com a ONU, um quarto das emissões mundiais de gases de efeito estufa são provenientes desse segmento¹, o que levanta discussões sobre como alinhar a agenda climática e o crescimento da demanda por mobilidade.

O principal desafio associado a descarbonização da mobilidade está vinculado a alta dependência de combustíveis fósseis. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), os derivados de petróleo correspondem a 91% da energia consumida no transporte mundial. O frete rodoviário, a aviação e a navegação, por exemplo, são modais considerados *hard to abate* (de difícil mitigação) por exigirem combustíveis com elevada densidade energética e devido à extensa vida útil das frotas, o que torna complexa a substituição e adaptação para combustíveis alternativos.

Diante da necessidade de alternativas que contribuam com a descarbonização desse segmento, a eletromobilidade é apontada como solução para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, assim como os biocombustíveis. Ambas as soluções oferecem benefícios e desafios em suas respectivas aplicações.

O uso de biocombustíveis, ou seja, combustíveis provenientes de matéria-prima renovável, não é algo recente. Já no século XIX, o motor desenvolvido por Rudolf Diesel - que mais tarde levaria seu nome - foi projetado para funcionar com óleo de amendoim. Ainda que inicialmente não tenham sido

¹ Fact Sheet Climate Change of Sustainable Transport Conference, ONU 2021

originados com o propósito de descarbonizar, alguns biocombustíveis podem contribuir com até 90% de redução de emissões em comparação aos combustíveis convencionais.

Embora os biocombustíveis liberem CO₂ quando queimados, a redução de emissões ocorre pelo ciclo total do carbono. Ou seja, o dióxido de carbono (CO₂) é absorvido da atmosfera durante o crescimento da biomassa, compensando as emissões geradas na combustão. Um benefício adicional da utilização de biocombustíveis é a ampliação da vida útil das frotas que utilizam biocombustíveis.

Os veículos elétricos, por sua vez, não emitem gases de efeito estufa diretamente. Entretanto, para que a mobilidade elétrica tenha uma contribuição positiva para a redução de emissões, é necessário que o fornecimento de energia seja a partir de fonte renovável. Assim como o ciclo de vida da biomassa é considerado para o cálculo do potencial de descarbonização dos biocombustíveis, o carbono emitido no uso da energia primária para o fornecimento da eletricidade dos EV's deve ser considerado.

Neste cenário, ambas as alternativas têm sido consideradas promissoras para a descarbonização do transporte, o que tem levantado discussões sobre qual será a solução adotada pelo mercado no longo prazo.

Biocombustíveis

No mundo, os biocombustíveis já são utilizados para descarbonização do transporte, especialmente no modal rodoviário, onde já existem biocombustíveis que podem ser utilizados puros em motores convencionais sem modificação, os chamados combustíveis “*drop in*”, como é o caso do diesel verde. Além disso, os biocombustíveis são considerados uma solução de longo prazo para a descarbonização do setor marítimo e de aviação, onde há poucas alternativas viáveis e de baixo custo e a eletrificação é inviável.

Em 2023, foram consumidos 122 bilhões de litros de biocombustíveis no mundo, um aumento de 4% em relação ao ano anterior². Esse incremento está sendo impulsionado por políticas de incentivo em diversos países. A Índia implementou a mistura de 10% de etanol à gasolina em 2022 e tem o objetivo de atingir 20% até 2025. Nos Estados Unidos, a Lei de Redução da Inflação (IRA) prevê até 2031 um incentivo de até US\$ 9,4 bilhões à produção de biocombustíveis avançados³. O Canadá, por sua vez, implementou, em 2023, o “Regulamento do Combustível Limpo”, que tem como objetivo reduzir em 13% a intensidade das emissões de gases de efeito estufa dos combustíveis no transporte até 2030. A União Europeia também está prestes a firmar um acordo para atualizar a Diretiva de Energia Renovável (RED III), o que dobrará as exigências de conteúdo renovável nos combustíveis de transporte, incluindo a mistura de biocombustíveis, em relação às metas atuais.⁴

