

Revedo a paridade entre etanol hidratado e gasolina em veículos flexíveis

Luiz A Horta Nogueira, NIPE/UNICAMP
Jayme Buarque de Hollanda, INEE

Resumo

Os veículos leves com motores flexíveis, capazes de utilizar quaisquer mesclas entre gasolina (com 25% de etanol anidro, E25) e etanol hidratado (EH), foram introduzidos em 2003 no Brasil e constituem atualmente a maioria do parque automotor nacional. A escolha do combustível a ser consumido nesses veículos é efetuada no momento do abastecimento, tomando em conta essencialmente os preços dos combustíveis e considerando uma relação de paridade de custos operacionais, que estabelece a condição de indiferença utilizando um ou outro combustível. Essa paridade tem sido assumida de modo relativamente simplista, estabelecendo-se como paradigma para a conveniência do uso de etanol hidratado (EH) frente à gasolina (com 25% de etanol anidro, E25) uma relação de preços (P_{EH}/P_{E25}) $< 0,7$ ou 70%. Esse valor limite, amplamente divulgado e aceito pelos consumidores, possivelmente não reflete de forma adequada a realidade do desempenho dos veículos. A correta determinação da condição de paridade tem implicações imediatas e relevantes sobre a economicidade e competitividade dos diferentes combustíveis, bem como sobre as emissões relativas em cada caso. Inicialmente se apresenta o contexto que reforça a importância da paridade de preços do etanol hidratado frente à gasolina e de sua correta avaliação, seguindo-se uma análise teórica procurando determinar os limites dessa paridade e sua relação com o desempenho diferencial dos veículos flexíveis. Valores de paridade medidos em veículos reais são revisados a partir dos dados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, artigos técnicos e o estudo da KPGM sobre o Banco de Dados da Ecofrotas, com dados de consumo de cerca de 410 mil veículos em uso regular. Concluindo são apresentados estudos visando incrementar o desempenho de motores a etanol, considerando suas vantagens em relação ao emprego da gasolina e comentando as possibilidades de sua adoção no Brasil.

1. Introdução

O Brasil possui larga experiência no uso regular de etanol como combustível veicular. Ainda em 1931 se introduziu mandatoriamente a mistura de etanol anidro na gasolina, processo reforçado em 1975 com o Programa Nacional do Álcool, para reduzir a dependência à importação de petróleo. Em 1979, em um avanço importante, se iniciou a comercialização de etanol hidratado como alternativa à gasolina e se incentivou a indústria automobilística a produzir veículos adaptados para esse biocombustível. Depois de experimentar grande sucesso, as vendas de veículos a etanol se reduziram significativamente com a queda dos preços do petróleo em 1985 e a retirada do estímulo ao etanol hidratado. Quando por volta do ano 2000 o preço do petróleo voltou a crescer e as questões ambientais aumentaram o interesse no uso do etanol, a demanda por veículos novos a esse biocombustível não foi atendida mediante o aperfeiçoamento dos motores a EH desenvolvidos nos anos oitenta, cuja tecnologia tinha ficado desatualizada, com as montadoras optando pela tecnologia dos motores flexíveis, já disponível e comercializada há décadas nos EUA. Veículos com motores apenas a etanol não foram mais produzidos no país.

A adoção de veículos (automóveis, camionetas e motocicletas) com motores flexíveis a partir de 2003 no mercado brasileiro desenvolveu-se rapidamente, como indicado na Figura 1, concedendo aos consumidores a possibilidade da seleção do combustível (EH ou E25) no momento do abastecimento, um corolário da flexibilidade existente nas usinas que podem, dentro de limites, arbitrar o melhor perfil de produção dependendo da razão de preços açúcar/etanol. Em 2013 a frota brasileira de veículos leves (automóveis e utilitários) era da ordem 33,5 milhões de veículos, sendo 68% veículos flexíveis e 3% veículos a etanol hidratado (UNICA, 2014).

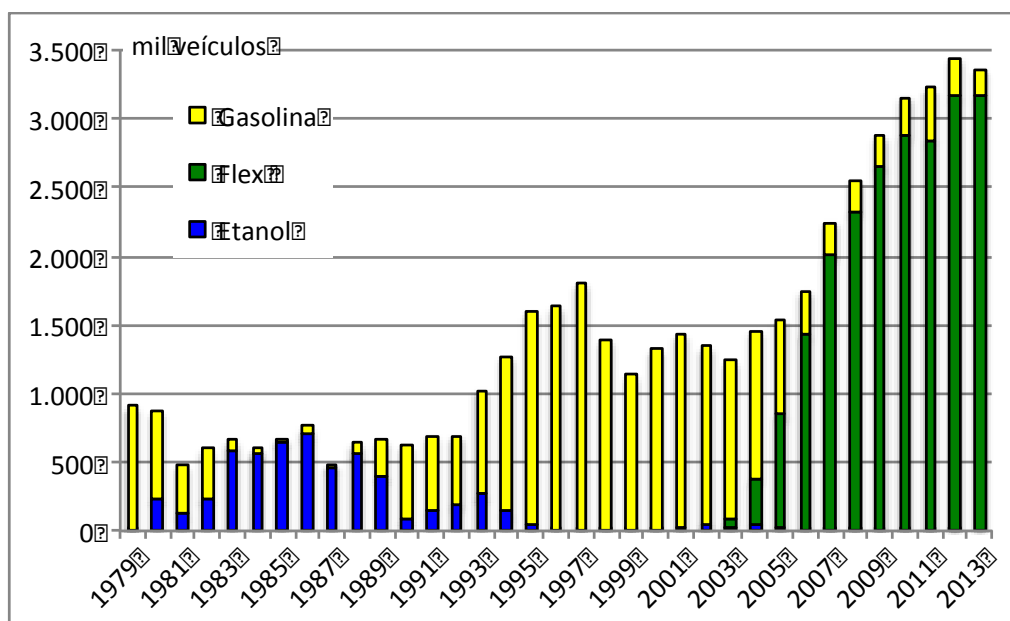


Figura 1. Licenciamento anual de veículos leves (motor Otto) novos no Brasil (ANFAVEA, 2014)

