

ETANOL COMO COMBUSTÍVEL VEICULAR: PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Francisco Nigro¹
Alfred Szwarc²

Sumário Executivo

O presente trabalho analisa a evolução da tecnologia de uso do etanol como combustível veicular no Brasil, aponta os principais desafios tecnológicos a serem vencidos para tornar o etanol mais competitivo nessa aplicação e propõe ações de políticas públicas que possam ajudar a vencer esses desafios.

Veículos com motor Otto (ignição por centelha)

Para contextualizar a importância do etanol como combustível veicular é apresentada uma retrospectiva histórica do desenvolvimento do veículo a álcool, onde se destaca que o principal vetor de desenvolvimento da tecnologia de motores a álcool no início do Proálcool era o aumento de eficiência energética, que chegou a ser significativamente superior à dos veículos a gasolina (16% nos testes oficiais da época). Em meados dos anos oitenta, quando os veículos a álcool atingiram cerca de 90% das vendas, o desenvolvimento tecnológico passou a ser determinado principalmente pelos requisitos ambientais de controle da emissão de poluentes e de satisfação do consumidor final, não raramente relegando a um segundo plano a eficiência energética no aproveitamento do combustível. A partir da década de noventa, acompanhando a queda dos preços do petróleo, a indústria automobilística voltou a investir mais na atualização tecnológica do veículo a gasolina, fato que resultou na redução da vantagem energética relativa dos veículos a etanol. Após a introdução da tecnologia de catalisadores de três vias, necessária para atender os limites da fase L-3 do Proconve e que requer o uso de uma mistura estequiométrica entre ar e combustível, a vantagem energética dos veículos a etanol ficou reduzida a cerca de 4%.

Paralelamente, em 1990, começaram no país os primeiros estudos com veículos flex fuel, que após passarem por um processo de evolução, foram lançados no mercado em 2003. A introdução dessa tecnologia no Brasil foi inicialmente baseada no conceito da não modificação do motor a gasolina original, de modo que, na primeira geração, a atenção foi quase que exclusivamente dedicada à funcionalidade do sistema e atendimento aos requisitos de emissões, com reduzida preocupação com o consumo do etanol. Essa tecnologia foi sendo gradativamente aprimorada e, atualmente, existem veículos com taxas de compressão que se aproximam bastante das máximas taxas admissíveis para o etanol, com ganhos de torque para o etanol acima dos 5%. Todavia, como as montadoras utilizam estratégias distintas no desenvolvimento de seus motores flex, existindo aquelas que ainda adotam os conceitos utilizados na primeira geração, pode-se dizer que, em geral, os veículos flexíveis ainda não estão suficientemente

¹ Doutor em engenharia mecânica, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e ex-pesquisador do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

² Mestre em engenharia ambiental e consultor nas áreas de emissões, combustíveis e tecnologia.

desenvolvidos para aproveitar o maior calor latente de vaporização e a maior octanagem do etanol e para apresentar a vantagem no consumo energético que chegou a existir mesmo nos modelos mais recentes do carro a álcool. Um fato a destacar é que, ao mesmo tempo em que tem melhorado o consumo com etanol nos modelos mais avançados, também tem havido melhoria no consumo com gasolina. Quanto à emissão de poluentes, os veículos flexíveis novos operando com etanol têm emitido, em média, valores superiores àqueles com gasolina, conforme reportado pela Cetesb, com base nos relatórios de produção. Por outro lado, a deterioração dos catalisadores com gasolina é mais rápida do que com etanol e os resultados divulgados pelas montadoras, já considerando esse aspecto, mostram menores emissões na operação com etanol. No entanto, essas diferenças são pequenas em termos absolutos, e os veículos atendem, com folga, os limites de emissão vigentes para qualquer combustível. A principal novidade tecnológica incorporada em 2009 a um modelo de veículo flex foi o sistema de partida a frio com pré-aquecimento do etanol, o que dispensa a necessidade do tanque auxiliar de gasolina e apresenta redução na emissão de poluentes com etanol. Ao se comparar valores de consumo obtidos de diversas fontes de informação, observa-se que as diferenças de consumo energético entre etanol e gasolina, nos ciclos de operação correspondentes, são muito discrepantes, sendo que aqueles divulgados por revistas especializadas do setor automobilístico indicam uma eficiência energética bastante superior para o etanol, em comparação com a gasolina. Duas possíveis explicações para essa diferença no consumo energético são: as diferenças de extensão dos ciclos de operação do veículo e conseqüentemente da importância que as partidas e a fase fria representam; e o não aproveitamento, no ciclo padrão, do maior torque do motor operando com etanol para reduzir as rotações de troca de marchas. Tal fato aponta para a necessidade de se avaliar como o teste normalizado de ensaio poderia ser adequado para ser mais representativo de um “uso médio” no país. Embora as tecnologias mais adequadas para melhorar a eficiência energética do motor flex sejam conhecidas, a evolução tecnológica é em grande parte determinada por aspectos técnico-econômicos que dependem de quanto os consumidores estão dispostos a pagar no momento da compra de um determinado modelo, para ter o benefício da redução das despesas com combustível, da diferença em desempenho ou da emissão dos poluentes, durante a vida útil do veículo. No contexto brasileiro, os modelos populares, que apresentam volume de produção capaz de suportar desenvolvimentos intensivos em engenharia, são justamente aqueles que apresentam restrições para qualquer acréscimo de preço decorrente de partes ou componentes que necessitem ser incorporados.

Motociclos

Em março de 2009 foi lançada no Brasil a primeira moto flex do mundo produzida em escala comercial. A moto flex responde às demandas do mercado e apresenta resultados satisfatórios no seu uso, evitando a necessidade de conversão caseira para etanol, prática que tem se popularizado nos últimos anos. Reedita, com avanços tecnológicos, algumas das soluções desenvolvidas na década de oitenta para motos a álcool produzidas no país. Diferentemente de sua antecessora a álcool, a versão flex não possui sistema autônomo de partida a frio, o que requer que, em situações de temperatura ambiente abaixo dos 15 °C, o tanque da motocicleta contenha cerca de 20% de gasolina. Equipada com injeção eletrônica e conversor catalítico a versão flex atende plenamente os limites de emissão vigentes. Adotando a estratégia de não alterar a taxa de compressão utilizada na versão

a gasolina, a versão flex apresenta ligeiro aumento na potência e no torque com etanol e diferença no consumo entre etanol e gasolina semelhante ao observado para os veículos de quatro rodas. Como se trata de um veículo de baixo custo e conceito inovador, além de suprir o mercado interno, pode representar uma interessante oportunidade de exportação para diversos países, com potencial de fomentar o consumo de etanol em outros mercados. No caso dos motocicletos flex ainda é cedo para se fazer projeções sobre os rumos que a tecnologia pode tomar, entretanto, é possível afirmar que algumas das inovações adotadas nos veículos de quatro rodas poderiam também ser adotadas em motocicletos.

Veículos com motor Diesel (ignição por compressão)

Apesar de o etanol ter características que o tornam mais apropriado para uso em motor Otto, existem grandes oportunidades para o seu uso em substituição ao diesel, principalmente no setor sucroalcooleiro, onde tem potencial econômico atraente, e no transporte urbano de passageiros e de cargas, onde é desejável o uso de combustíveis limpos e renováveis. Essa substituição apresenta a vantagem de ter o seu uso restrito a frotas cativas na maioria dos casos, o que permite o desenvolvimento de soluções técnicas otimizadas para etanol. Devido o caráter social do transporte urbano de passageiros, há potencial para incentivos fiscais ou requisitos legais que facilitem sua viabilização nesse segmento. As alternativas tecnológicas em desenvolvimento convergem basicamente para três opções: a) transformação de motores Diesel em motores Otto; b) uso de etanol aditivado c) etanol nebulizado em motores Diesel. Espera-se que produtos comerciais com alguma dessas soluções cheguem ao mercado dentro de um prazo de dois anos. Uma quarta opção, a mistura etanol, diesel e co-solvente (eventualmente só biodiesel) não teve, ainda, o sucesso esperado no desenvolvimento de uma formulação eficaz para uso em larga escala.

Políticas Públicas para Acelerar o Desenvolvimento das Aplicações do Etanol como Combustível em Veículos e Motores

O sucesso do etanol brasileiro como combustível veicular renovável substituto da gasolina é motivo de muito orgulho e de expectativa sobre um possível novo papel a ser cumprido pelo país no contexto internacional de redução das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, quando se observa a evolução detalhada da eficiência energética e ambiental da utilização do etanol como combustível automotivo em comparação à da gasolina nos últimos trinta anos, verifica-se que os resultados poderiam ser melhores. É neste contexto que são necessárias políticas públicas que reforcem o estabelecimento de competência tecnológica nacional voltada para a utilização eficiente e sustentável do etanol como combustível veicular. Essa necessidade está estruturada em três níveis: a) formação de recursos humanos para pesquisa e desenvolvimento; b) estímulo e fortalecimento da engenharia automotiva nacional; c) incentivo junto ao usuário final do produto, de modo a valorizar a eficiência energética e sustentabilidade ambiental que se pretende atingir (este último nível de atuação deve ser específico para cada campo de aplicação de etanol).

1. Introdução

O uso de etanol como combustível veicular no país ganhou grande impulso a partir de 1975 com o estabelecimento do Programa Nacional do Álcool – Proálcool. Nos primeiros anos o programa incentivou a produção de etanol anidro (AEAC) para ser misturado à gasolina até um teor de 20% e, a partir de 1977, passou a promover também o uso puro de etanol hidratado (AEHC) como combustível veicular. Em virtude da resistência inicial das montadoras de veículos em produzirem veículos dedicados ao etanol, a primeira estratégia da coordenação do Proálcool para disseminar a tecnologia proposta foi promover a conversão de motores que originalmente operavam com gasolina para que funcionassem com etanol hidratado. Empresas do ramo de retífica foram selecionadas para fazer a transformação dos motores, tendo sido criada uma rede de Centros de Apoio Tecnológico - CATs, com base em institutos de pesquisa e universidades públicas em vários estados, para dar consistência técnica às conversões, conforme descrito em trabalho apresentado pelo IPT³. Os CATs, como eram denominados, credenciavam empresas interessadas que demonstrassem competência técnica para realizar conversões de motores (recursos humanos e instalações) e ajudavam a desenvolver e homologar procedimentos de conversão para as empresas credenciadas. Embora esse período de conversão de motores, juntamente com as frotas de demonstração estabelecidas na época, tenha ajudado a despertar o interesse do consumidor no uso de etanol hidratado como combustível veicular, somente a partir de 1979, com a assinatura de um acordo entre a Coordenação do Proálcool e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA, é que se iniciou a produção de veículos originais movidos a etanol e o programa efetivamente deslançou.

O principal vetor de desenvolvimento da tecnologia de motores a álcool na época era o aumento de eficiência energética, coerente com os aspectos estratégico e econômico que pautaram a criação do Proálcool. Considerações de cunho ambiental não eram prioritárias, embora a característica do etanol como combustível renovável já fosse reconhecida e apontada como sendo uma qualidade importante. No mesmo contexto, por volta de 1980, buscavam-se alternativas para substituição do óleo diesel usado em larga escala em máquinas agrícolas, transporte de carga e coletivo de passageiros.

A partir de meados dos anos oitenta, além dos aspectos mencionados, passaram a ser valorizadas as características ambientais e sociais do etanol. Do ponto de vista da engenharia automotiva, o desenvolvimento tecnológico passou a ser determinado principalmente pelos requisitos ambientais de controle da emissão de poluentes e de satisfação do consumidor final, não raramente relegando a um segundo plano a eficiência energética no aproveitamento do combustível.

Este capítulo tem por objetivo analisar a evolução da tecnologia de uso do etanol como combustível veicular no Brasil, apontar os principais desafios tecnológicos a serem vencidos para tornar o etanol mais competitivo nessa aplicação e sugerir ações de políticas públicas que possam ajudar a vencer esses desafios. Recebem atenção especial as tecnologias de veículos flexíveis e de substituição de óleo diesel por etanol, principalmente quanto aos aspectos de eficiência energética e viabilidade técnica.

³ Castro F.L.J. et al “Alcohol Engines Conversion Shops: Operational Experience of the Technological Research Center – CAT/IPT” – Proceedings Fifth International Alcohol Fuel Technology Symposium – Auckland, New Zealand, 1982.

Considerando que nos últimos cem anos os motores de combustão interna foram desenvolvidos e aperfeiçoados para uso de gasolina e diesel, ao mesmo tempo em que estes combustíveis também foram sendo mais bem adaptados aos motores, a abordagem utilizada neste trabalho para explicar a evolução tecnológica do uso do etanol em motores será baseada na avaliação comparativa das propriedades do etanol com as dos derivados de petróleo.

No momento atual, a interface tecnológica motor-combustível, que historicamente foi desenvolvida como uma relação simbiótica entre os setores automotivo e de refino do petróleo, passa a ser desafiada pelo renovado interesse nos biocombustíveis, em particular no etanol. Entretanto, no contexto global em que atua o setor automotivo, os derivados de petróleo ainda representam 97% dos combustíveis consumidos por motores, o que torna a viabilização de qualquer combustível alternativo fortemente dependente do aproveitamento da infra-estrutura industrial já estabelecida para transporte, estocagem e distribuição de gasolina e diesel. Este importante aspecto estrutural e econômico, que representa a principal vantagem competitiva dos combustíveis renováveis frente outras alternativas energéticas para o setor de transportes, justifica a abordagem que será usada no capítulo de promover o emprego crescente do etanol por meio de desenvolvimentos tecnológicos incrementais, não de ruptura tecnológica.

2. Veículos Flexíveis

a. Contexto Histórico da Origem e Princípios de Funcionamento

Para facilitar o entendimento dos aspectos técnicos que conduziram ao desenvolvimento dos motores a etanol e ao surgimento dos motores flexíveis, faz-se necessário discutir as principais semelhanças e diferenças entre o etanol e os derivados de petróleo, da perspectiva de seu uso em motores de combustão interna.