Diante desse cenário, de acordo com a IEA, a demanda de biocombustíveis crescerá 20% até 2030. Biodiesel e diesel verde (HVO) serão responsáveis por 40% do crescimento da demanda, enquanto o etanol corresponderá a 35%, e o SAF, feito a partir de biomassa, comporá os 25% restantes.⁵

O Brasil tem uma longa trajetória de produção e uso de biocombustíveis, pela adoção de políticas públicas de incentivo. O país, que possui mandatos obrigatórios de adição de etanol à gasolina e de biodiesel ao diesel, contou em 2023 com 22,5% do consumo final de energia⁶ do segmento atrelada ao uso de biocombustíveis. Além disso, conta com uma extensa frota *flex fuel*, que possibilita o uso do etanol hidratado puro como combustível.

² Statistical Review of World Energy, Energy Institute (2024)

³ United States Environmental Protection Agency (2024)

⁴ IEA, 2022

⁵ Carbon Accounting for Sustainable Biofuels, IEA (2024)

⁶ Balanço Energético Nacional, EPE (2024)

Outras iniciativas que merecem destaque são o Renovabio, programa que permite aos produtores de biocombustíveis a emissão de um Crédito de Descarbonização (CBIO) e o diferencial tributário para aqueles biocombustíveis que competem com os combustíveis fósseis nos postos de abastecimento. Essas políticas consolidaram o país como o 2º maior produtor e consumidor de biocombustíveis no mundo. Neste contexto, a adoção de biocombustíveis líquidos foi uma escolha estratégica para o Brasil à medida que aproveitou o seu potencial e *know how* agrícola e promoveu o desenvolvimento regional.

Contudo, cada vez mais são exigidos biocombustíveis com performance baseada em critérios de sustentabilidade, com diversidade de matérias-primas, principalmente o aproveitamento de resíduos agrofloretais e urbanos, garantindo o manejo sustentável, o que impulsionará o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas.

A sanção da “Lei Combustível do Futuro”, em 2024, foi um primeiro indicativo de que o país está motivado a evoluir e a diversificar ainda mais a matriz energética do transporte. Além de outras iniciativas, a legislação instituiu o Programa Nacional do Diesel Verde (PNDV), para o fomento da produção de Diesel Verde ou HVO, combustível produzido a partir do hidrotreatamento de óleos vegetais e que é *drop in*, ou seja, quimicamente análogo ao diesel fóssil e que não demanda alterações nos motores e infraestruturas existentes.

Para a aviação, a lei prevê ainda o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), que introduz um mandato por descarbonização a ser cumprido pelas companhias aéreas. Dentre as alternativas para a redução de emissões no setor aéreo, o SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) - um combustível equivalente ao querosene de aviação e *drop in*, produzido a partir de matérias-primas renováveis ou resíduos e que atente

a padrões de sustentabilidade internacionais - desponta como a mais promissora.

Diante desse contexto, o Brasil tem potencial para se tornar um player relevante no fornecimento desses combustíveis renováveis avançados, seja pelo desenvolvimento de novas plantas produtivas ou pela adaptação do parque de refino existente, a partir do coprocessamento de óleos vegetais e carga fóssil.

Eletromobilidade

A eletromobilidade também está ganhando destaque para a descarbonização do modal rodoviário, principalmente para a frota de leves e comerciais. As tecnologias de carros elétricos existentes incluem veículos elétricos a bateria (BEVs), veículos elétricos híbridos (HEVs), veículos híbridos *plug-in* (PHEVs) e veículos elétricos a célula de combustível (FCEVs). BEVs são totalmente movidos por baterias recarregáveis e, atualmente, são a forma mais comum de carro elétrico. HEVs combinam um motor a combustão interna com um motor elétrico e uma bateria menor, permitindo economia de combustível, mas, sem necessidade de carregamento externo, esses veículos também podem ser adaptados para utilizarem biocombustíveis. Já os PHEVs possuem tanto um motor a combustão quanto um motor elétrico com uma bateria recarregável, que pode ser carregada externamente. Os FCEVs utilizam hidrogênio e células de combustível para gerar eletricidade a bordo, emitindo apenas vapor d'água como subproduto, mas possuem um tanque que precisa ser reabastecido em postos específicos.