Considerando que a participação dos veículos flexíveis no parque veicular é crescente e que a intensidade média de uso se reduz com a idade do veículo, o consumo de combustíveis dos veículos leves no Brasil é cada vez mais determinado pelo comportamento dos consumidores dos veículos flexíveis, por sua vez pautado pela relação de preços entre o etanol e a gasolina. Por isso, o represamento dos preços de realização da gasolina nas refinarias, associado à retirada dos impostos federais nesse combustível, deslocou o consumo de EH para o derivado de petróleo de forma expressiva, com graves perdas para a economia nacional. No início de 2015 o governo federal aumentou a proporção de etanol com a gasolina para 27%, visando estimular a demanda de etanol e utilizar a capacidade ociosa de produção. Não obstante, subsistem dúvidas quando aos benefícios energéticos e a correção técnica dessa medida, especialmente no caso de motores mais antigos.

É bem conhecido como as propriedades físicas do etanol, um combustível homogêneo, permitem obter nos motores corretamente adaptados a esse biocombustível um desempenho superior ao observado nos motores à gasolina, particularmente quanto à eficiência energética e ao torque. A gasolina é composta por centenas de hidrocarbonetos e, normalmente, de um aditivo antidetonante. Sua composição varia dependendo da origem do petróleo e das condições de refino, e sua especificação é definida basicamente por seu desempenho em motores reais, sujeitando-se às normas de emissão de cada país. Para atender essa diversidade, os motores (ciclo Otto) são projetados com flexibilidade suficiente e atualmente incorporam

sistemas eletrônicos que comandam o momento exato da centelha, a quantidade de combustível injetado e outros sistemas do motor, em função da sua carga e rotação, efetuando os ajustes necessários em função da composição do combustível e do desempenho esperado. Estendendo essa ideia, foram criados os motores flexíveis, capazes de utilizar indistintamente gasolina e/ou etanol. Nesses motores, contudo, a vantagem do etanol não é tão evidente e deve ser analisada, visando estabelecer as condições nas quais existe conveniência no seu uso e orientar os consumidores na definição do combustível a ser usado, considerando principalmente a alternativa de menor custo.

O presente trabalho analisa a paridade de custos de motores flexíveis operando com AH e E25, considerando os aspectos teóricos envolvidos, bem como os dados oficiais e experimentais disponíveis no Brasil. Naturalmente que o conhecimento da correta condição de paridade é de imediato interesse para os proprietários dos veículos com motores flexíveis e afeta de forma relevante o mercado brasileiro de combustíveis veiculares.

2. A paridade dogmática e suas implicações

Ao longo dos anos difundiu-se amplamente entre os consumidores brasileiros que a condição de indiferença de custo entre os combustíveis utilizados nos veículos flexíveis seria o etanol hidratado custando 70% do preço da gasolina. Esse valor reflete aproximadamente a relação entre poderes caloríficos desses combustíveis e não leva em conta as diferentes eficiências nos motores.

Um levantamento estatístico efetuado pela EPE em diversas cidades brasileiras (Belo Horizonte, Campinas, Porto Alegre, Recife, Ribeirão Preto, Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo), mostra como efetivamente o “paradigma 70%” representa o critério de decisão adotado pela ampla maioria dos consumidores, conforme apresenta a Figura 2. Trata-se de um comportamento compreensível, em busca da operação mais econômica, com um pequeno número de consumidores que, independentemente do preços relativos, permanecem renitentes usuários de etanol hidratado ou gasolina.

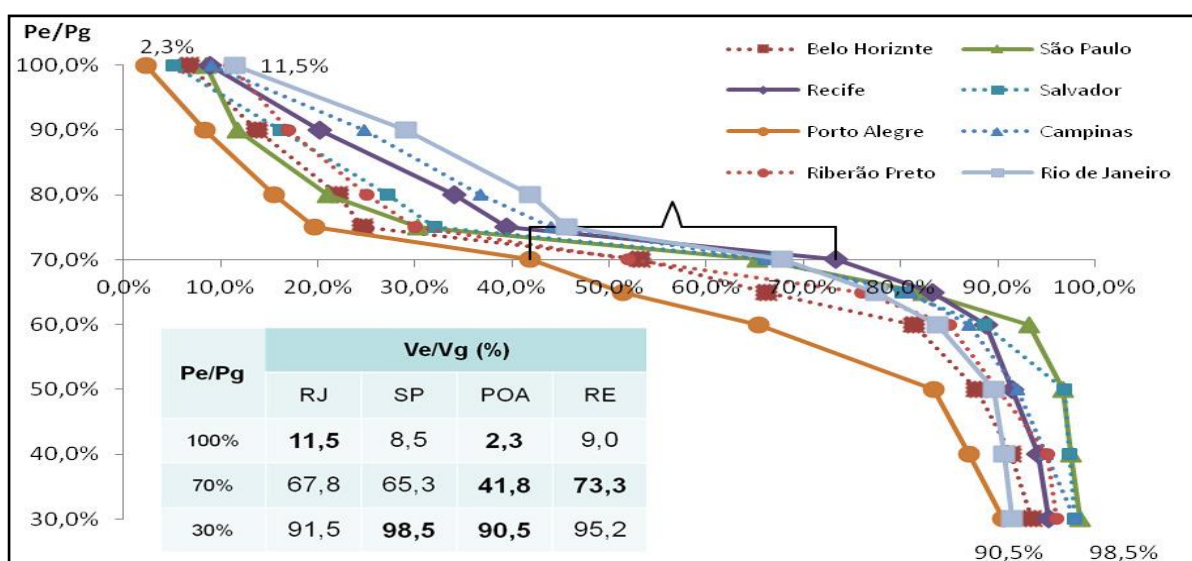


Figura 2. Consumo dos veículos flexíveis em função dos preços dos combustíveis (EPE, 2013)

Entre as conclusões desse estudo se menciona que (EPE, 2013):

“Embora existam diversas variáveis (autonomia, confiabilidade, entre outros) que influenciam o comportamento do consumidor, o preço relativo (Pe/Pg) representa a variável mais importante para a determinação da demanda relativa de etanol (Ve/Vg)”.

