



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Visão dos pesquisadores da área de Engenharia Automotiva da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o “Mapa do Caminho”

O despacho presidencial do último 08 de dezembro determinou aos ministérios de Minas e Energia, Fazenda, Meio Ambiente e Mudança do Clima e Casa Civil a elaboração, no prazo de 60 dias, de uma proposta de resolução para ser encaminhada ao Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, visando definir para o Brasil um “Mapa do Caminho” para a substituição dos combustíveis fósseis. A presente ação reflete o compromisso assumido pelo nosso País na COP30 de atuar neste sentido.

Diante dessa iniciativa os pesquisadores abaixo listados, que atuam na área de Engenharia Automotiva da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, apresentam a sua visão no sentido de contribuir para que nosso País elabore um plano assertivo para a substituição dos combustíveis fósseis. O presente documento focará exclusivamente a substituição do diesel e da gasolina produzidos a partir do petróleo, utilizados majoritariamente no setor de transportes, evidentemente sem prejuízo no que tange aos outros combustíveis utilizados pela indústria, aviação, dentre outros setores.

Consideramos que o referido despacho foi providencial para que possamos, enquanto Brasil, fazer a nossa lição de casa e continuar atuando com maior liderança junto aos demais países, no sentido de que todos estabeleçam seus planos para a substituição dos combustíveis fósseis. Entendemos que a estratégia adotada, de focar na redução da demanda, é muito mais eficiente do que buscar a redução da oferta.

1. Introdução

Antes de expormos a nossa visão, consideramos importante estabelecer a exata dimensão do desafio que se apresenta para esta substituição do diesel e da gasolina por combustíveis sustentáveis, mais especificamente por biocombustíveis.

A produção total da energia no Brasil em 2024 foi composta por 51,3% com fontes renováveis, como cana de açúcar, hidráulica, lenha e carvão vegetal, eólica e solar, nuclear e de outras, contra 48,7% de fontes não renováveis como petróleo, gás natural e carvão mineral (Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE). De toda esta energia gerada com fontes não renováveis, o diesel e a gasolina obtidos a partir do petróleo, utilizados majoritariamente pelo setor de transportes, representam 46,7% (EPE). Não podemos ser induzidos por argumentos calcados na análise exclusiva de dados da nossa matriz de energia elétrica, que representa apenas 20% da energia total gerada no País, onde 86,6% é produzida por fontes renováveis.

Dessa forma, a presente **contribuição para a elaboração do “Mapa do Caminho”** em questão, será focada no setor de transporte, abordando separadamente, veículos de passeio, veículos comerciais de uso urbano (ônibus e caminhões menores) e veículos pesados (caminhões e ônibus rodoviários, locomotivas, máquinas agrícolas e de mineração).

2. Veículos de passeio

Caso os motores a combustão dos veículos de passeio, hoje majoritariamente do tipo flex, passem a operar exclusivamente com etanol, alcançaremos plenamente o objetivo da substituição da gasolina, que por si só representa 18% de toda a energia gerada no País por fontes não renováveis. Mas para que isto ocorra é fundamental que os motores atualmente produzidos no Brasil sejam otimizados para o uso de etanol através de pequenas modificações, como geometria dos pistões, injeção estratificada e comandos de válvula que otimizem a operação no ciclo Miller, de forma a tornar o uso do etanol muito mais competitivo em relação ao da gasolina. A partir deste aumento da eficiência para uso do etanol de 10% a 20% (aumento relativo), a área necessária para a produção de etanol será significativamente menor.

Por sua vez, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços – MDIC, a partir da lei referente ao programa MOVER, onde estabeleceu o conceito das emissões do “berço ao túmulo”, tem todos os instrumentos para implantar esta nova política. Um aspecto relevante é que serão produzidos veículos com índice de nacionalização significativamente superior ao dos veículos elétricos atualmente montados no país, o que implica a geração de mais empregos.

Os projetos já concluídos e aqueles em desenvolvimento no âmbito da Linha V da FUNDEP, dentro do programa MOVER, na área de motores a combustão e sistemas de propulsão híbridos, capacitaram as universidades participantes a desenvolver as modificações acima citadas, bem como a projetar novos motores operando em altas pressões de combustão, com eficiência equivalente à dos motores diesel, economicamente viáveis para veículos de passeio de maior porte e ideais para veículos comerciais urbanos.