Uma diferença fundamental é o elevado teor de oxigênio do etanol (35% em massa), o que implica inicialmente em um poder calorífico da ordem de 65% dos derivados de petróleo e na possibilidade de apresentar uma combustão mais limpa nos motores. Outra característica importante do etanol, associada a uma cadeia molecular curta, é sua considerável volatilidade e elevada resistência a auto-inflamação. Tais aspectos o tornam adequado a motores de ignição por centelha (motores Otto). Importante ressaltar que enquanto o etanol, como substância pura, apresenta uma temperatura de destilação constante de 78° C à pressão atmosférica, a gasolina, que é uma mistura de mais de 500 hidrocarbonetos tipicamente com cadeias de 5 a 12 carbonos, sofre destilação, normalmente entre 30 e 220° C, e essa característica é usada como parâmetro de projeto de motores Otto.

Idealmente, o funcionamento do motor Otto necessita de uma mistura homogênea de vapor de combustível e ar em proporção estequiométrica (quimicamente ideal), que é comprimida na câmara de combustão, sofre ignição pela centelha da vela e combustão por propagação de chama, sem ocorrência de auto-inflamação. Combustíveis mais resistentes a auto-inflamação possibilitam aumentar a taxa de compressão do motor e, portanto, seu rendimento energético. “Octanagem” é a medida da resistência a auto-inflamação dos combustíveis para motores Otto, verificada em um motor especial, em

condições padronizadas, sendo os valores para etanol significativamente superiores aos para gasolina⁴. Esta característica possibilita a adição de etanol à gasolina para aumentar sua octanagem, aspecto que possibilitou ao Brasil ser um dos primeiros países a eliminar o chumbo tetraetila, substância conhecida por sua elevada toxidez, como aditivo anti-detonante da gasolina. A adição de etanol à gasolina também contribuiu para dispensar a necessidade de aumento do teor de hidrocarbonetos aromáticos da gasolina nas operações de refino, uma prática freqüentemente utilizada para aumentar a octanagem, mas que tem o inconveniente de aumentar a toxidez do combustível e dos subprodutos de sua combustão.

A elevada resistência a auto-inflamação, volatilidade considerável e baixa lubrificidade, tornam o etanol um combustível pouco indicado para motores de ignição por compressão (motores Diesel). Neste tipo de motor, o ar é comprimido antes de o combustível ser injetado no momento certo, por um sistema de alta pressão, e se auto-inflamar. A mistura ar-combustível é heterogênea, o que facilita a formação de material particulado nos gases de escapamento. O sistema de injeção é normalmente lubrificado pelo próprio combustível, que precisa ter características específicas de viscosidade e lubrificidade para esse fim.

O etanol é totalmente miscível com gasolina e com água, e é comercializado no Brasil como álcool etílico anidro carburante (AEAC), ou como álcool etílico hidratado carburante (AEHC) contendo de 5 a 6% em volume de água. O AEAC é misturado à gasolina A, em um teor que pode variar de 20% a 25% \pm 1% em volume, para formar a gasolina C que é comercializada nos postos. O teor de AEAC na gasolina é estabelecido pela Comissão Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA) em função das condições de oferta e demanda do produto no mercado, e tem sido mantido em 25% nos últimos anos. Uma vez que a gasolina A não é miscível com água, a estabilidade da mistura ternária depende dos teores dos componentes. Felizmente, a mistura de gasolina C com AEHC é estável mesmo a temperaturas negativas de -10° C, o que possibilita o uso sem limitação dos veículos flexíveis no país⁵.

Outra propriedade do etanol, bastante diversa das de derivados de petróleo, é o calor latente de vaporização, que corresponde a 3,2% de seu poder calorífico, enquanto para os derivados de petróleo esse número é cerca de 0,7%.

Conforme mencionado, os motores de ignição por centelha necessitam de uma mistura ar- vapor de combustível próxima da relação estequiométrica para funcionarem adequadamente e produzirem uma emissão baixa de poluentes. Portanto, a quantidade de etanol necessária para utilizar completamente uma mesma quantidade de ar é muito superior a de gasolina, o que faz com que o sistema de combustível para o motor a etanol tenha que dosar uma quantidade cerca de 60% superior à do motor a gasolina de potência equivalente.

⁴ A legislação brasileira não estabelece a octanagem da gasolina A, entretanto a octanagem para a gasolina C é definida com base no Índice Antidetonante (IAD) sendo praticados os seguintes valores mínimos: gasolina comum: IAD 87; gasolina premium: IAD 91; gasolina podium: IAD 95. Em comparação, o etanol apresenta IAD 99,5 (valores para cálculo do IAD para etanol – RON e MON – obtidos de Owen, K. and Coley, T., Automotive Fuels Reference Book, pp. 591, Second Edition, Society of Automotive Engineers, 1995

⁵ Neto Messen A.T. et al “Miscibilidade de Álcool Etilico, Gasolina e Água” – Anais do VII SIMEA – Associação Brasileira de Engenharia Automotiva – AEA São Paulo, 1993.

Finalmente, vale lembrar que todos os materiais dos componentes do sistema de alimentação de combustível devem apresentar compatibilidade química com os combustíveis a serem utilizados. Na década de oitenta, diversos materiais, principalmente plásticos, borrachas e substâncias metálicas utilizadas para proteção de superfícies que não apresentavam compatibilidade com o etanol foram substituídos por outros. Mais recentemente o setor automotivo só tem aplicado materiais que são compatíveis tanto com etanol como com derivados de petróleo.

Iniciando com a primeira fase do desenvolvimento tecnológico dos motores a etanol no Proálcool, a fase dos CATs¹, na qual o setor de retífica de motores convertia motores originalmente à gasolina para uso de AEHC, a tecnologia utilizada compreendia principalmente os seguintes aspectos: acréscimo da taxa de compressão dos motores (rebaixamento de cabeçotes e substituição de pistões); nova calibração dos carburadores para dosagem de etanol; alteração das curvas de avanço centrífugo e a vácuo dos distribuidores para assegurar o tempo ótimo de centelha para a combustão do etanol; uso de velas de ignição de grau térmico menor que as usadas com gasolina; e sistema auxiliar de partida à frio com injeção de gasolina no coletor de admissão. Em alguns modelos eram também utilizados coletores de admissão aquecidos, pela água de arrefecimento do motor ou por parte dos gases de escapamento, que facilitavam a vaporização do etanol e permitiam melhor aproveitamento da energia correspondente. Para evitar que o aumento da taxa de compressão dos motores provocasse solicitações mecânicas indevidas, reduzia-se o enriquecimento de mistura ar-combustível⁶ utilizado nos motores movidos a gasolina à plena carga, de modo a manter o torque e a potência do motor original, aspecto que favorecia a redução de consumo. A necessidade de manter a compatibilidade dos materiais do sistema de alimentação de combustível com o etanol implicava na substituição de elastômeros em vedações, de alguns componentes ferrosos e plásticos do sistema e no uso de proteção anti-corrosão nos carburadores. As exigências para homologação das tecnologias de conversão de motores compreendiam: - manutenção da curva de torque à plena carga do motor com um aumento máximo de 25% no consumo de AEHC em massa quando comparado ao do motor original operando com gasool (gasolina com até 20% de etanol anidro); - calibração da mistura e do avanço da centelha para assegurar que, na operação em cargas parciais (25%, 50% e 75% da plena carga em toda a faixa de rotações do motor), o consumo fosse no máximo 6% superior ao mínimo consumo em cada ponto de operação.

Ao se levar em consideração o poder calorífico dos combustíveis, observa-se que a eficiência energética obtida pelo uso do etanol à plena carga era cerca de 25% superior à obtida com gasolina. Tal ganho era possível, na época, pois a mistura gasolina/ar à plena carga era muito rica (excesso de gasolina de até 15% em relação à mistura estequiométrica para garantir mistura rica mesmo no cilindro que recebia menos combustível) e a taxa de compressão dos motores que operavam com a gasolina brasileira era inferior a 8:1. Além disso, o motor de referência a gasolina era um motor normal de produção enquanto o motor convertido era especialmente calibrado no dinamômetro, o que pode explicar, talvez, 5% daquele ganho de eficiência. A elevação da taxa de compressão para valores de até 12:1 implicava em um aumento de eficiência

⁶ Redução da quantidade de combustível em relação à quantidade teórica de ar para combustão completa.

energética da ordem de 7%, enquanto o aproveitamento do calor latente de vaporização do etanol respondia por cerca de 2%.

Conforme reportado pelo IPT¹ no mesmo trabalho já referenciado, o consumo dos veículos especialmente convertidos para etanol, medido em testes de campo e em dinamômetro de chassi, era da ordem de 20% superior, em volume, ao dos veículos normais de produção, embora com prejuízo de dirigibilidade.

Por outro lado, nos motores dos veículos novos a etanol produzidos pelas montadoras, a partir de 1979, as propriedades favoráveis do etanol para aumentar o torque e a potência eram aproveitadas, sendo os carburadores calibrados para uso de mistura rica à plena carga e mistura pobre em cargas parciais.

Os consumos de veículos produzidos, durante o período em que os automóveis a etanol representavam mais de 90% das vendas de veículos novos, podem ser comparados com base nos dados do Programa de Economia de Combustíveis – PECO⁷ firmado entre o Governo Federal através do Ministério da Indústria e Comércio e do Ministério das Minas e Energia (MIC e MME) e as montadoras (ANFAVEA). O programa implantado pela Secretaria de Tecnologia Industrial (STI/MIC) publicou nos anos de 1983 a 1986 o livreto “Escolha Certo – Guia de consumo de seu carro”, que apresentava os valores medidos de consumo dos modelos de veículos novos comercializados no período. As medições eram realizadas conforme a norma ABNT NBR 7024 “Veículos rodoviários automotores leves – Medição de consumo de combustível – Método de ensaio”, criada na época. A título de exemplo, o consumo de um dos modelos a etanol mais populares (ano 1985, massa de 830 kg e motor de 43,9 kW) era de 11,2 litros/100 km (8,9 km/l) no ciclo urbano e de 7,7 litros/100 km (13,0 km/l) no ciclo estrada. O acréscimo médio de consumo nos veículos a etanol quando comparado aos equivalentes a gasolina era de 25% em volume, o que implica em ganho energético de 16% a favor do etanol, se bem que os testes eram feitos com motores aquecidos. Nessas condições médias de operação veicular, o acréscimo de taxa de compressão possivelmente respondia por algo como 6%, o empobrecimento da mistura por cerca de 7% e o aproveitamento do maior calor latente de vaporização do etanol por 1%. Outro aspecto que merece ser realçado é o fato de que os modelos a etanol eram mais atuais que os a gasolina na ocasião e, portanto, incorporavam os desenvolvimentos incrementais à frente dos modelos a gasolina.

Nessa época, segundo a CETESB⁸, as emissões médias dos automóveis a etanol eram: monóxido de carbono (CO) – 16,9 g/km; hidrocarbonetos (HC) – 1,6 g/km; óxidos de nitrogênio (NOx) – 1,2 g/km; e aldeídos (RCHO) – 0,18 g/km. Já os veículos a gasolina emitiam consideravelmente mais, com exceção dos aldeídos: CO – 28 g/km; HC – 2,4 g/km; NOx – 1,6 g/km; e RCHO – 0,05 g/km.

Após 1989, quando ocorreu um desabastecimento parcial do mercado por oferta insuficiente de etanol simultaneamente com a queda dos preços do petróleo e a abertura do mercado nacional para veículos importados (principalmente a gasolina), a demanda por automóveis a etanol despencou, de modo que a partir de 1995 se manteve abaixo de 5%.

⁷ STI/MIC, Programa de Economia de Combustíveis para Veículos Leves de Motor do Ciclo Otto, Brasília, 1983

⁸ Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2007: Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente – CETESB, 2008.

Durante esse mesmo período as preocupações ambientais ganharam importância e foram desenvolvidas as bases técnicas para medição de poluentes veiculares pela CETESB, o que culminou com o lançamento do PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores estabelecido pela Resolução N° 18/86 do CONAMA e posteriormente consolidado pela Lei N° 8723/93 e regulamentos complementares. O programa executado pelo IBAMA, que conta com a CETESB como agente técnico, limita as emissões de veículos novos em fases progressivamente mais rigorosas. A partir da implantação da legislação, o desenvolvimento de veículos passa a ser direcionado pelas metas de emissão dos poluentes regulamentados, enquanto os aspectos de custo e eficiência energética caem para um segundo plano. Com a entrada em vigor da fase L-3 em janeiro de 1997, catalisadores de três vias passaram a ser necessários para que os limites máximos de CO (2 g/km), HC (0,3 g/km), NOx (0,6 g/km) e RCHO (0,03 g/km) fossem respeitados, o que passou a determinar o uso de misturas estequiométricas tanto nos motores a etanol como nos motores a gasolina. Este aspecto teve um impacto negativo significativamente maior no consumo dos veículos a etanol do que nos veículos a gasolina, uma vez que a maior velocidade de propagação de chama laminar do etanol permitia o uso de misturas mais pobres que a gasolina em cargas parciais do motor.

Embora o preço do etanol tivesse retomado sua competitividade com a gasolina no mercado brasileiro a partir de 1999, continuassem a ser ofertados alguns modelos de veículos a etanol e estivessem sendo desenvolvidos novos motores dedicados ao etanol, as vendas não respondiam por falta de confiança dos consumidores. Neste contexto, em março de 2003, foi lançado o primeiro veículo flexível brasileiro, capaz de consumir etanol hidratado, gasolina C ou qualquer mistura entre os dois combustíveis, de modo a dar, ao usuário final, o direito de escolha do combustível a cada abastecimento, considerando sua disponibilidade e custo.

Trabalhos de pesquisa sobre combustíveis alternativos, realizados nos Estados Unidos, Europa e Japão no início da década de 1980⁹, já haviam efetuado adaptações em protótipos, antevendo a possibilidade de utilizar etanol, metanol ou gasolina em um mesmo motor, apropriando-se da flexibilidade dos sistemas eletrônicos de injeção de combustível, que começavam a ser utilizados em escala comercial, controlados pela retroalimentação do sinal do sensor que media o teor de oxigênio nos gases de escape.