“Todas as curvas estimadas de demanda relativa mostram que o consumidor troca o etanol pela gasolina conforme aumenta o preço relativo (Pe/Pg), o que sugere um comportamento econômico racional. Tal comportamento fica ainda mais evidente quanto mais próximo o preço relativo está do ponto de equilíbrio representado pela razão Pe/Pg = 0,7. Nesta região, pequenas variações de preço levam a grandes alterações de consumo, sinalizando que, quanto mais próximo da relação 0,7, maior a elasticidade-preço da demanda.”

Um aspecto complementar interessante é a velocidade de reação dos consumidores face às mudanças de preços relativos dos combustíveis. Baseado na evolução do consumo de combustível em função da relação de preços etanol/gasolina e modelando o desempenho médio da frota no Estado de São Paulo, Nigro (2013) mostrou que o mercado consumidor responde efetivamente a este imperativo econômico, contudo com um notável atraso frente às reduções de preço do etanol na retomada do consumo deste biocombustível.

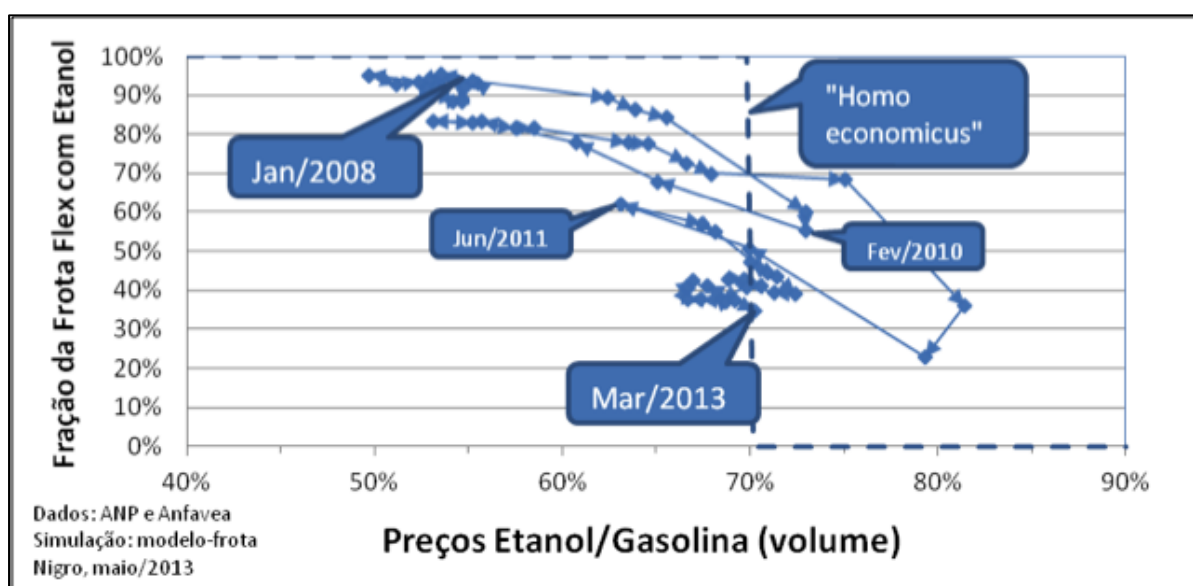


Figura 3. Fração da frota flexível usando etanol em função da razão de preços (Nigro, 2013)

3. Estimativa teórica da paridade (EH/E25)

A paridade ou indiferença de preço do etanol hidratado (EH) frente à gasolina (E25) para um dado veículo com motor flexível ocorre quando a configuração de preços dos combustíveis compensa as diferenças de consumo desse veículo ao usar etanol hidratado em vez de gasolina. Os valores de preço (P) e consumo (C) devem ser dados em base volumétrica, já que os combustíveis são comercializados nessa forma. Assim,

Condição de paridade: $P_{EH}C_{EH} = P_{E25}C_{E25}$ ou $\frac{P_{EH}}{P_{E25}} = \frac{C_{E25}}{C_{EH}}$

A relação de consumos volumétricos para um dado motor consumindo EH ou E25 depende essencialmente dos respectivos poderes caloríficos (em massa) (PC_i), densidades (ρ) e rendimentos do conjunto motor/veículo (η), conforme a equação a seguir.

$$\frac{C_{E25}}{C_{EH}} = \left[\frac{(PC_i \rho \eta)_{EH}}{(PC_i \rho \eta)_{E25}} \right]$$

Valores de referência para poder calorífico e densidade (faixas de variação para os combustíveis especificados, valores médios estimados) são apresentados na Tabela 1, para etanol anidro, etanol hidratado (EH), gasolina pura¹ e gasolina aditivada com etanol anidro (E25). As propriedades da gasolina C (denominação da gasolina com etanol anidro) ou E25 são relativamente controversas, especialmente o poder calorífico, variando de acordo com a referência e o teor efetivo de etanol. De fato, mais frequentemente são apresentados dados para gasolina com 22% de etanol anidro (E22), que constitui o combustível de referência para ensaios de motores, especificado pela ANP, mas que não reflete exatamente a gasolina C comercializada nos postos de abastecimento, geralmente E25 e em alguns períodos E20.