Outro aspecto que deve ser considerado é o estímulo ao retrofit de motores da frota atual a partir da fabricação de kits para a sua retífica de pistões e cabeçotes com geometria modificada, bem como de novas unidades de gerenciamento eletrônico, otimizando o motor para o uso de etanol. Esta ação acelera fortemente o processo de substituição da gasolina em veículos de passeio e agrega valor a este segmento do mercado automotivo.

3. Veículos comerciais urbanos

Para os veículos comerciais urbanos, cuja potência média é de 30 a 40% da potência máxima do motor, a propulsão híbrida com topologia série, operando exclusivamente com etanol, mostra-se a melhor solução. A alta eficiência é obtida a partir dos motores operando na faixa de maior rendimento e da regeneração de energia durante as frenagens.

É importante ressaltar que os motores a combustão flex atualmente produzidos no país já atendem a essa demanda, possibilitando a redução do porte das baterias dos ônibus hoje totalmente elétricos em até 90%. Essa redução impacta significativamente o valor de venda do veículo. Atualmente, o ônibus elétrico, cujo preço varia entre 3 e 4 milhões de reais, a depender da configuração da bateria, poderia passar a custar valores inferiores a 1,5 milhão de reais, além de apresentar índice de nacionalização bem superior. Isso acelera a descarbonização da frota urbana.

Nesse sentido, a Prefeitura de São Paulo deu um passo importante ao flexibilizar a legislação para a utilização de biocombustíveis em ônibus, bem

como para o retrofit desses veículos. Essas considerações também se aplicam aos veículos urbanos de carga (VUCs). Destacamos, ainda, a iniciativa da empresa Marcopolo, que está iniciando a produção de ônibus com propulsão híbrida operando com etanol, além da obtenção de financiamento junto à FINEP para a consolidação dessa tecnologia e o desenvolvimento de novos modelos.

Vale ressaltar que todas as modificações referentes aos motores a combustão citadas para os veículos de passeio também têm forte impacto na melhoria do TCO desses veículos comerciais. Destacamos, ainda, a aprovação, pela FINEP, de um projeto no âmbito da chamada Centros Temáticos, envolvendo a Escola Politécnica, o Instituto de Energia e Ambiente e a Escola de Engenharia de São Carlos, todos da USP, além do IPT e da UNESP de Ilha Solteira, voltado ao desenvolvimento de sistemas de propulsão híbrida movidos a etanol para aplicação em veículos comerciais urbanos. O projeto enfatiza fortemente o desenvolvimento e a implementação de componentes como baterias, motores elétricos de tração e geradores, bem como conversores AC-DC, DC-AC e DC-DC bidirecionais. Também é possível considerar veículos comerciais urbanos com propulsão híbrida operando com biodiesel, desde que sejam superadas algumas dificuldades tecnológicas para evitar sua degradação.

4. Veículos pesados

Nos veículos pesados, já definidos anteriormente, nos quais, em geral, a potência média é próxima da potência máxima exigida, observa-se uma tendência de combinar, de um lado, a injeção independente de etanol de forma crescente em substituição ao diesel e, de outro, o aumento do percentual de biodiesel em substituição ao diesel fóssil, até sua eliminação total.

As modificações necessárias nos motores atualmente fabricados não seriam complexas, abrangendo a injeção independente de etanol e alterações no sistema de gerenciamento. Certamente haverá uma melhoria da qualidade do biodiesel, no que se refere à sua conservação, bem como o desenvolvimento de injetores mais resistentes, garantindo a evolução apresentada rumo à eliminação do diesel fóssil. Iniciativas das empresas Bosch e Tupy já mostram movimentos nesta direção.

5. Viabilidade para a produção do etanol adicional

Uma vez demonstrada a viabilidade tecnológica de substituir totalmente o diesel e a gasolina por biocombustíveis, a curto e médio prazo, pelo lado da demanda (veículos), é necessário também avaliar a viabilidade da oferta de biocombustíveis em quantidade suficiente. A energia total gerada anualmente pela gasolina é ligeiramente superior à gerada pelo etanol, na proporção de 53 para 47 (EPE). Considerando a possibilidade de aumento da eficiência dos motores no uso de etanol, seria necessário acrescer uma área equivalente à atualmente plantada com cana-de-açúcar – estimada em 8,8 milhões de hectares em 2024 (EPE) – multiplicada por um fator de 0,8 e, adicionalmente, aumentar a produção de milho em 11%, como um primeiro exemplo dessa combinação. Vale lembrar que o etanol produzido a partir do milho já representa 20,6% da produção total (EPE 2024).