Os primeiros veículos flexíveis desenvolvidos por montadoras, usados em programas de demonstração da tecnologia flexível, surgiram em 1984 com a Ford nos Estados Unidos. Em 1992, a General Motors lançou comercialmente o primeiro veículo flexível nos Estados Unidos, o van Lumina, com sensor capacitivo para medição do teor de álcool no combustível.

Incentivados por várias regulamentações do governo federal norte-americano¹⁰, a frota de veículos flexíveis naquele país cresceu bastante, motivada por incentivos fiscais para as montadoras, apesar da falta de infra-estrutura de abastecimento. Vale mencionar que

⁹ Pefley R.K et al. “A Feedback Controlled Fuel Injection System Can Accommodate Any Alcohol-Gasoline Blend” – IV International Symposium on Alcohol Fuels Technology – Guarujá – Brasil – 1980

¹⁰ Clean Air Act Amendments (CAAA) de 1990, o Energy Policy Act (EPA) de 1992 e o Clean Fuel Fleet Program (CFFP) de 1998.

os veículos flexíveis norte-americanos utilizam como combustíveis extremos a gasolina sem etanol (E0) e o E85, etanol anidro com 15% de gasolina.

No Brasil, os primeiros estudos foram desenvolvidos pela Bosch em 1990, conforme apresentado por Conti¹¹ em Seminário organizado pelo IPT em março de 2000, que apresentou o primeiro protótipo de veículo utilizando o sistema *Motronic Flex Fuel* em 1994¹². Em 2000, a Magneti Marelli apresentou seu sistema *Software Flexfuel Sensor* (SFS)¹³ que introduziu uma inovação: dispensou o uso do sensor capacitivo adicional requerido pela proposta Bosch para detectar o percentual de etanol na mistura combustível e permitiu a sua substituição pelo sensor de oxigênio já utilizado no controle da emissão de poluentes. Por ser mais simples, barata e confiável, essa tecnologia ganhou a preferência das montadoras de veículos. Complementarmente à questão tecnológica, o governo federal permitiu que os veículos flexíveis fossem beneficiados com a mesma alíquota de IPI existente para os veículos a álcool, e inferior aos dos veículos a gasolina, o que compensou os investimentos realizados no desenvolvimento tecnológico e possibilitou que a tecnologia fosse implantada no país.

O princípio de funcionamento da tecnologia flexível utilizada no país baseia-se no sensor do teor de oxigênio nos gases de escapamento (sonda lambda), o qual já era necessário para satisfazer os requisitos de emissões da fase L-3 do Proconve. Conforme anteriormente mencionado, a mistura ar/combustível tem que ser mantida estequiométrica para que o catalisador de três vias possa reduzir drasticamente os HC, CO, NO_x e RCHO. A função da sonda lambda é informar à unidade de controle eletrônico do motor (ECU) para injetar mais ou menos combustível conforme a mistura esteja pobre ou rica (tenha menos ou mais combustível), de modo a mantê-la na estequiometria correta da combustão. Além disso, para detectar com precisão o ponto de operação do motor (porcentagem de carga e rotação), existem também sensores que medem e informam à ECU tanto a rotação do motor como o fluxo de ar admitido. Como os valores das relações estequiométricas ar/etanol e ar/gasolina são conhecidos e estão armazenados na memória da ECU, que por sua vez infere a quantidade de combustível sendo injetado, para manter a mistura ar/combustível estequiométrica, por meio do tempo que os injetores tiveram que ser mantidos abertos, pode-se calcular o teor de álcool no combustível líquido sendo injetado. Com base nesse teor calculado, controlam-se outros parâmetros de funcionamento do motor, cujos valores ótimos dependem do teor de etanol no combustível, como por exemplo, o avanço da centelha, a necessidade de injeção de gasolina na partida a frio, as quantidades injetadas para atender a resposta transitória do motor tanto a quente como a frio e as estratégias para melhorar a eficiência do catalisador.

Outro aspecto fundamental, para a rápida introdução e evolução da tecnologia flexível no Brasil, foi uma incorporação imediata dos desenvolvimentos anteriormente realizados nos motores a etanol, em termos de compatibilidade de materiais, grau

¹¹ CONTI, É. W. "Sistema Motronic Flex Fuel"- Seminário IPT "Alternativas para o uso flexível do álcool como combustível", mar. 2000.

¹² CASTRO, A. C. et al. "*Flexible ethanol Otto engine management system.*" Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper no. 942400, 1994.

¹³ MONNERAT Jr., P. et al. "*Software Flex-fuel Sensor (SFS)*" – Sensor lógico aplicado ao controle do motor utilizando variável percentagem de álcool. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper no. 2000-01-3218, 2000.

térmico da vela de ignição, bomba e filtro de combustível e sistema de partida a frio, dentre outros.

b. Evolução da Tecnologia no Brasil

A introdução da tecnologia de motores flexíveis no Brasil foi inicialmente baseada no conceito da não modificação do motor a gasolina original, de modo que, na primeira geração, a atenção foi quase que exclusivamente dedicada à funcionalidade do sistema e atendimento aos requisitos de emissões, com reduzida preocupação com o consumo do etanol. A taxa de compressão do motor a gasolina C era mantida, e os ganhos de torque e potência quando utilizando etanol eram aproximadamente 2%. Em uma segunda geração as taxas de compressão subiram cerca de um ponto em relação às de gasolina C, buscando-se um maior equilíbrio no desenvolvimento do motor para os dois combustíveis, com ganhos de potência e torque para o etanol, na faixa dos 3% a 4%. Também foi introduzido o uso de novos catalisadores e velas de ignição adequadas para as novas taxas de compressão. Numa terceira geração, adotada em alguns modelos pelas montadoras com grande experiência no desenvolvimento de motores a etanol, as taxas de compressão se aproximaram bastante das máximas taxas admissíveis para o etanol com ganhos de torque para o etanol acima dos 5%.

A Tabela 1, adaptada da apresentação feita por representante da Volkswagen¹⁴ no Ethanol Summit – 2009 resume, na visão da montadora, como tem ocorrido a evolução da tecnologia. Observe-se que na 4ª geração da Volkswagen já existe um sistema de partida a frio com pré-aquecimento do etanol, o que dispensa a necessidade do tanque auxiliar de gasolina.

Tabela 1: Evolução da Tecnologia Flexível na visão da Volkswagen

Geração	Entrada no Mercado	Taxa de Compressão do Motor	Ganho de Potência com Etanol	Ganho de Torque com Etanol	Perda de Autonomia com Etanol	Partida a frio com Gasolina
1ª	2003	10,1 a 10,8	2,1%	2,1%	25% a 35%	sim
2ª	2006	10,8 a 13,0	4,4%	3,2%	25% a 35%	sim
3ª	2008	11,0 a 13,0	5,6%	9,3%	25% a 30%	sim
4ª	2009	11,0 a 13,0	5,6%	9,3%	25% a 30%	não

Embora essa separação em gerações sirva para visualizar as tendências gerais, cada modelo de motor possui suas características e limitações, de modo que pode ser inviável em alguns casos adotar a concepção completa da segunda geração.

Para comparar a evolução mais recente do consumo dos veículos novos movidos a etanol com aqueles que utilizam gasolina C como combustível, três fontes de dados podem ser usadas: os Relatórios de Valores de Emissão da Produção¹⁵; o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular; e as revistas especializadas.

¹⁴ JOSEPH Jr., H. “New Advances on Flex-fuel Technology” – Painel do Ethanol Summit 2009; São Paulo, junho de 2009.

¹⁵ Conforme Resolução CONAMA N° 299 de outubro/2001.

i. Relatórios de Valores de Emissão da Produção - REVP

Complementarmente aos dados de consumo obtidos por ocasião das medições para certificação das emissões de poluentes com os limites vigentes, existe uma base de dados de consumo de combustível originada dos testes de emissões que são realizados pelas montadoras para acompanhamento da conformidade da produção, em cumprimento à legislação ambiental. Esses dados, que são reportados pelas montadoras por meio dos Relatórios de Valores de Emissão da Produção à CETESB e IBAMA, correspondem a, no mínimo, 0,2% dos veículos novos comercializados e possibilitam uma comparação estatística sólida, apesar dos veículos serem testados sem amaciamento prévio. Os valores de emissão dos veículos são medidos no escapamento segundo o ciclo urbano da NBR 6601 e referem-se aos poluentes regulamentados CO, HC, NOx e RCHO. Algumas montadoras reportam também os resultados da emissão de dióxido de carbono (CO₂) que, nestes casos, possibilitam o cálculo do consumo de combustível. Vale esclarecer que a NBR 7024, que padroniza a medição de consumo de combustível, utiliza o mesmo ciclo da NBR 6601 para uso urbano, além de um ciclo estrada específico.

A CETESB¹⁶ tem publicado os fatores de emissão médios dos veículos novos, incluindo CO₂ a partir do ano de 2002, conforme mostrados na Tabela 2. Os valores médios de emissão são calculados como a média ponderada pelo número de veículos comercializados de cada modelo. Os valores de consumo de gasolina C e de álcool, apresentados na Tabela 2 e alusivos ao ciclo urbano, foram recalculados conforme a NBR 7024, sendo que os números referentes ao álcool são ligeiramente diferentes daqueles apresentados no relatório da CETESB, que não apresentam uma correção na fórmula de cálculo.

Quando se leva em consideração o poder calorífico inferior e a massa específica da gasolina C e do etanol hidratado utilizados nos testes de emissões, conforme apresentado no Regulamento Técnico¹⁷ do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, observa-se que 1,443 litro de etanol é energeticamente equivalente a 1 litro de gasolina C. A última coluna da tabela, que foi calculada com base nos valores de densidade energética utilizados no Programa de Etiquetagem (28,99 MJ/L para gasolina C e 20,09 MJ/L para etanol hidratado), permite comparar o consumo energético médio dos veículos novos com cada um dos combustíveis desde 2002. Vale mencionar que a gasolina C utilizada nos ensaios contém 22% de etanol anidro em volume, enquanto a atualmente comercializada deve conter 25±1% de AEAC, o que resulta em uma equivalência energética de 1,426±0,006 litro de AEHC para 1 litro de gasolina C.

¹⁶ Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2007: Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente – CETESB, 2008.

¹⁷ “Regulamento de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves com Motores do Ciclo Otto” - Anexo da Portaria Inmetro Nº391/2008

Tabela 2: Fatores médios de emissão de veículos novos leves e consumo de combustível

MODELO	COMBUSTÍVEL	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	RCHO g/km	CO ₂ g/km	Autonomia km/litro	Consumo MJ/km
2002	Gasolina C	0,43	0,11	0,12	0,004	198	10,93	2,65
	Álcool	0,74	0,16	0,08	0,017	191	7,47	2,69
2003	Gasolina C	0,40	0,11	0,12	0,004	194	11,15	2,60
	Álcool	0,77	0,16	0,09	0,019	183	7,79	2,58
	Flex-Gasol. C	0,50	0,05	0,04	0,004	210	10,31	2,81
	Flex-Álcool	0,51	0,15	0,14	0,020	200	7,15	2,81
2004	Gasolina C	0,35	0,11	0,09	0,004	190	11,39	2,55
	Álcool	0,82	0,17	0,08	0,016	160	8,89	2,26
	Flex-Gasol. C	0,39	0,08	0,05	0,003	201	10,77	2,69
	Flex-Álcool	0,46	0,14	0,14	0,014	190	7,52	2,67
2005	Gasolina C	0,34	0,10	0,09	0,004	192	11,28	2,57
	Álcool	0,82	0,17	0,08	0,016	160	8,89	2,26
	Flex-Gasol. C	0,45	0,11	0,05	0,003	188	11,50	2,52
	Flex-Álcool	0,39	0,14	0,10	0,014	180	7,94	2,53
2006	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192	11,28	2,57
	Álcool	0,67	0,12	0,05	0,014	200	7,14	2,81
	Flex-Gasol. C	0,48	0,10	0,05	0,003	185	11,69	2,48
	Flex-Álcool	0,47	0,11	0,07	0,014	177	8,08	2,49
2007	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192	11,28	2,57
	Flex-Gasol. C	0,48	0,10	0,05	0,003	185	11,69	2,48
	Flex-Álcool	0,47	0,11	0,07	0,014	177	8,08	2,49

Observando-se os resultados da última coluna da tabela, especialmente aqueles referentes aos veículos flexíveis operando com os dois combustíveis nos anos de 2003 a 2007, nota-se que a variação de consumo energético foi menor do que 1% nos casos em que alguma diferença foi observada. Tal fato ilustra que, em média, os veículos flexíveis ainda não estão suficientemente desenvolvidos para aproveitar o maior calor

latente de vaporização e a maior octanagem do etanol para alcançar um diferencial de consumo energético significativo.