Tabela 1. Propriedades dos combustíveis para motores Otto

Propriedade	Etanol anidro	Etanol hidratado (EH)	Gasolina média	Gasolina C (E25)
Poder calorífico inferior				
em massa (MJ/kg)	28,2	26,5	44,3	40,2
em volume (MJ/l)	22,3	21,3	31,0	28,9
Densidade a 20 °C (kg/litro)				
mínima		0,805	0,70	0,718
máxima		0,811	0,77	0,775
média	0,792	0,808	0,735	0,7465

Fontes: API, 1998, Goldemberg e Macedo, 1994 e Regulamentos Técnicos da ANP, 2013

Considerando os valores de poder calorífico e densidade dados na Tabela 1, é possível calcular a paridade volumétrica como função apenas da razão de desempenho do conjunto motor/veículo utilizando E25 ou EH, determinados por seu projeto e operação com esses combustíveis, conforme a expressão abaixo.

$$\frac{C_{E25}}{C_{EH}} = (1,34 \text{ a } 1,46) \left(\frac{\eta_{E25}}{\eta_{EH}} \right)$$

É importante observar que o valor de rendimento nessa expressão deve incluir naturalmente a eficiência do motor na conversão da energia química do combustível em energia mecânica no eixo do motor do veículo, bem como o rendimento nos processos mecânicos até a produção final de energia útil, ou seja, o movimento do veículo. Assim, este rendimento inclui as transformações no sistema de transmissão, até a roda, sendo afetado pelas condições de uso,

¹ Para a gasolina foram adotados valores representativos, já que a gasolina é uma mistura de muitas substâncias químicas, variável de acordo com a matéria prima e as condições de refino

torque solicitado, relações de marcha empregadas, entre outros aspectos, que podem ser distintas quando se utilizam etanol hidratado ou gasolina, em um mesmo motor.

Se considerado que, independente do combustível empregado, o desempenho do motor flexível e a condição de uso se mantêm constantes, tem-se que a razão de preços de paridade resulta efetivamente no entorno de 70%:

$$\frac{P_{E25}}{P_{EH}} = (0,68 \text{ a } 0,74) \text{ ou } (68 \text{ a } 74\%)$$

Entretanto, parece pouco provável que o desempenho dos motores flexíveis não seja afetado pelo combustível empregado. Por razões como o maior calor latente de vaporização do etanol, as condições de calibração e ajuste, entre outras, os motores flexíveis podem apresentar maior eficiência térmica quando utilizando EH, com valores superiores em cerca de 4,3% para as gerações mais antigas de motores (até 2005), vantagem que progressivamente se reduziu nos motores mais recentes, que passaram a adotar taxas de compressão mais elevadas com gasolina (Nigro e Szwarc, s/d). Segundo esses autores, observa-se nos modelos produzidos nos últimos anos uma “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%”. Empregando esses limites (0 a 4,3%) de ganho de eficiência com o uso de EH frente a E25, a razão de preços de paridade passa a ser a seguinte, com os valores mais elevados para os motores mais antigos:

$$\frac{P_{E25}}{P_{EH}} = (0,68 \text{ a } 0,78) \text{ ou } (68 \text{ a } 78\%)$$

Cabe recordar que essa análise se desenvolve para veículos com motores flexíveis. Algumas características do etanol, especialmente os índice de octanagem e o calor latente de evaporação mais elevados conferem particular vantagem frente à gasolina e permitem que os motores projetados especificamente para etanol tenham uma eficiência mais elevada, ou seja, fornecem mais potência mecânica por unidade energética entregue pelo combustível. Nesse sentido, um parâmetro decisivo para o maior desempenho dos motores dedicados a etanol é a taxa de compressão mais elevada do que nos motores a gasolina, possível devido à maior capacidade antidetonante ou octanagem do etanol. Por isso, em meados dos anos 80, a eficiência dos motores a gasolina era aproximadamente 85% da eficiência observada nos motores a etanol (MIC, 1986). No caso dos motores flexíveis, a adaptação para o uso do etanol se fez a partir de motores convencionais a gasolina, com taxas de compressão mais baixa, imposta pela menor qualidade da gasolina em termos de octanagem, sacrificando o desempenho com o uso de etanol em prol da flexibilidade para uso da gasolina.

4. Valores reais da paridade (EH/E25)

A extensa experiência brasileira com o uso de EH e gasolina em veículos leves oferece valores medidos para avaliação da paridade de custos com esses combustíveis em condições reais de uso. Particularmente para os veículos flexíveis, essa avaliação pode ser desenvolvida com base nos dados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular e de valores registrados de consumo em frotas reais monitoradas, como se apresenta a seguir.

4.1. Avaliação a partir de dados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) vem sendo desenvolvido desde 2008 conjuntamente pelo INMETRO, CONPET (Petrobras), ANP, IBAMA, com participação voluntária das principais montadoras instaladas no Brasil, nos termos da Portaria INMETRO No 391/2008 “Regulamento de Avaliação da Conformidade para Veículos de Passageiros e Comerciais Leves com Motores do Ciclo Otto”, por sua vez alinhada com a Norma ABNT NBR 7024: 2006 “Veículos rodoviários automotores leves – Medição de consumo de combustível – Método de ensaio”, com ciclos de consumo em cidade e estrada, de acordo com a experiência internacional. Em 2014 esse programa apresentou dados para 611 modelos de veículos comercializados no Brasil.

Esse programa, criado para “para prestar informações úteis que possam auxiliar os consumidores na decisão de compra, e, ao mesmo tempo, estimular a fabricação e a importação de veículos mais eficientes e econômicos” (INMETRO, 2013), classifica os veículos leves (automóveis) e atribui a cada modelo avaliado uma etiqueta classificatória de acordo com seu consumo, mostrada na Figura 4. A adesão dos fabricantes e importadores de automóveis é voluntária e renovável a cada ano e, para participar, o fornecedor deve informar os valores de consumo energético de, no mínimo, 50% de todos os seus modelos de automóveis zero km, previstos para comercialização no período.