Considerando o consumo de diesel em 2024, da ordem de 60 bilhões de litros, e assumindo, a título de exemplo, que 50% desse volume fosse substituído por etanol, bem como a relação entre o poder calorífico, a eficiência do diesel em comparação ao etanol e o aumento de sua produtividade, seria necessária a produção de aproximadamente 45 bilhões de litros de etanol por ano, o que representaria uma área adicional estimada em 10 milhões de hectares. Dessa forma, considerando ainda o aumento da eficiência dos motores a combustão utilizando etanol, o aumento da produtividade dos biocombustíveis e sua obtenção a partir de outras fontes com elevado potencial, pode-se concluir que, com a utilização de uma área adicional de cerca de 20 milhões de hectares, seria possível substituir totalmente o diesel e a gasolina de origem fóssil.

Evidentemente, nossa estimativa para mostrar a viabilidade do caminho proposto foi aproximada. Mas entendemos que o ponto inicial é verificar qual a nossa capacidade real de produção de etanol e biodiesel, para estabelecer as ações tecnológicas necessárias nos motores a combustão.

Considerando inicialmente o relatório da EPE, disporíamos de 80 milhões de hectares de pastagens degradadas para a produção de biocombustíveis, ou ainda, na visão mais conservadora do nosso maior especialista em mudanças climáticas, professor Carlos Nobre, que em recente palestra proferida aos alunos da Escola Politécnica da USP, afirmou que sem prejudicar a recuperação necessária de biomas da Amazônia, teríamos disponíveis 40 milhões de hectares. O relatório da EPE mostra que nos últimos anos os investimentos para ampliação das áreas de plantio de cana de açúcar foram quase nulos, provavelmente em função dos juros altos, situação esta que também precisa ser revertida.

6. Eletrificação pura e utilização do biogás

Os professores que subscrevem o presente documento entendem que, a curto e médio prazo, o melhor caminho para a substituição da gasolina e do diesel é o uso de biocombustíveis – etanol e biodiesel – e não a eletrificação pura. Essa posição se justifica pelo fato de que a eletrificação de toda a frota nacional exigiria a triplicação da capacidade de produção de energia elétrica, cuja expansão é atualmente limitada, em razão do alto custo de armazenamento e da dificuldade de operação integrada dos sistemas, especialmente diante da intermitência de fontes como a solar e a eólica. Além disso, os veículos eletrificados apresentariam índice de nacionalização inferior ao dos veículos movidos a biocombustíveis.

Evidentemente, no contexto dos veículos comerciais urbanos e pesados, o uso do biometano também se apresenta como uma solução. No entanto, entende-se que deve ser avaliado se sua utilização para substituir o gás liquefeito de petróleo e o gás natural não seria mais adequada, à luz de exemplos de montadoras que já empregam esse recurso em seus processos de descarbonização na produção de veículos, ainda na etapa do “berço”.

7. Conclusão

Apesar da análise poder ser enriquecida, já é suficiente para indicar que o “Mapa do Caminho” mais simples e efetivo para o Brasil substituir o diesel e a gasolina obtidos do petróleo é pelo uso dos biocombustíveis, etanol e biodiesel.

Professores que subscrevem o presente documento:

Guenther Carlos Krieger Filho
Agenor de Toledo Fleury
Flavio Celso Trigo
Marcelo Augusto Leal Alves
Armando Antônio Maria Laganá
João Francisco Justo Filho
Bruno Augusto Angélico
Sebastião Gomes dos Santos Filho
Diego Colón
Fabio de Oliveira Fialho
Eduardo Lorenzetti Pellini
Átila Madureira Bueno
Martina Pacifici
Luciano Antonio Frezzato Santos
José Roberto Simão Pereira
Flavio Guilherme Vaz de Almeida Filho
Silvio Ikuyo Nabeta

Prof. Armando Antônio Maria Laganá
Escola Politécnica da USP
armando.lagana@usp.br
tel 11 984142229