Quanto à emissão de poluentes, os veículos flexíveis operando com etanol têm emitido, em média, valores superiores aos emitidos quando da operação com gasolina, como mostra a Tabela 3, preparada com os dados divulgados pela CETESB¹¹, que foram calculados com os dados dos RVEP. Os valores limites para cada ano foram calculados com base nos limites das fases L-3 e L-4 do Proconve e das datas de entrada em vigor da fase L-4, a saber: 40% em 2005, 70% em 2006 e 100% em 2007. A emissão de aldeídos na operação com etanol é cerca de 5 vezes maior que aquela na operação com gasolina, embora a natureza e toxicidade dos aldeídos sejam muito diferentes para os dois combustíveis, sendo no caso, mais favoráveis para o etanol. Quanto aos três poluentes principais que devem ser reduzidos pelo sistema de controle de emissão (CO, HC e NOx), o componente mais crítico tem sido, em média, o HC. Uma vez que o equilíbrio entre as reações de oxidação e redução no conversor catalítico¹⁸ pode ser alterado mudando-se ligeiramente a estequiometria da mistura ar/combustível, foi introduzido o coeficiente denominado aqui de Fração do Limite, que é calculado como o valor médio das relações entre os três poluentes e seus respectivos limites. Este coeficiente indica que tem ocorrido uma redução na diferença entre os resultados com os dois combustíveis com o passar dos anos, decorrente de uma maior atenção das montadoras com a operação com etanol, e que a emissão média dos três poluentes no caso de operação com gasolina parece tender a 90% da emissão com etanol nos últimos dois anos. Um aspecto que merece ser realçado, é que esses dados referem-se a veículos novos, enquanto as emissões em uso dependem também da deterioração dos catalisadores, a qual é mais rápida com gasolina do que com etanol, e da qualidade dos combustíveis nas bombas de abastecimento. Os resultados de emissões para os modelos de veículos flexíveis comercializados em 2009, os quais atendem à fase L-5 do Proconve, foram recentemente divulgados pela ANFAVEA¹⁹ e fornecem, em geral, valores mais favoráveis na operação com etanol. Oportuno esclarecer que as diferenças observadas são pequenas, em termos absolutos, e que os veículos atendem com folga os limites de emissão vigentes.

¹⁸ Sistema que faz o pós-tratamento dos gases de escapamento. Também conhecido como catalisador

¹⁹ <http://www.anfavea.com.br/emissoes.html>

Tabela 3: Fatores médios de emissão dos veículos flexíveis comparados com os valores limites

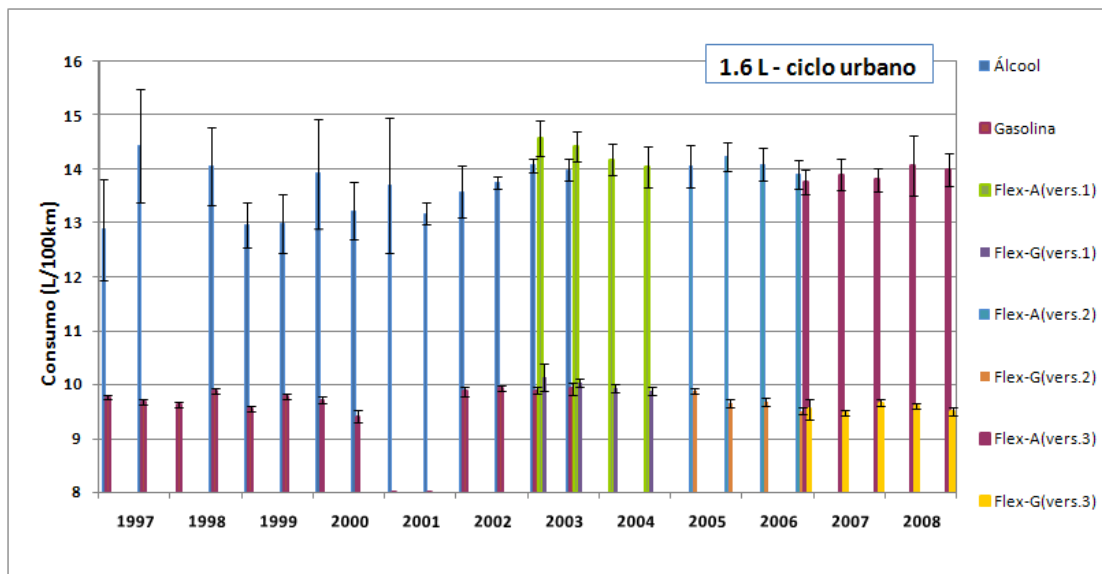
MODELO	COMBUSTÍVEL	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Fração Limite	RCHO g/km
2003	Limite Ponderado	2,0	0,30	0,60	100%	0,030
	Gasolina C	0,50	0,05	0,04	16%	0,004
	Etanol	0,51	0,15	0,14	33%	0,020
2004	Limite Ponderado	2,0	0,30	0,60	100%	0,030
	Gasolina C	0,39	0,08	0,05	18%	0,003
	Etanol	0,46	0,14	0,14	31%	0,014
2005	Limite Ponderado	2,0	0,24	0,46	100%	0,030
	Gasolina C	0,45	0,11	0,05	26%	0,003
	Etanol	0,39	0,14	0,10	33%	0,014
2006	Limite Ponderado	2,0	0,20	0,36	100%	0,030
	Gasolina C	0,48	0,10	0,05	29%	0,003
	Etanol	0,47	0,11	0,07	33%	0,014
2007	Limite Ponderado	2,0	0,16	0,25	100%	0,030
	Gasolina C	0,48	0,10	0,05	36%	0,003
	Etanol	0,47	0,11	0,07	40%	0,014

Para ilustrar a evolução do consumo veicular de etanol, comparativamente ao de gasolina, serão discutidos dois conjuntos de dados reais obtidos dos Relatórios de Valores de Emissão da Produção,

A Figura 1 apresenta os resultados médios semestrais de consumo de combustível de um veículo típico que desde 1998 até 2003 apresentou motorizações específicas para gasolina C e para etanol e que, a partir de 2003, passou a usar a tecnologia flex. As barras de erro indicam o intervalo de confiança da média, para uma probabilidade de 95%. Grandes intervalos de confiança estão associados a um número reduzido de veículos ensaiados no semestre e, portanto, a uma baixa produção do modelo dedicado. Os dados disponíveis indicam que os modelos flexíveis têm sido ensaiados preferencialmente com gasolina pelas montadoras, fato que aumenta a incerteza dos valores médios durante a operação com etanol. Importante mencionar que a variação de consumo entre veículos de um mesmo modelo, submetidos ao referido ciclo de emissões, pode atingir até 15% e que o desvio padrão da distribuição de consumo é cerca de 3% do valor médio.

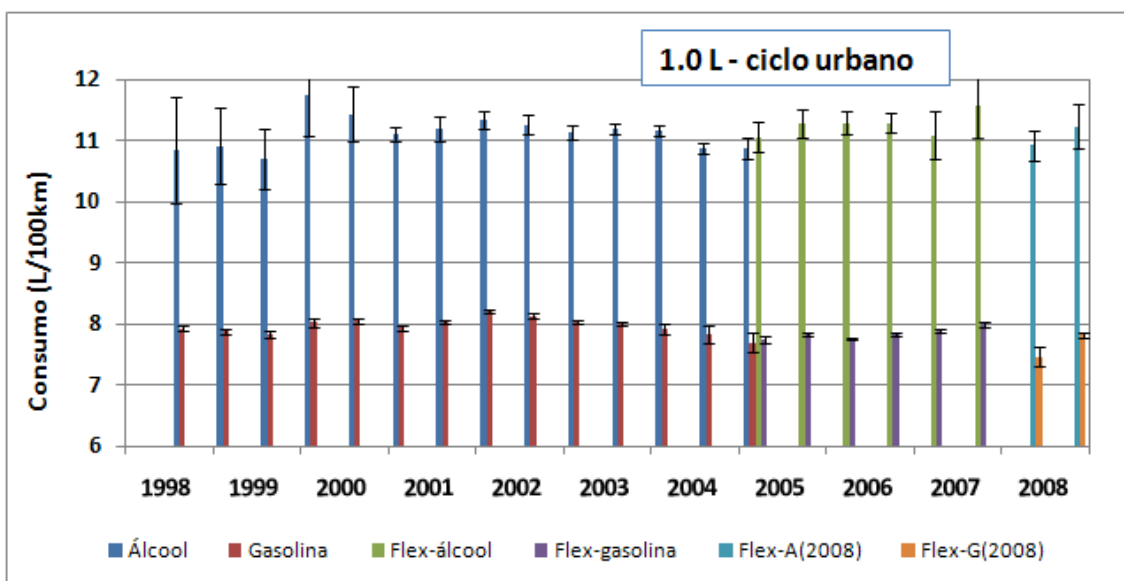
Considerando o conjunto dos resultados das versões dedicadas a etanol e gasolina, o bônus energético médio para o modelo a álcool foi de $2,2\pm 0,5\%$. Quando se avalia o desempenho comparativo da primeira versão flexível, que manteve quase inalterada a taxa de compressão utilizada na versão gasolina, essa vantagem se anula, sendo que o consumo de etanol aumenta $3,6\pm 1,0\%$ e o de gasolina aumenta $1,4\pm 0,4\%$. Portanto, neste caso, o veículo flexível trouxe perda de rendimento energético na operação tanto com etanol como com gasolina. Na segunda geração, com taxa de compressão mais elevada, foi praticamente recuperado o rendimento energético inicial com etanol, mas houve um acréscimo do rendimento energético na operação com gasolina, de modo a manter nula a vantagem energética do etanol.

Figura 1: Consumo de Combustível para Modelo Típico



A Figura 2, referente a um modelo em produção, com motor de 1.0 litro, apresenta os resultados de consumo médio das versões dedicadas a etanol e gasolina que vigoraram até o primeiro semestre de 2005, assim como os resultados médios de duas gerações de motores flexíveis. Analogamente ao caso anterior, existe uma vantagem energética para o etanol entre as versões dedicadas, que neste caso é em média $4,3\pm 0,4\%$. Observe-se, também, que os modelos mais recentes mostram claramente um consumo menor, tanto para o etanol como para a gasolina. A primeira geração de veículos flexíveis, com taxa de compressão próxima à do motor a gasolina, reduziu a vantagem energética do etanol para $0,6\pm 0,8\%$, a expensas de um aumento do consumo de etanol. A geração mais recente, com taxa de compressão de motor similar à praticada nos veículos dedicados a etanol, apesar de ter reduzido o consumo de etanol reduziu também o consumo de gasolina, de modo que a vantagem energética do etanol ficou em média $1,5\pm 0,8\%$.

Figura 2: Consumo de Combustível para Modelo 1.0 Litro



Quando se foca a atenção nos dados dos veículos flexíveis que mesmo em 2008 se mantinham com taxa de compressão de motor a gasolina, observa-se, em geral, um acréscimo de consumo energético com etanol de cerca de 2% no ciclo urbano.

Resumindo o panorama geral observado, após a introdução da fase L-3 do Proconve, quando os catalisadores de três vias passaram a ser mandatórios juntamente com uma calibração estequiométrica da mistura, o bônus de rendimento energético dos veículos dedicados exclusivamente ao etanol em relação aos dedicados à gasolina C, para operação em ciclo urbano que inclui uma fase de partida a frio e aquecimento do motor, passou a ser cerca de 4%. Com a introdução da primeira geração da tecnologia flex-fuel (que mantinha a taxa de compressão do motor à gasolina), foi praticamente anulada a vantagem de rendimento energético do etanol, ocorrendo inclusive pequeno aumento do consumo na operação com gasolina. Para alguns veículos que só possuíam versões à gasolina, a introdução da versão flexível de primeira geração, em geral, implicou em pequeno acréscimo do consumo com gasolina (1%), enquanto o consumo energético com etanol passou a ser cerca de 2% superior. Com o advento das gerações seguintes (taxas de compressão mais próximas das de motores dedicados a etanol) observa-se redução significativa do consumo na operação com etanol, mas também alguma redução no consumo com gasolina, de modo que o bônus energético do etanol tem ficado entre zero e 2%.

ii. Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular

Conforme mencionado, outra fonte importante de dados atuais de consumo de veículos flexíveis é o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular²⁰, coordenado e regulamentado pelo INMETRO com participação voluntária das principais montadoras

²⁰ Portaria INMETRO N°391 – 04/11/2008 “Regulamento de Avaliação da Conformidade para Veículos de Passageiros e Comerciais Leves com Motores do Ciclo Otto”

instaladas no país. O programa, que foi estabelecido no final de 2008, divulgou, para os modelos de veículos submetidos pelas montadoras, os resultados de consumo de combustível nos ciclos urbano e rodoviário, segundo a Norma ABNT NBR 7024: 2006 “Veículos rodoviários automotores leves – Medição de consumo de combustível – Método de ensaio”. O anexo 1 reproduz os resultados apresentados pelo Programa, enquanto o anexo 2 apresenta dados complementares sobre a motorização dos veículos (coletados em revistas especializadas) e a variação do consumo energético entre etanol e gasolina.

Quando se observam as informações apresentadas sobre a motorização dos veículos, nota-se que as montadoras estão com estratégias distintas para os veículos flexíveis. Enquanto Chevrolet e Volkswagen estão utilizando taxas de compressão elevadas, correspondentes ao que se convencionou chamar de 3ª geração, Fiat e Honda estão mantendo as taxas de compressão de motores à gasolina em boa parte dos modelos, com exceção do Mille Way Economy e do Civic que estão usando taxas de compressão intermediárias. A relação entre os consumos energéticos de etanol e de gasolina nos diversos modelos é bastante variável, ainda que, em média, esteja desfavorável ao etanol em torno de 2%. Os resultados apresentados mostram que, mesmo para os modelos com motor de 1.0 litro, ditos de 3ª geração, não existe, em média, vantagem energética para o etanol. É importante ressaltar que, por ora, o Programa de Etiquetagem é de adesão voluntária e é fundamentado nos valores declarados pelos fornecedores dos veículos, com base nos ensaios de homologação de modelos, que diferem significativamente (5% a 10%) dos resultados médios dos Relatórios de Valores de Emissão da Produção.

De acordo com o Programa de Etiquetagem, para qualquer unidade selecionada ao acaso do estoque do fabricante, são aceitáveis valores de consumo de combustível até 10% superiores aos declarados. Caso a discrepância esteja entre 10% e 20%, mais duas unidades devem ser selecionadas e se a média dos três resultados diferir menos que 10% do valor declarado, o resultado será considerado conforme. Nota-se, portanto, que os valores declarados englobam não só aspectos de média da distribuição do consumo, mas principalmente de desvio padrão.