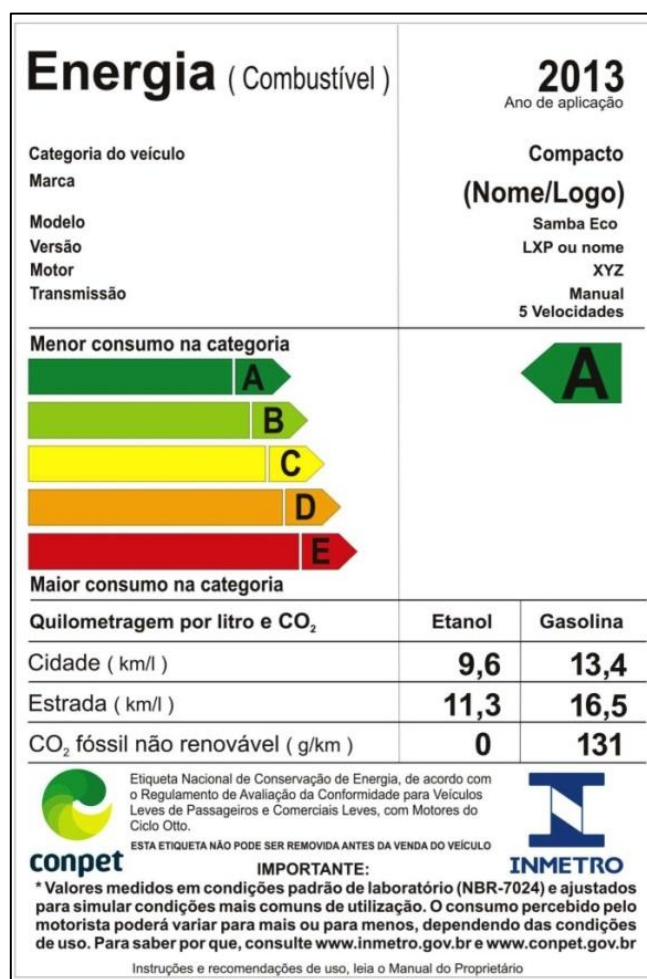


Figura 4. Etiqueta adotada no Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (INMETRO, 2013)

A avaliação do desempenho no PBEV é feita para cada modelo considerando deslocamentos padrão que simulam o uso na cidade e na estrada, conforme padrões internacionais. As medidas são feitas em condições ideais e, para refletirem fatores que aumentam o consumo observado na prática (calibragem de pneu, habilidade do motorista, etc.), os dados de consumo divulgados são majorados, em média de 19% (urbano) e 27% (rodoviário), empregando uma fórmula empírica, avaliada nos EUA a partir da observação de carros a gasolina e aplicada, na mesma proporção, ao consumo de gasolina e etanol nos veículos flexíveis. Uma amostra dos resultados do PBEV é apresentada na Figura 4.

A partir dos consumos veiculares fornecidos pelo PBEV, foram estimados os valores da relação de preços (EH/E25) requeridos para proporcionar a paridade de custos em alguns modelos de veículos flexíveis (ano de fabricação 2014), apresentados na Tabela 2, com resultados aquém dos estimados pelas expressões anteriores e próximos de 70% (PBEV, 2014). Naturalmente que cabe um estudo mais completo e detalhado, eventualmente estratificando os resultados por categoria², potência e eventuais critérios adicionais (existência de ar condicionado, tipo de transmissão, etc.).