Em 2023, a maioria das vendas de carros elétricos foi concentrada na China (60%), Europa (25%) e Estados Unidos (10%). Apesar do notável avanço nas economias desenvolvidas, é importante pontuar que essa aceleração, particularmente na Europa e EUA, pode ser atribuída a incentivos/subsídios

governamentais. Em países emergentes, o ritmo para adoção desses veículos tende a ser menor devido às margens apertadas, preços voláteis de metais, alta inflação e ausência de incentivos e subsídios.

A eletrificação de veículos pesados também está em ascensão internacionalmente. De acordo com dados da IEA, as vendas de caminhões elétricos aumentaram 35% em 2023 em relação ao ano anterior, com cerca de 54.000 unidades lideradas pela China, que representa 70% das vendas globais. Na Europa, as vendas de caminhões elétricos quase triplicaram em 2023 e, nos Estados Unidos, as vendas triplicaram, embora tenham alcançado menos de 0,1% das vendas totais de caminhões.⁷

Para atender à demanda energética destes veículos, é necessária uma ampla disponibilidade de energia elétrica renovável, o que exige atualizações na infraestrutura da rede elétrica e nos sistemas de abastecimento. Além disso, o aumento das vendas de elétricos levanta preocupações sobre a sustentabilidade da cadeia de suprimentos, à medida que as baterias exigem uma grande quantidade de minerais, sendo necessário altos investimentos em mineração e processamento, atividades que são intensivas em energia e emissões. Outro desafio a ser considerado são as incertezas quanto ao mercado secundário desses veículos devido à desvalorização em função da rápida evolução tecnológica dos elétricos e à deficiência da infraestrutura de recarga.

Para veículos pesados, ainda é essencial o desenvolvimento de tecnologias de baterias aprimoradas, capazes de lidar com o maior peso e consumo dos caminhões, com autonomia para grandes distâncias, o que implica custos elevados. Nota-se que, diante deste cenário, alternativas mais eficientes em termos de custo têm um maior potencial de acelerar a transição no curto

⁷ Global EV Outlook 2024, IEA (2024)

prazo, como é o caso dos biocombustíveis e do gás natural veicular. Fato é que não existe uma tecnologia vencedora para veículos pesados, e o caminho possivelmente será a coexistência de várias tecnologias.

No Brasil, segundo a Anfavea, em 2023, os veículos eletrificados representaram 4% do total de leves licenciados no ano. Já em 2024, o número de licenciamento de eletrificados alcançou 7,1%. É esperado ainda que a mobilidade elétrica no Brasil cresça de forma gradual, tendo em vista o elevado custo dos veículos, que acaba limitando a demanda aos compradores do segmento premium. De acordo com as projeções da EPE, a frota destes veículos deverá ultrapassar 1 milhão em 2030, com alta participação de híbridos. Em 2034, os veículos leves eletrificados representarão 18% dos licenciamentos desta categoria, e a frota total de híbridos e elétricos alcançará 3,7 milhões de veículos.⁸

Para o contexto brasileiro, destaca-se o híbrido a etanol, especialmente devido à infraestrutura de abastecimento consolidada para o biocombustível com menor emissão de carbono, maximizando a eficiência energética.

O que esperar para o futuro do Brasil?