É interessante comparar os resultados de consumo dos modelos flexíveis 2009 operando com etanol, com os modelos 1985 dedicados ao mesmo combustível. Nota-se que, para veículos de mesma massa, o consumo no ciclo urbano foi reduzido em cerca de 20% e no ciclo estrada em aproximadamente 5%, apesar da relação potência/peso ter sido acrescida em 10% e a poluição veicular ter sido reduzida da ordem de 20 vezes. Tais fatos mostram claramente que houve evolução da eficiência energética dos veículos a etanol nos últimos 24 anos que, entretanto, foi aproximadamente 15% menor que a dos veículos à gasolina. Observe-se também que a incorporação dos sistemas eletrônicos, de ignição mapeada e injeção multiponto de combustível com controle da mistura por retroalimentação, possibilitaram um ganho muito mais expressivo no ciclo urbano do que no ciclo estrada, no qual, em 1985, os motores trabalhavam com mistura pobre.

iii. Revistas especializadas

Várias revistas especializadas em veículos realizam avaliações de consumo nos modelos lançados pelas montadoras, seguindo ciclos e procedimentos próprios que em certa

medida representam uma utilização média dos veículos. A título de comparação com os valores apresentados no programa de etiquetagem, a Tabela 4 reúne os resultados divulgados pela Revista Autoesporte²¹ para os modelos comuns.

Tabela 4: Comparação entre dados do Programa de Etiquetagem e da Revista Autoesporte

Modelo	Quilometragem por litro						Variação de Consumo Energético		
	Ciclo Urbano		Ciclo Rodoviário		Ciclo Autoesporte		Álcool/ Gasolina		
	Álcool	Gasolina	Álcool	Gasolina	Álcool	Gasolina	Urbano	Rodoviário	Autoesporte
Celta 1.0 L	10,0	14,5	12,8	17,8	11,2	14,4	0,5%	-3,6%	-9,8%
Mille 1.0 Economy	10,8	15,7	13,2	19,2	12,7	14,4	0,7%	0,8%	-20,5%
Palio 1.4 L	8,8	13,0	10,8	16,0	10,0	13,2	2,4%	2,7%	-7,4%
Corsa 1.4 L	8,6	13,0	11,7	18,0	11,4	14,6	4,8%	6,6%	-10,2%
Gol 1.0	9,5	13,9	13,5	19,9	12,6	14,4	1,4%	2,2%	-19,9%
Gol 1.6	9,1	13,4	13,2	19,3	9,0	12,2	2,0%	1,3%	-4,9%
Polo 1.6	9,5	13,8	14,9	21,2	8,7	11,3	0,7%	-1,4%	-8,9%
Civic 1.8 Autom.	8,2	12,0	12,8	18,6	9,1	11,6	1,4%	0,7%	-10,6%

Embora os resultados de consumo divulgados pela revista apresentem certa correlação com os resultados do programa de etiquetagem, as diferenças de consumo energético entre etanol e gasolina nos ciclos correspondentes são muito discrepantes. Enquanto nos ciclos de teste padronizados e realizados em laboratório o consumo energético de etanol foi em média 1,5% superior ao de gasolina, nos testes da revista especializada, realizados em condições mais representativas do uso normal, ele foi 11% inferior. Vale observar que a diferença de densidade energética, entre a gasolina C disponível nos postos e a utilizada nos ensaios normalizados de consumo e emissões, foi considerada no cálculo dos consumos energéticos. A redução média de consumo energético de etanol em relação à gasolina passa a ser de 7,5%, quando se consideram os resultados de todos os modelos de veículos flexíveis ensaiados e divulgados pela mesma revista, incluídos os veículos de 1ª geração. Resultados semelhantes de redução são obtidos ao se analisarem os dados da Folha de São Paulo ou do sítio Carsale.uol, que se baseiam em testes de rua e estrada realizados pelo Instituto Mauá de Tecnologia. Portanto, embora os testes de campo possam carecer do rigor da ABNT NBR: 7024, eles indicam ao menos alguma falta de representatividade do teste padrão. Duas possíveis explicações para essa diferença no consumo energético etanol – gasolina entre os ciclos são: as diferenças de extensão dos ciclos e conseqüentemente da importância que as partidas e a fase fria representam; e o não aproveitamento, no ciclo normalizado, do maior torque do motor operando com etanol para reduzir as rotações de troca de marchas.

Resumindo o conjunto dos resultados oficiais de consumo dos automóveis desde meados da década de 1980, com base na normalização existente, pode-se afirmar que os veículos a etanol experimentaram grande evolução no ciclo urbano (20%) e menos significativa no ciclo estrada (5%), concomitantemente com um aumento de 10% na relação potência/peso do veículo e enorme redução da emissão de poluentes por quilômetro percorrido, estimada em: CO – 36 vezes; HC – 15 vezes; NOx – 17 vezes; e RCHO – 11 vezes. Apesar disso, os ganhos foram consideravelmente menores que os

²¹ “Ranking Autoesporte: consumo médio” – Revista Autoesporte 17/03/2009

ganhos obtidos pelos veículos movidos a gasolina, cuja eficiência energética cresceu 15% acima daquela dos veículos a etanol, enquanto os poluentes eram reduzidos de maneira ainda mais expressiva, a saber: CO – 58 vezes; HC – 24 vezes; NOx – 32 vezes; e RCHO – 17 vezes. Portanto, nos últimos 24 anos, as vantagens originais dos motores a etanol – eficiência energética 15% maior e emissão de poluentes 30% menor que a dos motores a gasolina, em 1985 – foram anuladas ou transformadas em desvantagens. O consumo energético dos veículos novos a etanol é em média 2% superior aos modelos correspondentes a gasolina. Além disso, a emissão média dos poluentes CO, HC e NOx após o catalisador em veículos novos é cerca de 10% superior à da gasolina e a emissão de aldeídos 4,6 vezes maior que a dos veículos operando a gasolina. Os resultados das emissões de CO, HC e NOx divulgados pela ANFAVEA para modelos 2009, considerando o efeito da durabilidade do catalisador para 80.000 km, são em média favoráveis ao etanol.

Os resultados práticos de consumo veicular, conforme ensaiados e divulgados pelas revistas especializadas do setor automobilístico, indicam uma eficiência energética bastante superior quando da utilização do etanol em comparação com a gasolina. Tal fato aponta para a necessidade de questionar se o teste normalizado é representativo de um “uso médio” no país e o que deveria ser feito para assim torná-lo. Um aspecto que poderia ser incorporado, ainda no contexto da ABNT NBR: 7024, seria a permissão para que as rotações de troca de marcha fossem diferentes nas operações com etanol ou gasolina em um mesmo modelo de veículo flexível.

c. Possibilidades Futuras

Conceitualmente, o limite de desenvolvimento de um motor flexível é aquele que garante, para cada uma das misturas específicas com as quais o motor pode operar, o mesmo desempenho, consumo, emissão de poluentes e durabilidade de motores hipotéticos que tivessem sido otimizados para cada mistura específica. Entretanto, de maneira pragmática, a evolução da tecnologia flexível é determinada por aspectos técnico-econômicos que dependem de quanto os consumidores estão dispostos a pagar no momento da compra de um determinado modelo, para ter o benefício da redução das despesas com combustível, da diferença em desempenho ou da emissão dos poluentes, durante a vida útil do veículo. No contexto brasileiro, os modelos populares, que apresentam volume de produção capaz de suportar desenvolvimentos intensivos em engenharia, são justamente aqueles que apresentam restrições para qualquer acréscimo de preço decorrente de partes ou componentes que necessitem ser incorporados. No que segue, serão apontadas as tecnologias que, se utilizadas, promoveriam a evolução dos veículos flexíveis no sentido de aproximá-los do “ótimo” conceitual, sem, contudo, considerar a viabilidade econômica de sua implantação.

Uma vez que o desenvolvimento dos motores básicos, os quais acabam sendo aplicados como motores flexíveis, ainda tem, via de regra, sido feito no exterior utilizando gasolina como combustível, as discussões seguintes são apresentadas segundo a perspectiva de tornar os veículos flexíveis mais adequados para o etanol.

O aspecto mais crítico a dificultar o uso de etanol em motores de ignição por centelha e que está a demandar melhorias urgentes é a partida e operação a frio. A volatilidade limitada do etanol a baixas temperaturas dificulta o atendimento dos limites de emissões

das fases mais recentes do Proconve, além de prejudicar o consumo de etanol quando comparado ao de gasolina. A solução de aquecer o combustível eletricamente e melhorar sua nebulização pelo uso de injetores com orifícios de menor área (maior número de orifícios ou aumento da pressão de injeção) para evitar a injeção de gasolina na partida a frio, conforme lançamento apresentado pela Volkswagen em sua 4ª geração de veículos flexíveis, no Polo E-Flex, caminha no sentido desejado. A utilização de sensores de oxigênio que começam a responder em temperaturas mais baixas, assim como de conversores catalíticos instalados mais próximos das válvulas de escapamento para se aquecerem mais rapidamente, são inovações esperadas para as próximas gerações de veículos flexíveis. Outras soluções tecnológicas inovadoras poderão surgir tanto para reduzir o tempo de aquecimento da câmara de combustão como para reduzir ainda mais o tempo de entrada em operação do catalisador.

Outra característica importante que diferencia o etanol da gasolina, e que merece ser mais explorada nos veículos flexíveis, é sua maior resistência à auto-inflamação. Essa maior “octanagem” possibilita aumentar a taxa de compressão do motor e obter maior rendimento térmico. O uso de sistemas que permitam variar os ângulos de abertura e fechamento das válvulas de admissão possibilitaria variar a taxa de compressão efetiva do motor, aproveitando mais integralmente o limite de auto-inflamação do particular combustível sendo utilizado. A utilização de motores de baixa cilindrada sobrealimentados em aplicações típicas de motores maiores pode ser uma excelente oportunidade de valorizar a alta octanagem e o calor latente de vaporização do etanol. A injeção direta de etanol na câmara de combustão, além de facilitar a partida a frio conforme mencionado, possibilitaria o aproveitamento inteligente da característica anti-detonante do etanol, quer seja somente através do injetor na câmara de combustão ou combinado com um injetor na porta de cada cilindro²². Especialistas no assunto estimam que a adoção desse conceito poderia trazer economia no consumo da ordem de 20% a 30%. Na linha de valorizar as características de vaporização do etanol, a introdução de coletores de admissão com aquecimento controlado conforme a proporção de etanol no combustível, assim como o controle da temperatura da água do motor, devem se tornar mais comuns nas próximas gerações de veículos flexíveis.

Mais um aspecto que requer atenção no encaminhamento para a redução do consumo de combustível dos motores flexíveis, é o uso de misturas mais diluídas na câmara de combustão por meio do uso de válvulas EGR, de modo à melhor aproveitar a propriedade de propagação de chama do etanol, sem alterar a mistura estequiométrica necessária ao funcionamento do catalisador de três vias.

3. Motociclos Flexíveis

a. Tecnologia e Conceitos

O mercado de veículos de duas rodas tem crescido rapidamente no Brasil e se compõe essencialmente de motocicletas de baixa cilindrada – de 100 a 250 cc – movidos com gasolina C. Levantamentos do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN e da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas,

²² Cohn et al. – “Fuel management system for variable ethanol octane enhancement of gasoline engines” - United States Patent Nr: 7,314,033 B2; January 1, 2008

Bicicletas e Similares – Abraciclo, indicam que em 2008 foram licenciados no país 1.925.514 motocicletas (motocicletas, motonetas e ciclomoteres), representando um aumento de 12,7% em relação a 2007, e levando o país a ter em circulação uma frota de 13.084.148 unidades. Admitindo um consumo médio de 27 km/l, uma quilometragem média anual de 9000 km e um teor de 25% de etanol anidro na gasolina, o consumo de etanol dessa frota atingiu aproximadamente 1,1 bilhão de litros em 2008. Entretanto, esse cenário de consumo de etanol pode mudar rapidamente à semelhança do que aconteceu no mercado de quatro rodas com a introdução de veículos com motores flexíveis. Seis anos após o lançamento do Gol Total Flex, a Honda lançou em março de 2009 a CG 150 Titan Mix, uma versão flexível de seu mais popular modelo, a CG 150 Titan, que vendeu 442.000 unidades em 2008, representando 23% do total das vendas de motocicletas no país.

A versão Mix conquistou 12,3% das vendas totais do setor em apenas quatro meses (66,7 mil unidades comercializadas de março a junho de 2009). O sucesso da primeira moto do mundo com motor flexível era esperado, pois o usuário pode escolher qual combustível – gasolina ou álcool – irá utilizar, de acordo com suas necessidades, principalmente econômicas. Dados de uma pesquisa de campo realizada pela Unica em 2008, com mais de 500 usuários de motocicletas, indicaram que cerca de 15% dos entrevistados já tinham usado ou estavam usando apenas etanol em seus veículos. O universo pesquisado, composto principalmente por moto-boys e usuários permanentes de motocicletas para locomoção diária, revelou ser muito sensível ao preço do combustível, o que estaria levando um número significativo de usuários a fazer conversões caseiras para viabilizar o uso exclusivo de etanol.

Como os motores de baixa cilindrada são normalmente simples (mono-cilíndricos, 4 tempos, refrigerados a ar e comando de válvulas no cabeçote com balancim) e alimentados por um carburador básico, favorecem conversões caseiras para o uso de etanol, feitas com a mudança do gicleur original do carburador por um de maior calibre, para possibilitar maior volume de etanol no motor, e uma nova combinação de regulagem dos parafusos de marcha lenta e de ar. Entretanto, essas conversões freqüentemente resultam em falhas de combustão, perda de desempenho, uso ineficiente do combustível, aumento na emissão de poluentes e desgaste prematuro do próprio carburador e outros componentes não apropriados ao uso do etanol hidratado.

A moto flex responde às demandas do mercado e evita a necessidade desse tipo de conversão, apresentando resultados satisfatórios no seu uso. Reedita, com alguns avanços tecnológicos, algumas das soluções desenvolvidas em 1982 para a CG 125 a álcool que chegou a ser produzida no país. O bocal interno do tanque possui tela anti-chamas, para evitar a propagação de fogo de fora para dentro do tanque; o filtro de combustível secundário possui maior capacidade de retenção e evita o entupimento precoce da bomba; o sistema de partida foi adequado para atender às necessidades de partida a frio com etanol; o tratamento interno do tanque, a bomba de combustível e o potenciômetro do marcador de combustível foram adequados ao uso do etanol.