Categoria	Marca ⁽¹⁾	Modelo ⁽¹⁾	Motor	Versão	Transmissão Velocidades (n°)	Ar Cond.	Direção Assistida	Combustível	Emissões no Escapamento							Quilometragem por Litro ⁽¹⁵⁾				Consumo Energético (MJ/km)		Classificação PBE										
									Poluentes ⁽⁷⁾				Gás Efeito Estufa ⁽⁷⁾			Etanol		Gasolina				Comparação Relativa na Categoria	Comparação Absoluta Geral									
									Manual (M)	Automática (A)	Automática Dupla Embreagem (DCT)	Automatizada (MTA)	Contínua (CVT)	Sim (S)	Não (N)	Hidráulica (H)	Mecânica (M)	Elétrica (E)	Eletro-hidráulica (E-H)	Etanol (E)	Gasolina (G)			Flex (F)	NMHC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	Redução Relativa ao Limite	CO ₂ fóssil (g/km)	CO ₂ fóssil (g/km)	Cidade (km/l)	Estrada (km/l)
																						Poluentes ⁽⁷⁾	CO ₂ fóssil (g/km)									
SUB COMPACTO	FIAT	Pallo	1.0-8V	Fire Way 2 Portas	M-5	N	M	F	0,031	0,182	0,032	**	0	102	8,2	10,0	11,9	14,6	1,67	B	A											
SUB COMPACTO	FIAT	Pallo	1.0-8V	Fire Way 4 Portas	M-5	N	M	F	0,031	0,182	0,032	**	0	102	8,2	10,0	11,9	14,6	1,67	B	A											
SUB COMPACTO	FIAT	500	1.4-8V	Cult	M-5	S	E	F	0,027	0,525	0,040	***	0	114	7,2	8,4	11,0	12,8	1,90	D	B											
SUB COMPACTO	FIAT	500	1.4-8V	Cult Dualogic	MTA-5	S	E	F	0,026	0,455	0,040	***	0	111	7,5	8,5	11,3	13,0	1,85	D	B											
SUB COMPACTO	FIAT	500	1.4-16V	Sport Air	A-6	S	E	F	0,027	0,216	0,037	***	0	122	6,9	8,1	10,4	11,7	2,01	E	C											
SUB COMPACTO	JAC	J2	1.4-16V	-	M-5	S	E	G	0,026	0,114	0,054	***	\	109	\	\	11,9	12,5	1,77	C	B											
SUB COMPACTO	KIA	Picanto	1.0-12V	EX4 MT	M-5	S	E	F	0,027	0,477	0,060	***	0	102	8,2	9,8	12,0	14,4	1,68	C	B											
SUB COMPACTO	KIA	Picanto	1.0-12V	LX4 MT	M-5	S	E	F	0,027	0,477	0,060	***	0	102	8,2	9,8	12,0	14,4	1,68	C	B											
SUB COMPACTO	KIA	Picanto	1.0-12V	EX4 AT	A-4	S	E	F	0,025	0,314	0,062	***	0	111	8,3	9,4	11,4	13,1	1,75	C	B											
SUB COMPACTO	KIA	Picanto	1.0-12V	LX4 AT	A-4	S	E	F	0,025	0,314	0,062	***	0	111	8,3	9,4	11,4	13,1	1,75	C	B											
SUB COMPACTO	NISSAN	March	1.0-16V	10	M-5	N	E	F	0,025	0,295	0,080	**	0	98	8,9	10,4	12,6	15,0	1,57	A	A											
SUB COMPACTO	NISSAN	March	1.0-16V	10	M-5	S	E	F	0,025	0,295	0,080	**	0	101	8,4	9,7	12,3	14,5	1,65	B	A											
SUB COMPACTO	NISSAN	March	1.0-16V	10S	M-5	S	E	F	0,025	0,295	0,080	**	0	101	8,4	9,7	12,3	14,5	1,65	B	A											
SUB COMPACTO	RENAULT	Clio	1.0-16V	Authentique 3 Portas	M-5	N	M	F	0,031	0,535	0,031	**	0	87	9,5	10,7	14,3	15,8	1,45	A	A											
SUB COMPACTO	RENAULT	Clio	1.0-16V	Authentique 5 Portas	M-5	N	M	F	0,031	0,535	0,031	**	0	87	9,5	10,7	14,3	15,8	1,45	A	A											
SUB COMPACTO	RENAULT	Clio	1.0-16V	Expression 5 Portas	M-5	N	M	F	0,031	0,535	0,031	**	0	87	9,5	10,7	14,3	15,8	1,45	A	A											
SUB COMPACTO	RENAULT	Clio	1.0-16V	Authentique 3 Portas	M-5	S	H	F	0,031	0,535	0,031	**	0	96	9,1	9,6	13,1	14,3	1,58	A	A											
SUB COMPACTO	RENAULT	Clio	1.0-16V	Authentique 5 Portas	M-5	S	H	F	0,031	0,535	0,031	**	0	96	9,1	9,6	13,1	14,3	1,58	A	A											
SUB COMPACTO	RENAULT	Clio	1.0-16V	Expression 5 Portas	M-5	S	H	F	0,031	0,535	0,031	**	0	96	9,1	9,6	13,1	14,3	1,58	A	A											
SUB COMPACTO	SMART	fortwo	1.0-12V	71cv mhé coupé	MTA-5	S	E	G	0,020	0,174	0,024	***	\	96	\	\	13,2	14,4	1,56	A	A											

Figura 5. Exemplo de tabelas do PBE Veicular (INMETRO, 2014)

² O PBE Veicular atualmente agrupa os veículos em 12 categorias: compacto, médio, grande, carga derivado, comercial, minivan, subcompacto, fora de estrada, esportivo, extra grande, utilitário esportivo compacto, utilitário esportivo grande.

Tabela 2. Consumos e valores requeridos de paridade de preços para veículos listados no PBE Veicular (INMETRO, 2014)

Fabricante e modelo (2014)	usando EH (km/l)		usando E25 (km/l)		Paridade de preços	
	cidade	estrada	cidade	estrada	cidade	estrada
Toyota, Corolla 1.8 - 16V XLI manual	7,0	9,6	10,2	13,5	0,69	0,71
VW, Gol 1.0 8V City 2 Portas	7,7	9,6	11,6	13,9	0,66	0,69
Fiat, Palio 1.0 8V Fire 2 Portas	8,8	10,3	12,3	15,0	0,72	0,69
Renault, Clio 1.0 16V Authentique 3 Portas	9,5	10,7	14,3	15,8	0,66	0,68

Para comparar, classificar e hierarquizar os diversos modelos, as tabelas do PBEV sintetizam os resultados para cada modelo uma única coluna de consumo energético (MJ/km). Essa informação é calculada com os dados de laboratórios supondo um uso 60% urbano e 40% rodoviário e que os carros flexíveis usam 50% de EH e 50% de gasolina.

Nigro e Swarzc (s/d), informam que a revista Autoesporte ao avaliar oito modelos comuns de automóveis encontrou consumos de etanol em média 11% inferiores aos apresentados pelo programa de etiquetagem, com desvios entre 20,5 a 4,9%. Em suas palavras: “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”.

4.2. Avaliação do Banco de Dados de consumo veicular da Ecofrotas

Criada em 2009 a partir da experiência de dez anos com a firma Embratex Good Card, a Ecofrotas se propõe a oferecer “soluções completas e sustentáveis para gestão de frotas”, considerando que “na era do aquecimento global e da limitação dos recursos naturais, diminuir a emissão de gases do efeito estufa e de resíduos poluentes deixou de ser apenas um discurso para transformar-se em uma questão de sobrevivência” (Ecofrotas, 2014). Na evolução dessa empresa e sua antecessora se destaca o lançamento em 2006 de um sistema para controlar o abastecimento de combustíveis de frotas, em 2008 a campanha Condução Consciente através do vídeo “Treinamento de Condutores” e o desenvolvimento do Sistema de Logística Reversa de Peças em oficinas mecânicas e, desde 2009, a promoção de avaliações sistemáticas das emissões veiculares de GEE. Em 2012 essa empresa lançou o projeto Crédito de Carbono Ecofrotas, tendo sido escolhida pelo Guia Exame como uma das quatro empresas com as Melhores Práticas de Redução de Emissão de GEE no Brasil. Em associação com a Raizen, a Ecofrotas criou a Expers, voltada para a gestão de frotas de veículos pesados (Expers, 2014).