Pode-se dizer que o Brasil apresenta uma posição privilegiada no contexto da descarbonização da mobilidade. O país possui uma das políticas públicas mais robustas de incentivo de biocombustíveis, além de uma matriz energética e elétrica com pujante participação de renováveis, 49% e 89%, respectivamente. Ademais possui um conjunto de fatores favoráveis, como a disponibilidade de biomassa para a produção de biocombustíveis, o parque de produção existente, uma frota já adaptada aos biocombustíveis e uma

⁸ PDE 2034, EPE (2024)

infraestrutura de armazenamento e distribuição de combustíveis otimizada para a realidade do país. Diante desse contexto, o Brasil pode gerenciar o ritmo da mobilidade elétrica sem que ela comprometa a sua transição para uma economia de baixo carbono.

É importante ressaltar os desafios associados à renovação da frota brasileira que precisam ser vencidos para a expansão dos elétricos, como o custo dos veículos, as altas taxas de juros somadas à dificuldade de obtenção de crédito e à desvalorização cambial. O envelhecimento da frota brasileira também é uma realidade que precisa ser levada em consideração. Em 2023, a frota circulante de veículos no país atingiu 47 milhões de unidades, sendo a participação dos motores *flex* de 76,2%; diesel. 11,7%; gasolina. 11,5%; eletrificados. 0,4%; GNV. 0,3%; e movidos exclusivamente a etanol. 0,1%. Destes, a idade média foi de 10 anos e 10 meses. e a representatividade de veículos mais antigos aumentou, com crescimento de 5,6% entre aqueles com 11 a 15 anos e de 14,9% entre os com 16 a 20 anos.⁹

Diante desse contexto, a promoção de biocombustíveis permanece como a principal alternativa para a descarbonização do transporte brasileiro. Contudo, isso não significa que o país não está atento às tendências mundiais. Segundo projeção da Anfavea, o licenciamento de eletrificados chegará a 65% do total do mercado em 2035.¹⁰ Políticas públicas como o Programa de Mobilidade Verde têm como objetivo acelerar a descarbonização pela implementação de novas tecnologias, inclusive elétricos. Além disso, durante a COP 29, o país afirmou em sua NDC que buscará mitigar as emissões de GEE

⁹ Relatório de Frota Circulante, Sindipeças (2024)

¹⁰ Advancing in the Brazilian Automotive decarbonization path - Light Vehicles, Anfavea (2024)

do transporte pela adoção de eletricidade e de biocombustíveis, além de outros combustíveis alternativos de baixo carbono.

Uma nova fronteira que está sendo explorada pela indústria de óleo e gás é a redução de emissões de segmentos de transporte que ainda são totalmente abastecidos por fósseis no país, como a aviação e a navegação. A indústria tem estudado misturas de combustíveis marítimos com biodiesel e etanol, além do desenvolvimento da produção de SAF, que será acrescido ao querosene fóssil, a partir de 2027, em atendimento às exigências da Lei Combustível do Futuro e ao Corsia, iniciativa desenvolvida pela Organização da Aviação Civil e Internacional (OACI), do qual o país é signatário. O acordo estabelece que as emissões de um operador aéreo do país signatário que ultrapasse uma linha base seja compensada por meio de créditos de carbono ou pela utilização de combustíveis aprovados pelo programa: SAF e Combustível de aviação de baixo carbono (LCAF). Outras tecnologias - como combustíveis de baixo carbono a partir de CCS, *e-fuels*, hidrogênio verde e amônia verde - também estão no radar do setor para a descarbonização do setor marítimo. Além disso, cabe destacar a tecnologia de coprocessamento, que ainda carece de marco regulatório, mas pode acelerar a transição no curto prazo à medida que aproveita as infraestruturas existentes.

Neste contexto, cabe inferir que o caminho para a descarbonização do transporte brasileiro não se limitará a apenas uma solução tecnológica. Biocombustíveis, elétricos e combustíveis fósseis coexistirão fornecendo a segurança energética necessária para que o país aprimore as suas soluções de baixo carbono e continue a evolução energética em curso.