Diferentemente de sua antecessora a álcool, equipada com um sub-tanque abastecido com gasolina para partida a frio em qualquer temperatura, a versão flex requer que em situações de temperatura ambiente abaixo dos 15 °C o tanque da motocicleta (16,1 litros) contenha cerca de 20% de gasolina para que se garanta a partida a frio nessas

condições. Com o objetivo de auxiliar o usuário quanto à partida a frio, a motocicleta possui um mecanismo de alerta por lâmpadas em seu painel de instrumentos.

O sistema Mix, embora conceitualmente semelhante aos sistemas adotados nos veículos flex, é mais simples. É coordenado por um módulo de controle eletrônico do motor (CEM), interligado a sensores que monitoram o desempenho do motor e transmitem informações sobre a mistura que está sendo utilizada. Os sensores utilizados registram a pressão no coletor de admissão, a posição da borboleta do acelerador, a temperatura do ar de admissão, a temperatura do óleo lubrificante e o teor de oxigênio no gás de escapamento do motor. De acordo com os dados fornecidos por estes sensores, o CEM seleciona um dos seguintes programas de funcionamento:

Programa 1: Tanque abastecido com gasolina

Programa 2: Tanque contendo gasolina e álcool na mesma proporção

Programa 3: Tanque contendo maior quantidade de álcool

Programa 4: Tanque abastecido apenas com álcool

O sensor de oxigênio, localizado no coletor de gases de escapamento do motor, é o principal responsável pelo funcionamento do sistema. Com base no programa selecionado, o CEM transmite as informações ao bico injetor (com 8 furos enquanto que a versão convencional a gasolina tem 6 furos), que fornece a quantidade adequada de combustível para a combustão, e regula o ponto de ignição – adiantando-o no caso do álcool e atrasando-o no caso da gasolina.

Equipada com conversor catalítico para redução da emissão de gases poluentes, a versão flex atende com folga aos limites de emissões estabelecidos pela terceira fase do Promot (Programa de Controle de Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares), equivalente à atual fase da legislação européia, conforme mostrado na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Emissão de Poluentes da CG 150 Titan Mix

Poluente	Limite de emissões Promot 3 (g/km)	Emissões (g/km)		Diferença entre as emissões e o limite Promot 3 (%)	
		gasolina	etanol	gasolina	etanol
CO	2,0	0,658	0,444	-67,1%	-77,8%
HC	0,80	0,146	0,143	-81,8%	-82,1%
NOx	0,15	0,068	0,102	-54,7%	-32,0%

Como o Promot não estabelece limites para a emissão de aldeídos, esse poluente ainda não é regulamentado, entretanto analogamente ao que é observado nos veículos de

quatro rodas flex, equipados com injeção eletrônica e conversor catalítico, essa emissão deve ser baixa, da ordem de 0,03 g/km ou menos.

Adotando a estratégia de não alterar a taxa de compressão utilizada na versão a gasolina, de 9,5:1, a versão flex apresenta ligeiro aumento na potência e no torque com etanol. Enquanto a motocicleta desenvolve 1,32 kgf.m de torque a 6.500 RPM e 14,2 cv de potência a 8.500 RPM quando abastecida com gasolina, estes valores sobem para 1,45 kgf.m e 14,3 cv, respectivamente, com etanol. Em termos de consumo de combustível, a Honda e revistas especializadas informam que com etanol é possível atingir de 3,7 a 3,4 l/100 km (27 a 29 km/l) enquanto que com gasolina o consumo varia de 2,9 a 2,6 l/100 km (35 a 39 km/l), correspondendo a um consumo aproximadamente 30% maior com etanol, o que corresponde a um bônus energético de cerca de 7%.

Além da Honda, sistemistas como a Delphi e a Magneti Marelli anunciaram ter desenvolvido a tecnologia flex para motocicletas. Considerando a boa resposta do mercado ao lançamento da Honda, acredita-se que o conceito flex pode ter o mesmo sucesso no mercado de duas rodas que o verificado para os veículos de quatro rodas. Como se trata de um veículo de baixo custo e conceito inovador, além de suprir o mercado interno, pode representar uma interessante oportunidade de exportação para diversos países, com potencial de fomentar o consumo de etanol em outros mercados.

b. Evolução da Aplicação

Como acontece em todos os casos em que inovações tecnológicas são adotadas em uma nova aplicação, é necessário passar por uma curva de aprendizado antes que a tecnologia chegue a sua maturidade. No caso dos motocicletas flexíveis ainda é cedo para se fazer projeções sobre os rumos que a tecnologia pode tomar, entretanto, é possível afirmar que algumas das inovações adotadas nos veículos de quatro rodas poderiam também ser adotadas em motocicletas. Exemplos práticos de melhorias incrementais de aplicação rápida incluiriam aumento na taxa de compressão e refinamento dos mapas de operação do motor para otimização da injeção e ignição de combustível.

4. Substituição de Diesel

a. Considerações Iniciais

Quando se trata do uso de derivados de petróleo em motores de combustão interna, estão bem estabelecidas as vantagens competitivas dos motores de ignição por compressão (motores Diesel) para aplicações de maiores potências e de serviço pesado, e a dos motores de ignição por centelha (motores Otto) nas aplicações de menor potência e de uso menos intenso. Tais diferenças se devem principalmente à maior eficiência energética dos motores do ciclo Diesel (cerca de 20% em relação aos motores Otto para aplicações veiculares) em contraposição ao menor custo de fabricação dos motores do ciclo Otto para a mesma faixa de potências, uma vez que o custo por unidade de energia dos respectivos combustíveis – óleo diesel e gasolina – são aproximadamente os mesmos.

Quanto à emissão de poluentes atmosféricos locais, embora o motor Diesel emita menor massa de poluentes por unidade de trabalho útil, os sistemas de pós-tratamento de gases

tornam as aplicações com motores Otto, de ignição por centelha, menos poluentes por unidade de trabalho que aquelas com motores de ignição por compressão. Em particular, grande parte da poluição de grandes centros urbanos é atribuída às emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado provenientes de veículos com motor Diesel. Em contraposição, a emissão de gases de efeito estufa por unidade de trabalho útil é menor para motores do ciclo Diesel do que para motores do ciclo Otto, em função da maior eficiência energética dos primeiros, se ambos estiverem funcionando com os derivados de petróleo para os quais foram desenvolvidos.

Por outro lado, conforme já discutido, as propriedades físico-químicas do etanol, principalmente a volatilidade e alta resistência à auto-inflamação, o tornam naturalmente um combustível ideal para motores de ignição por centelha, da mesma maneira que os óleos vegetais e seus derivados, como o biodiesel, são mais adequados para motores de ignição por compressão. Vale ressaltar que quando motores do ciclo Otto são otimizados para o uso de etanol, seu rendimento energético é superior ao de motores do mesmo ciclo otimizados para o uso de gasolina. Já no caso dos motores de ciclo Diesel, seu rendimento energético pouco varia quando eles são otimizados para diferentes combustíveis, embora as dificuldades de adaptação dos motores possam ser muito diversas conforme os combustíveis. No caso do etanol as modificações necessárias são grandes enquanto para o biodiesel são quase nulas.

Portanto, em um mercado de combustíveis líquidos para motores, que em termos globais se mantivesse razoavelmente equilibrado e amplamente dominado pelos combustíveis derivados de petróleo – gasolina e óleo diesel – faria mais sentido utilizar o etanol como substituto da gasolina e extrair maior percentual de óleo diesel do petróleo para seu uso em motores de ignição por compressão. Como, na maioria dos países os tributos incidentes sobre a gasolina (mais utilizada no transporte individual) são mais elevados que sobre o óleo diesel (mais utilizado em transportes coletivos e de carga), poderíamos concluir que o mercado global não tem lugar para o uso do etanol nas aplicações atualmente dominadas pelo óleo diesel.

No entanto, os mercados locais estão longe de serem perfeitos e equilibrados e o etanol apresenta uma excelente propriedade – redução significativa de emissões de carbono – fundamental para políticas de mitigação de gases de efeito estufa, o que cria oportunidades de uso de etanol na substituição parcial ou total de óleo diesel.

No Brasil, e principalmente no estado de São Paulo, a relação de preços entre etanol, gasolina e óleo diesel é tal que a possibilidade não pode ser descartada. Do ponto de vista energético é necessário 1,72 litro de etanol hidratado ou 1,22 litro de gasolina C para substituir 1 litro de óleo diesel. Assim, admitindo-se que, no médio prazo, o preço do diesel será mantido na faixa de 85% a 90% do preço da gasolina C, toda vez que o preço do etanol cair abaixo de um piso de 49% a 52% do preço da gasolina nos postos de abastecimento, passa a existir potencial econômico, mas não necessariamente técnico, para que consumidores que se abastecem na rede de postos utilizem etanol em substituição ao óleo diesel. Recentemente esse piso foi ultrapassado, o que reforça o interesse pela substituição. É oportuno mencionar que a relação de preços entre etanol hidratado e gasolina C que viabiliza economicamente o uso do primeiro na frota de veículos flexíveis é de 70%, o que mostra claramente o quão longe do equilíbrio tem estado o mercado.

Quando se consideram os preços de venda do etanol hidratado (sem tributos) e o preço de compra do óleo diesel pelo setor sucroalcooleiro, a oportunidade de substituição fica mais clara e se mostra economicamente vantajosa quando a razão de preços etanol/gasolina nos postos cai abaixo de 77% a 81%, para as mesmas razões apontadas de preço diesel/gasolina C. Mesmo quando se supõe o etanol sendo utilizado em motores de ignição por centelha, que tem menor rendimento energético que os motores de ignição por compressão, esses limites ficam em torno de 65%. Tal fato mostra que a substituição do diesel pelo etanol no setor sucroalcooleiro tem grande potencial econômico, o qual pode ser inclusive superior ao de substituição da gasolina C pelo etanol hidratado nos veículos flexíveis.

Dentro desta realidade de preços, fica patente a necessidade de desenvolver alternativas técnicas para uso de etanol em substituição ao diesel. Vale reforçar que, em junho de 2009, os preços médios dos combustíveis por unidade de energia nas distribuidoras em São Paulo foram: etanol hidratado - R\$44/GJ ²³; óleo diesel - R\$52/GJ; e biodiesel - R\$70/GJ ²⁴. O elevado incentivo ao biodiesel ilustra a importância que vem sendo dada para se conseguir um substituto renovável para o óleo diesel, que neste caso pode ser utilizado na frota existente.

Três aplicações típicas de motor Diesel foram consideradas mais promissoras para uso de etanol, a saber:

- ônibus, microônibus e vans para transporte urbano de passageiros;
- pequenos caminhões e furgões de entrega urbana;
- máquinas agrícolas e veículos de transporte de carga no setor sucroalcooleiro.

i. Ônibus, Microônibus e Vans para Transporte Urbano de Passageiros

A primeira aplicação apresenta a vantagem de ter seu uso restrito a frotas cativas com o benefício adicional de redução da emissão de poluentes locais e ruído em ambiente urbano e, portanto, com potencial adequado para receber incentivos fiscais ou requisitos legais que facilitem sua viabilização. Neste sentido, a Lei Nº 14.933/2009 do Município de São Paulo, que institui a Política de Mudança de Clima para o município, tem entre suas metas a redução mínima de 10% ao ano do uso de combustíveis fósseis em todos os contratos de transportes públicos do município, de modo a utilizar somente combustíveis renováveis em 2018.

ii. Pequenos Caminhões e Furgões de Entregas Urbanas

A segunda aplicação apresenta vantagens similares às mencionadas anteriormente, no que diz respeito a frotas cativas e redução de poluentes e ruído em ambiente urbano, mas é uma atividade essencialmente privada, o que dificulta a tomada de ação pelo poder público. Como vantagem técnica há o fato de seus motores Diesel serem menores e, portanto, mais próximos de serem substituídos por motores Otto com vantagens econômicas, conforme exposto nas considerações iniciais.

²³ Levantamento de Preços da ANP – junho 2009

²⁴ Resultado do 14º Leilão de Biodiesel (29/05/09) – ANP

iii. Máquinas Agrícolas e Veículos para Transporte de Carga no Setor Sucroalcooleiro

A terceira aplicação apresenta indiscutível viabilidade econômica na parcela referente ao custo de combustível e, portanto, oferece alguma margem para o desenvolvimento de soluções técnicas otimizadas para etanol, as quais podem posteriormente ser utilizadas em outras aplicações.

iv. Alternativas Tecnológicas e Potencial de Evolução

b. Transformação de Motores Diesel Pesados em Motores Otto

A alternativa com menor risco tecnológico para substituir óleo diesel por etanol em aplicações veiculares é a substituição de motores de ignição por compressão por motores de ignição por centelha. Embora na década de 1980 esta solução tenha sido bastante utilizada principalmente pelo setor sucroalcooleiro, atualmente no mercado brasileiro não são oferecidos comercialmente motores Otto do porte necessário para serem utilizados em aplicações típicas de motor Diesel.

A solução, que requer um investimento relativamente baixo, é transformar motores originalmente Diesel em motores Otto a etanol. Para tanto, são necessárias as seguintes modificações: alterações nos pistões para reduzir a taxa de compressão para valores compatíveis com etanol; substituição do sistema de injeção de diesel de alta pressão por um sistema de ignição no qual as velas são instaladas nas posições dos bicos injetores; adaptação de um sistema de injeção de motor Otto (baixa pressão), com os injetores no coletor de admissão instalados junto às portas dos cilindros; instalação de válvula borboleta para controlar o fluxo de ar de admissão; instalação de sensores de oxigênio, de detonação, de pressão absoluta na admissão; utilização de uma Unidade de Controle Eletrônico (ECU) programada conforme os requisitos de combustível e avanço de ignição do motor. Uma vez que a temperatura de escapamento de motores Otto é mais elevada que a de motores Diesel, podem ser necessárias modificações nas válvulas de escape e suas sedes.