Como principais serviços oferecidos pela Ecofrotas para a gestão de frotas podem ser mencionados (Ecofrotas, 2014):

- Cartão meio de pagamento (Good Card), permitindo capturar e processar as transações em tempo real, com software gerenciador do processo do abastecimento e manutenção dos veículos, possibilitando integração eletrônica de dados com os sistemas da empresa cliente.
- Terceirização da gestão do abastecimento, manutenção, aspectos legais (documentos e multas)

Entre as empresas que utilizam seus serviços estão a Vivo, Protege, AES Eletropaulo, 3M e Kimberly-Clark. Anualmente são realizadas, em média, 22 milhões de transações de abastecimento, em cerca de 12 mil postos de abastecimento de combustível credenciados pela Ecofrotas. Para controle e captura de informações, cada veículo administrado recebe um cartão magnético usado para efetuar pagamentos. Essas informações são registradas automaticamente no sistema de gestão, gerando relatórios mensais e compondo um amplo banco de dados.

O acompanhamento de uma frota numerosa, com o registro da quilometragem percorrida e os abastecimentos efetuados durante alguns anos em milhares de veículos, de diferentes modelos e anos de fabricação, representa um conjunto de informações bastante relevante e motivou a Ecofrotas a desenvolver uma análise independente, com uma avaliação estatística de seu banco de dados (KPMG, 2012). Essa avaliação foi realizada em 2012 pela KPMG, uma das principais empresas de consultoria atuantes no país, com cerca de 4 mil profissionais e escritórios em 22 cidades brasileiras.

O Banco de Dados analisado pela KPMG com frota administrada pela Ecofrotas inclui 409.926 veículos, com mais de mil modelos de veículos flexíveis fabricados entre 2004 e 2011, em sua maior parte com até quatro anos de uso (16% de 2011, 28% de 2010, 19% de 2009 e 17% de 2008). Na avaliação da KPMG foram efetuadas duas análises: global (cobrindo todos os veículos) e limitada, utilizando uma base de 5 mil veículos que abasteceram durante todo o período analisado, agosto de 2009 a março de 2012, nesse caso com maior concentração de modelos produzidos entre 2007 a 2009. Foram excluídos os veículos apresentando dados de consumo veicular considerados discrepantes (“outliers”, cerca de 6% do total de veículos), sendo computados apenas os valores para etanol entre 3 e 12 km/l e para gasolina entre 5 e 15 km/l. Os resultados dos valores de paridade de preços foram apresentados agrupados por ano de fabricação (para captar o efeito da adoção de tecnologias) e estão sintetizados na Tabela 3, considerando os valores apresentados pela frota total.

Tabela 3. Valores observados de paridade de preços reais para veículos administrados pela Ecofrotas (KPMG, 2012)

Ano de fabricação	Paridade de preços média (EH/E25)
2004	0,772
2005	0,785
2006	0,786
2007	0,791
2008	0,790
2009	0,805
2010	0,807
2011	0,790
média aritmética ponderada	0,795

Considerando a frota limitada (5 mil veículos), observou-se que a paridade real de preços, foi de 79,8%, resultado naturalmente afetado pela composição etária dos modelos nesse caso. É importante ressaltar que existem diferenças significativas de rendimento médio entre os veículos, por modelos e anos de fabricação, não apresentadas no estudo da KPMG. Naturalmente que esses veículos são empregados de forma não controlada, com solicitações e comportamento dos condutores distintas das adotadas nos percursos padronizados.

Para validação dos resultados comparativos foram efetuadas os testes estatísticos de análise de variância (ANOVA), que indicaram a existência de diferenças estatisticamente significativas nos consumos de gasolina (E25) e etanol hidratado entre os anos de fabricação e para os valores de paridade, com os anos de fabricação se tornando relevantes quando a diferença entre os anos é superior a seis anos. As análises de consistência empregando o coeficiente de variação de Pearson indicaram a forte correlação entre o consumo de um combustível e o preço por litro, mais que o custo por quilômetro.

A paridade indicada por esse estudo, sobre uma base real e significativa de veículos, se mostrou bem acima dos valores do usual paradigma (70%) e foi a principal motivação para o presente estudo. Certamente o cabal esclarecimento das razões das diferenças observadas impõe mais e detalhados estudos, mas os resultados evidenciados até aqui sinalizam a possibilidade de que outros fatores sejam significativos para o incremento do desempenho dos veículos quando utilizam etanol. Também pode ser aventado que a qualidade da gasolina empregada em parte dos veículos acompanhados pela Ecofrotas não atenda as especificações, o que explicaria o maior consumo constatado. Nesse sentido, cabe comentar que o programa de monitoramento de qualidade de combustíveis promovido regularmente pela ANP indica que, de um modo geral, a qualidade da gasolina comercializada no Brasil não apresenta significativos problemas.

Com base nas diferenças observadas, a ECOFROTAS desenvolveu e aprovou junto à Verified Carbon Standard (VCS) metodologia para venda de créditos de carbono relativa a carros flex que usem etanol no lugar de gasolina com base nas paridades mais altas constatadas. A aprovação envolveu um longo processo de verificação dos resultados. Em meados de 2014 foi vendido um lote inicial de 2.195 créditos voluntários de carbono emitidos nos EUA relativos a 2000 carros que usarão etanol com base na paridade 80. Um segundo lote de 6.000 créditos deve ser lançado em breve (ECOFROTAS, 2014).

4. Perspectivas para a eficiência veicular no Brasil e o Programa Inovar-Auto

A indústria automotiva brasileira, uma das maiores do mundo, certamente apresenta boas oportunidades para aperfeiçoamento tecnológico de seus produtos. Em 2012 o governo federal lançou o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores, Programa Inovar Auto (Lei 12.715/2012, regulamentada pelos Decretos 7.819 e 8.015 desse mesmo ano), permitindo descontos de 30% do Imposto de Produtos Industrializados para que as montadoras aumentem a eficiência dos carros leves fabricados no Brasil até 2018, como indicado na Tabela 4. Considerando a existência de gasolina e etanol, o programa, que assume que os carros serão necessariamente flexíveis, adota implicitamente uma paridade igual a 70% (12:17,3), de tal forma que as metas em termos energéticos ficam iguais em 1,679 MJ/km.