A possibilidade de utilizar mistura estequiométrica e conversor catalítico de três vias fornece segurança de atendimento de limites de emissão de poluentes estritos, e o menor ruído do motor Otto é uma vantagem em muitas aplicações.

A desvantagem da alternativa é o aumento do consumo energético decorrente da menor eficiência do motor ciclo Otto em comparação ao Diesel. Essa desvantagem cresce para motores com pistões de maior diâmetro, em aplicações com grandes variações de carga e rotação e fortemente turbo - comprimidas, podendo variar de cerca de 15% a 40% conforme a utilização. Aplicações em ônibus urbanos grandes, em percursos com baixa velocidade média devem se aproximar do limite superior. Para aplicações que não requeiram uso de conversores catalíticos de três vias, como máquinas agrícolas, pode-se utilizar mistura ar/combustível pobre e reduzir a desvantagem em cerca de 7%.

A MWM International e a FPT estão desenvolvendo soluções deste tipo para motores na faixa de 60kW e 200kW respectivamente. A expectativa é que os motores tenham custo mais reduzido que os originais, pela eliminação dos sistemas de injeção de alta pressão

e pelo fato que o controle de emissões de motores Diesel para a próxima fase do CONAMA ser bastante mais complexo que o dos motores Otto.²⁵

Novas possibilidades sendo pesquisadas principalmente no exterior, como processos de combustão em baixa temperatura (HCCI e CAI), injeção direta na câmara, injeção de água, entre outras, podem ajudar futuramente a reduzir o ônus energético da mudança de ciclo.

ii. Etanol Aditivado em Motores Diesel

Outra alternativa para substituição do diesel por etanol, sem abrir mão da maior eficiência energética e robustez do motor de ignição por compressão, é utilizá-lo diretamente no motor de ciclo Diesel. Para tal, o etanol utilizado, normalmente o tipo hidratado, deve ser aditivado de modo a atingir a lubrificidade necessária para garantir a durabilidade do sistema de injeção de combustível e assegurar a auto-inflamação do combustível injetado na câmara de combustão do motor.

Esta solução foi bastante explorada no Brasil durante a década de 1980, utilizando aditivos promovedores de ignição à base de nitratos orgânicos e lubrificantes à base de óleo de mamona. A Scania, que assim como a Mercedes Benz, propôs a alternativa, realizou testes de campo com ônibus e caminhões e comercializou veículos à época no Brasil, manteve o desenvolvimento na Suécia. De 1990 a 2007 foram comercializados 600 ônibus urbanos, que operam em Estocolmo e outras cidades da Suécia, com etanol hidratado e um aditivo do tipo etileno-glicol, com motor de taxa de compressão 24:1 e sistema especial de injeção Bosch²⁶.

A reduzida emissão de poluentes tem permitido manter os veículos produzidos à frente dos requisitos ambientais europeus, sendo que a 3ª geração de motores, com taxa de compressão de 28:1, satisfaz com folga os requisitos da legislação EURO V e atende a legislação EEV (*Environmentally Enhanced Vehicle*), mais restritiva que a EURO V.

Testes de demonstração da tecnologia estão sendo realizados em São Paulo, como parte de uma iniciativa da União Européia coordenada pela prefeitura de Estocolmo e envolvendo nove cidades em vários países, denominado projeto BEST *Bio-Ethanol for Sustainable Transport*. Os resultados de consumo energético de etanol no ônibus de demonstração têm sido equivalentes aos do veículo sombra que opera com óleo diesel.

O custo atual do aditivo e a necessidade de utilização de um motor especialmente modificado constituem-se nas principais desvantagens da tecnologia que, entretanto, por já estar aplicada em ônibus urbano, encontra grande oportunidade de viabilização em virtude da Lei Nº 14.933/2009 anteriormente mencionada.

iii. Etanol Nebulizado em Motores Diesel

²⁵ Ebeling G. – MWM International; Medeiros J.I. – FPT - apresentações no painel “ *Ethanol: New option for Diesel Engines*” – *Ethanol Summit 2009*; São Paulo, junho 2009

²⁶ Moreira J.R. – “*BEST Project and the expansion of ethanol sector in Brazil*” – apresentação no painel “ *Ethanol: New option for Diesel Engines*” – *Ethanol Summit 2009*; São Paulo, junho 2009

O uso de etanol como substituto parcial do óleo diesel pode ser conseguido pela injeção de etanol no ar de admissão do motor Diesel, como se fosse um motor Otto, conjugada com a redução da quantidade de diesel injetada na câmara de combustão. A alternativa, que tem a vantagem de ser reversível, apresenta algumas dificuldades técnicas que limitam a fração de diesel possível de ser substituída. Em situações em que o motor opera com baixa carga e, portanto, só utiliza para a combustão uma fração pequena do ar admitido, uma parte do etanol não queima e é carregada para fora da câmara pela válvula de escapamento. Em situações de carga elevada, que implicam em pressões e temperaturas elevadas no interior da câmara de combustão, o etanol fica sujeito à detonação, pois as taxas de compressão dos motores diesel são muito elevadas para o etanol. Portanto, é fundamental que se tenha um controle preciso da quantidade de etanol possível de ser injetada em cada condição de carga e rotação do motor, e de maneira coordenada com a quantidade de diesel.

Tanto a Bosch como a Delphi, que fornecem sistemas de injeção e controle para motores Otto e Diesel, têm trabalhado no desenvolvimento dessa alternativa para os fabricantes de motores. São utilizados dois tanques de combustível e dois sistemas de injeção separados, que só interagem eletronicamente, de modo que não há necessidade de desenvolver novos sistemas físicos complexos.

A porcentagem de diesel que pode ser substituída eficientemente depende da cilindrada unitária do motor e da intensidade de turbo-carregamento utilizada na aplicação. Em testes realizados pela Bosch em bancada dinamométrica, em um motor de 2,8 litros, 4 cilindros turbo-carregado, a razão de substituição variou entre 12% e 57% conforme o ponto de operação²⁷.

A utilização de sensores de detonação e eventualmente de válvula borboleta no coletor de admissão podem aumentar as razões de substituição da alternativa.

iv. Misturas Etanol, Diesel e Co-solvente

Outra possibilidade que vem sendo discutida para a substituição parcial de diesel é a preparação de misturas de etanol em diesel, utilizando um co-solvente ou agente emulsificante, uma vez que a miscibilidade do etanol em diesel é baixa. Testes de laboratório e de campo, realizados no passado, demonstraram que os sistemas de injeção originais dos motores Diesel são bastante sensíveis à presença do etanol, apresentando desgaste ou cavitação em alguns componentes. Dependendo da configuração do motor, pode também ocorrer o fenômeno de tamponamento (*vapor lock*), cortando o suprimento de combustível ao motor, o que é um sério problema. Uma vez que o etanol é miscível em biodiesel que, em geral, apresenta poucas limitações como combustível para motor Diesel, pode-se tentar utilizar uma mistura dos dois biocombustíveis, aproveitando as propriedades de lubricidade do biodiesel e da “limpeza” da combustão do etanol. Entretanto, a elevação da pressão de vapor do combustível pela mistura do etanol pode provocar cavitação no sistema de injeção e, conforme mencionado anteriormente, o custo do biodiesel por unidade de energia é bastante superior ao do óleo diesel, fato que limita o alcance desta alternativa.

²⁷ Salles E., Zambotti A. “An experimental study of diesel-ethanol combustion controlled electronically” – SIMEA 2009 São Paulo

5. Políticas Públicas para Acelerar o Desenvolvimento das Aplicações do Etanol como Combustível em Veículos e Motores

O sucesso do etanol brasileiro como combustível veicular renovável substituto da gasolina é motivo de muito orgulho e de expectativa sobre um possível novo papel a ser cumprido pelo país no contexto internacional de redução das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, quando se observa a evolução detalhada da eficiência energética e ambiental da utilização do etanol como combustível automotivo em comparação à da gasolina nos últimos trinta anos, verifica-se que os resultados poderiam ser melhores.

É neste contexto que são necessárias políticas públicas que reforcem o estabelecimento de competência tecnológica nacional voltada para a utilização do etanol como combustível veicular, de modo a evitar que empecilhos ao seu uso neutralizem os ganhos de eficiência na sua produção.

a. Desafios ao Desenvolvimento da Tecnologia de Motores no País

Conforme demonstrado na seção sobre veículos de passageiros movidos a etanol, na primeira metade da década de 1980 esses veículos apresentavam vantagens significativas em comparação aos veículos movidos a gasolina, tanto no que diz respeito à eficiência energética como à emissão de poluentes locais. Estas vantagens, no entanto foram praticamente anuladas ou transformadas em pequenas desvantagens atualmente.

Essa situação não é difícil de compreender, quando se analisa que o segmento automotivo é constituído por empresas multinacionais e que os combustíveis renováveis representam fração mínima dos combustíveis consumidos globalmente pelo setor de transportes. Nada mais natural, portanto, que os desenvolvimentos tecnológicos ocorridos nos últimos trinta anos, objetivando reduções de consumo de combustível e de emissões de poluentes, tenham sido baseados nos derivados de petróleo. A importância relativa do Brasil no mercado automotivo mundial era pequena e o uso do etanol como combustível veicular somente era visto como solução local. Com a adoção pelos Estados Unidos de programa de produção e utilização de etanol como principal substituto da gasolina naquele país, a engenharia de aplicação do etanol ganha um novo impulso.

Os combustíveis renováveis já representam 19% da energia dos combustíveis utilizados no setor de transportes no Brasil, que também pretende exercer certa liderança internacional e servir de exemplo para outros países na produção e utilização de combustíveis renováveis. Fica, portanto, o desafio para a engenharia automotiva brasileira de, não só, adaptar tempestivamente para o etanol as tecnologias que vêm sendo desenvolvidas celeremente para uso dos derivados de petróleo, mas também, de realizar desenvolvimentos tecnológicos baseados nas propriedades específicas do etanol para tornar sua utilização como combustível veicular mais competitiva, e de ajudar a evitar que novas exigências de legislação possam limitar o futuro uso de etanol no mercado global.

Considerando que o país responde atualmente por 4% dos veículos novos vendidos no planeta e que a engenharia automotiva brasileira representa uma fração ainda menor da engenharia automotiva mundial, o desafio é enorme e necessitará do apoio de políticas públicas para ser vencido.

b. Políticas Comuns ao Desenvolvimento das Várias Alternativas

Para desenvolver uma competência nacional de nível internacional, dedicada à utilização de etanol como combustível veicular, é necessário estabelecer políticas públicas capazes de atuar em três diferentes níveis: na formação de competência técnica (recursos humanos principalmente) para pesquisa e desenvolvimento; no estímulo e fortalecimento da engenharia automotiva nacional; e no incentivo junto ao usuário final do produto, de modo a valorizar a eficiência energética e sustentabilidade ambiental que se pretende atingir. Este último nível de atuação deve ser específico para cada campo de aplicação de etanol.

i. Formação de Pesquisadores

A pesquisa básica sobre novos processos de combustão em motores e novos combustíveis é realizada por universidades e institutos de tecnologia, instalados nos países que lideram a indústria automobilística, que formam os pesquisadores que irão se dedicar à pesquisa e ao desenvolvimento dos novos motores que asseguram a evolução tecnológica do setor.

Para liderar o desenvolvimento na utilização de etanol em motores é fundamental que sejam incentivados grupos de pesquisa em universidades e institutos capazes de formar pesquisadores competentes na área de uso de etanol em motores. Possíveis tópicos a serem abordados compreendem: cinética da combustão do etanol em motores; visualização e simulação da combustão em motores; desenvolvimento e controle do processo HCCI (*homogeneous charge compression ignition*); desenvolvimento e controle do processo CAI (*controlled auto-ignition*); catalisadores especiais para produtos da combustão de etanol; etc. A formação de pesquisadores e, principalmente, a estruturação de um programa de pesquisa na área de motores de combustão devem ser objeto de uma política pública voltada para a parceria dos institutos de pesquisa e universidades com a indústria automobilística. Como os recursos financeiros são limitados, é importante concentrar os trabalhos em algumas instituições mais especializadas e melhor equipadas para evitar a pulverização desses recursos em projetos de baixo ou nenhum retorno prático.

ii. Apoio ao Desenvolvimento da Engenharia de Motores

Tanto as montadoras como seus principais fornecedores instalados no Brasil são empresas globais que procuram aproveitar particularidades regionais para traçar suas estratégias. Assim, várias dessas empresas estabeleceram seus centros de competência para combustíveis renováveis em suas filiais brasileiras, fato que deve ser aproveitado e incentivado por políticas públicas voltadas ao fortalecimento da engenharia automotiva dedicada à utilização do etanol. Apesar dos motores básicos, dos sistemas de controle dos motores e dos catalisadores serem desenvolvidos no exterior para utilização da gasolina, sua adaptação para o uso do etanol é em geral realizada no Brasil. Boa parte

desses desenvolvimentos aplicados aos motores flexíveis é feita pelos sistemistas e fornecedores das montadoras.

Políticas públicas que incentivem financiamentos ao desenvolvimento de componentes e sistemas voltados para o uso de etanol, semelhantes ao FUNTEC do BNDES, ajudariam a atrair outros centros de competência na área para o país. Os projetos deveriam preferencialmente envolver vários atores da cadeia e institutos de pesquisa ou universidades, de modo a estabelecer uma competência nacional. Itens como catalisadores, anéis de pistão, bombas de combustível, bicos injetores, sistemas de partida a frio, etc., voltados para a utilização de etanol poderiam ser contemplados.

c. Aspectos Específicos

i. Veículos Flexíveis

Um modo de promover uma competição sadia entre as montadoras, para valorizar os veículos energeticamente mais eficientes no mercado perante o consumidor, é o Programa de Etiquetagem Veicular, conforme atualmente coordenado pelo INMETRO. Entretanto, tal programa não diferencia combustíveis renováveis de combustíveis fósseis, fato que pode acabar por privilegiar veículos importados otimizados para gasolina. Entretanto, com as regras vigentes do programa, se uma montadora lançar um modelo dedicado ao etanol, ele terá uma vantagem de cerca de 3% (em virtude da maior octanagem do etanol), o que possivelmente lhe permitiria subir um nível na classificação.

Um programa de classificação de economia de etanol (resultados com gasolina ignorados), com eventual participação de entidades como IPT e CETESB, com ampla divulgação pública, daria ênfase ao aspecto de otimização que se deseja promover.

Incentivos junto ao fabricante do veículo e ao usuário final, de modo a valorizar a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental que se pretende atingir. Um dos possíveis incentivos a serem adotados, e que tem se mostrado eficaz em outros países, é a desoneração fiscal seletiva em função do grau de economia de combustível e da redução nas emissões.

Uma política pública de renovação de frota seria muito efetiva para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e das emissões locais de poluentes e traria benefícios indiretos ao aumento da eficiência energética na utilização do etanol, pois novas gerações de veículos flexíveis seriam desenvolvidas. Vale mencionar que, com uma tonelada de CO₂ valorada a US\$20, a redução da emissão anual média de CO₂ por veículo flexível no país, supostamente operando com etanol 65% do tempo, poderia justificar um valor de IPVA nos veículos flexíveis um ponto percentual menor que nos veículos a gasolina.

Política pública de incentivo à exportação da tecnologia flexível fortalece o desenvolvimento da engenharia brasileira de motores, fato que certamente auxilia no melhor aproveitamento do etanol como combustível. A exportação de veículos flexíveis para mercados de países em desenvolvimento importadores de petróleo e derivados pode ajudar a abrir novos mercados para exportação de etanol e/ou ajudar na transformação do etanol em commodity.

iii. Motociclos Flexíveis

Uma política pública voltada para renovação da frota de motocicletas, especificamente por motocicletas flexíveis, traria benefícios diretos para a redução da emissão de gases de efeito estufa, além de benefícios indiretos para o desenvolvimento da tecnologia de utilização de etanol em motores de baixa cilindrada. A mesma lógica de redução de IPVA para automóveis flexíveis pode ser aplicada aos motocicletas, assim como a de uma política pública de incentivo à exportação.

ii. Substituição de Diesel

Legislações ambientais voltadas à redução da emissão de CO₂ devem ser incentivadas a conter artigos referentes ao setor de transportes, tanto coletivo como individual. Mesmo valorações conservativas da emissão evitada de CO₂ por veículos de transporte, que não utilizem combustíveis fósseis, podem justificar incentivos fiscais da ordem de 5% a 10% nos impostos (IPI e ICMS) sobre veículos novos. Outras possibilidades de apoio podem compreender subsídios diretos por tempo determinado e a compra de veículos antigos para forçar sua saída de circulação.

Uma vez que a utilização do etanol em substituição ao diesel é economicamente muito mais favorável no setor sucroalcooleiro do que em qualquer outro setor, a credibilidade de promover essa alternativa para outros mercados pode ficar prejudicada se o setor sucroalcooleiro não der o exemplo.

Para facilitar o desenvolvimento de alternativas tecnológicas, que sejam inicialmente aplicadas no setor sucroalcooleiro, sugere-se utilizar o poder de compra do setor de maneira coordenada junto aos fornecedores para estimular o desenvolvimento de projetos voltados para máquinas agrícolas e caminhões.

Anexo 1. Resultados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular – 2009

Marca	Modelo	Versão	Motor	Transmissão Velocidades	Ar Condic.	Direção assistida	Combustível	Quilometragem por litro				Classificação 2009	Categoria Inmetro	
				Manual (M) Automática (A)	Sim (S) Não (N)	Hidráulica(H) Manual(M) Elétrica (E) Eletro-hidrául.(EH)		Álcool(A) Gasolina(G) Flex (F)	Cidade (Ciclo Urbano)		Estrada (ciclo rodoviário)		Área (m ²)	
									Álcool (km/l)	Gasolina (km/l)	Álcool (km/l)			Gasolina (km/l)
CHEVROLET	Celta 2P	Life, Spirit e Super	1.0 L	M 5	N	M	F	10,0	14,5	12,8	17,8	C	< 6,5	
CHEVROLET	Celta 4P	Life, Spirit e Super	1.0 L	M 5	N	M	F	10,0	14,5	12,8	17,8	C		
CHEVROLET	Celta 4P	Life, Spirit e Super	1.4 L	M 5	N	M	F	9,6	14,2	12,8	19,1	C		
FIAT	Mille Way Economy	1.0 Flex	1.0 8V Fire	M 5	N	M	F	10,8	15,7	13,2	19,2	A		
FIAT	Palio 2P Novo ELX	1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	S	H	F	8,8	13,0	10,8	16,0	E		
FIAT	Palio 4P Novo ELX	1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	S	H	F	8,8	13,0	10,8	16,0	E		
FIAT	Palio 2P Novo 1.8R	Flex	1.8 8V	M 5	S	H	F	7,7	11,2	10,1	15,0	E		
FIAT	Palio 4P Novo 1.8R	Flex	1.8 8V	M 5	S	H	F	7,7	11,2	10,1	15,0	E		
KIA	Picanto	EX3, LX3	1,0	M 5	S	E	G		16,2		21,0	A		
KIA	Picanto	EX3, LX3	1,0	A 4	S	E	G		15,8		20,8	A		
CHEVROLET	Classic	Life, Spirit e Super	1.0 L	M 5	S	H	F	8,7	13,0	12,0	18,0	D	6,5 a 7,0	
CHEVROLET	Corsa	Joy, Maxx e Premium	1.4 L	M 5	S	H	F	8,6	13,0	11,7	18,0	D		
CHEVROLET	Prisma	Joy e Maxx	1.0 L	M 5	N	M	F	9,7	14,4	12,8	18,4	B		
CHEVROLET	Prisma	Joy e Maxx	1.4 L	M 5	S	H	F	9,0	13,4	12,4	18,6	C		
FIAT	Idea	ELX 1.4 Flex	1.4 8V Fire	M 5	S	H	F	8,1	11,8	10,8	15,7	E		

VERSÃO PRELIMINAR.

FIAT	Punto	1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	N	H	F	8,9	13,2	11,2	17,0	C	
FIAT	Siena	Novo HLX 1.8 Flex	1.8 8V	M 5	S	H	F	7,8	11,7	10,3	15,6	E	
HONDA	Fit	LX, LXL	1.4L - 16V	M 5	S	E	F	9,8	14,8	12,3	18,6	A	
HONDA	Fit	LX, LXL	1.4L - 16V	A 5	S	E	F	9,2	14,0	11,8	18,2	B	
HONDA	Fit	EX, EXL	1.5L - 16V	M 5	S	E	F	9,2	13,7	11,6	17,3	C	
HONDA	Fit	EX, EXL	1.5L - 16V	A 5	S	E	F	9,0	13,5	12,0	17,6	C	
VOLKSWAGEN	Gol	1.0 L	1,0	M 5	S	H	F	9,5	13,9	13,5	19,9	A	
VOLKSWAGEN	Gol	1.6 L, 1.6 Power	1,6	M 5	S	H	F	9,1	13,4	13,2	19,3	B	
VOLKSWAGEN	Polo	BlueMotion	1,6	M 5	S	E-H	F	9,5	13,8	14,9	21,2	A	
HONDA	Civic	LXS	1.8L - 16V	M 5	S	H	F	8,3	12,3	11,8	17,5	7,0 a 8,0	
HONDA	Civic	LXS, EXS	1.8L - 16V	A 5	S	H	F	8,2	12,0	12,8	18,6		
VOLKSWAGEN	Voyage	1.0 L	1,0	M 5	S	H	F	9,5	13,9	13,5	19,9		
VOLKSWAGEN	Voyage	1.6 L,1.6 Trend,1.6 Comf.	1,6	M 5	S	H	F	9,1	13,4	13,2	19,3		
FIAT	Linea	T-JET 1.4 16V TURBO	1.4 16V T-JET	M 5	S	H	G		11,5		14,3	>8,0	
KIA	Carnival	EX2, LX2	3,8	A 5	S	H	G		7,8		10,6		
FIAT	Strada	Nova Trekking 1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	N	H	F	8,9	13,2	10,5	15,7		

Anexo 2. Resultados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular – 2009

Marca	Modelo	Diâmetro dos Cilindros	Curso dos Pistões	Taxa de Compressão	Potência Máxima Álcool/gasolina	Rotação de Potência Máxima	Velocidade de Pistão em Potência Máxima	Torque Máximo Álcool/gasolina	Rotação de Torque Máximo	Peso do Veículo	Capacidade do Tanque de Combustível	Potência Máxima	Potência/Peso	Consumo energético de AEHC/gasolina C	
		(mm)	(mm)		(CV)	(rpm)	(m/s)	(m.kgf)	(rpm)	(kg)	(litro)	(CV)	(kW/ton)	ciclo urbano	ciclo rodoviário
CHEVROLET	Celta 2P	71,1	62,9	12,6	78/77	6400	13,4	9.7/9.5	5200	860	54	78,0	66,7	0,5%	-3,6%
CHEVROLET	Celta 4P	71,1	62,9	12,6	78/77	6400	13,4	9.7/9.5	5200	890	54	78,0	64,5	0,5%	-3,6%
CHEVROLET	Celta 4P	77,6	73,4	12,4	105/99	6000	14,7	13.4/13.2	2800	890	54	105,0	86,8	2,5%	3,4%
FIAT	Mille Way Economy	70	64,5	11,6	65/66	6000	12,9	9.2/9.1	2500	830	50	66,0	58,5	0,7%	0,8%
FIAT	Palio 2P Novo ELX	72	84	10,35	86/85	5750	16,1	12.5/12.4	3500	981	48	86,0	64,5	2,4%	2,7%
FIAT	Palio 4P Novo ELX	72	84	10,35	86/85	5750	16,1	12.5/12.4	3500	981	48	86,0	64,5	2,4%	2,7%
FIAT	Palio 2P Novo 1.8R	82	85	10,5	114/112	5500	15,6	18.5/17.8	2800	1025	48	114,0	81,8	0,8%	2,9%
FIAT	Palio 4P Novo 1.8R	82	85	10,5	114/112	5500	15,6	18.5/17.8	2800	1025	48	114,0	81,8	0,8%	2,9%
KIA	Picanto	67	77	10,1	64	5500	14,1	9,4	2800	840	35	64,0	56,1		
KIA	Picanto	67	77	10,1	64	5500	14,1	9,4	2800	840	35	64,0	56,1		
CHEVROLET	Classic	71,1	62,9	12,6	78/77	6400	13,4	9.7/9.5	5200	920	54	78,0	62,4	3,6%	3,9%
CHEVROLET	Corsa	77,6	73,4	12,4	105/99	6000	14,7	13.4/13.2	2800	1045	44	105,0	73,9	4,8%	6,6%
CHEVROLET	Prisma	71,1	62,9	12,6	78/77	6400	13,4	9.7/9.5	5200	921	54	78,0	62,3	2,9%	-0,4%

VERSÃO PRELIMINAR.

CHEVROLET	Prisma	77,6	73,4	12,4	105/99	6000	14,7	13.4/13.2	2800	921	54	105,0	83,9	3,2%	3,9%
FIAT	Idea	72	84	10,35	86/85	5750	16,1	12.5/12.4	3500	1180	48	86,0	53,6	1,0%	0,7%
FIAT	Punto	72	84	10,35	86/85	5750	16,1	12.5/12.4	3500	1090	60	86,0	58,1	2,8%	5,2%
FIAT	Siena	82	85	10,5	114/112	5500	15,6	18.5/17.8	2800	1080	48	114,0	77,7	3,9%	5,0%
HONDA	Fit	73	80	10,5	101/100	6000	16,0	13/13	4800	1116	42	101,0	66,6	4,7%	4,8%
HONDA	Fit	73	80	10,5	101/100	6000	16,0	13/13	4800	1116	42	101,0	66,6	5,5%	6,9%
HONDA	Fit	73	89,4	10,4	116/115	6000	17,9	14.8/14.8	4800	1141	42	116,0	74,8	3,2%	3,4%
HONDA	Fit	73	89,4	10,4	116/115	6000	17,9	14.8/14.8	4800	1141	42	116,0	74,8	3,9%	1,6%
VOLKSWAGEN	Gol	67,1	70,6	13	76/72	6250	14,7	10.6/9.7	3850	934	55	76,0	59,9	1,4%	2,2%
VOLKSWAGEN	Gol	76,5	86,9	12,1	104/101	5250	15,2	15.6/15.4	2500	944	55	104,0	81,1	2,0%	1,3%
VOLKSWAGEN	Polo	76,5	86,9	12,1	104/101	5250	15,2	15.6/15.4	2500	1079	45	104,0	70,9	0,7%	-1,4%
HONDA	Civic	81	87,3	11,5	140/138	6200	18,0	17.7/17.5	4300/5000	1260	50	140,0	81,8	2,7%	2,8%
HONDA	Civic	81	87,3	11,5	140/138	6200	18,0	17.7/17.5	4300/5000	1260	50	140,0	81,8	1,4%	0,7%
VOLKSWAGEN	Voyage	67,1	70,6	13	76/72	6250	14,7	10.6/9.7	3850	970	55	76,0	57,7	1,4%	2,2%
VOLKSWAGEN	Voyage	76,5	86,9	12,1	104/101	5250	15,2	15.6/15.4	2500	1021	55	104,0	75,0	2,0%	1,3%
FIAT	Linea	72	84	9,8	152	5500	15,4	21,1	2250/4500	1305	60	152,0	85,7		
KIA	Carnival	96	87	10,4	242	6000	17,4	35	3500		80	242,0			
FIAT	Strada	72	84	10,35	86/85	5750	16,1	12.5/12.4	3500	1051	58	86,0	60,2	2,8%	3,6%