Tabela 4. Metas do Programa Inovar Auto (MDIC, 2012)

Combustível	Metas de consumo veicular			
	km/litro		MJ/litro	
	de	para	de	para
Gasolina	14,00	17,3	2,071	1,679
Etanol	9,71	12,0	2,069	1,679

Certamente que essa meta limita o interesse e, portanto, a possibilidade dos fabricantes produzirem carros mais eficientes utilizando o potencial diferenciado do etanol. Em meados de 2014, para corrigir essa imperfeição, a Lei 12.996/2014 complementou esse programa, o estabelecendo que o “Poder Executivo, no âmbito do Inovar-Auto, poderá estabelecer alíquotas do IPI menores para os veículos que adotarem motores flex que tiverem relação de consumo entre etanol hidratado e gasolina superior a 75% ...”. Em outras palavras, que apresentem uma paridade de custos de 75%, nos termos do presente trabalho. O mesmo artigo, porém, contraditoriamente determina ainda não haja “prejuízo da eficiência energética da gasolina nos veículos novos”. Como as eficiências no uso de um e outro combustível resultam de soluções de compromisso, na prática a nova lei limita a possibilidade do lançamento de um carro flex mais eficiente usando etanol. Espera-se que novos ajustes sejam introduzidos, permitindo efetivamente promover a eficiência dos veículos brasileiros.

Dentre as tecnologias que podem ser adotadas para atingir os objetivos de eficiência do Programa Inova Auto, se menciona a injeção direta e um uso mais generalizado dos turbo-compressores, cujo preços têm ficado mais competitivos. Teoricamente esses componentes podem proporcionar aumentos de eficiência maiores para o uso do etanol do que o da gasolina, cuja octanagem é menor. Entretanto, ainda não há consenso quanto à possibilidade de aplicar a nova diretriz, favorecendo o uso do etanol em motores flexíveis. A BorgWarner Brasil, por exemplo, considera "difícil" (segundo a publicação, “endossando a opinião da Anfavea - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores -”) mas a Garret, outra fabricante é mais otimista sobre a melhoria de eficiência no uso do etanol hidratado em carros flexíveis [NOVACANA 2014].

Nos EUA a FORD trabalha em duas outras possibilidades que poderiam ser estudadas no Brasil. A primeira é adotada no protótipo ESCAPE, um modelo elétrico-híbrido flex proposto para táxis. Adaptados para utilizar EH seriam uma opção muito interessante para operarem em cidades da região canavieira onde a paridade é sempre favorável ao etanol. Pesquisas da FORD, ainda, testam a tecnologia BOBCART (2014), proposta pelo MIT, empregando um motor flexível com dupla injeção de etanol e gasolina que apresenta alta eficiência com etanol.

Em outra vertente, considerando a eventual retomada da produção de veículos com motores dedicados a EH, com evidentes nichos de mercado no Brasil e em países com produção real ou potencial de etanol competitivo, é necessário incorporar a esses motores os aperfeiçoamentos desenvolvidos nos últimos anos pela indústria automotiva. Além disso, diversas características dos motores modernos são particularmente adequadas para aumentar a performance e reduzir as dimensões (“downsizing”) de motores a etanol, comparativamente aos motores a gasolina, bem como a homogeneidade do combustível renovável permite uma melhor adequação do desenho do motor ao combustível.

A superioridade do etanol, avaliada em diversos estudos acadêmicos e em laboratório (BAETA, 2015) foi demonstrada, na prática, por uma conceituada projetista norte-americana de motores (RICARDO, 2009). Em 2010, essa empresa desenvolveu um motor com tecnologia EBDI (“Ethanol Boosted Direct Injection”) otimizado para o etanol, utilizando componentes com tecnologias já desenvolvidas e pesando 200 kg menos do que um motor diesel equivalente. Além de mais leve, apresentou uma eficiência 30% superior, o que corresponde a uma paridade de 100%. Atualmente a FIAT, com apoio do BNDES (2013), e a PSA (com apoio da FAPESP e associada a um grupo de universidades brasileiras, lideradas

pela Unicamp) estão desenvolvendo no Brasil pesquisas especificamente procurando desenvolver motores eficientes a etanol (FAPESP, 2014).

5. Comentários e conclusões

Ainda que não seja conclusivo, o presente estudo aborda um tema de evidente relevância, a requerer maior aprofundamento e estudos de campo, pois indica que, ao se usar uma paridade de 70% como paradigma, reduz-se artificialmente a competitividade do etanol, com prejuízos tanto para consumidores quanto para a agroindústria energética da cana de açúcar, segunda fonte de energia do Brasil.

Apresentar de forma correta e consistente os valores reais de paridade é de maior interesse de todos e nesse sentido, podem ser alinhadas algumas ações para contornar as dificuldades observadas e reforçar o uso de um combustível veicular renovável no Brasil.

5.1. Desconstrução do paradigma 70%

A paridade de custos 70% surgiu com a necessidade de uma regra prática quando foram lançados os carros flexíveis. Por se aproximar das relações do conteúdo energético por volume da gasolina e do etanol hidratado, confere um caráter “científico” ao parâmetro, entretanto equivocado, pois desconsidera a eficiência no uso do combustível. Essa relação não consta de nenhum dispositivo legal, mas acabou se tornando um paradigma que influencia o comportamento do consumidor e decisões de governo.

Como visto, a paridade de custos não é fixa e depende diversas variáveis, como modelo do veículo, ano de fabricação, tecnologias incorporadas e, sobretudo, das condições de uso do carro e de características do motorista, sendo praticamente impossível estabelecer uma única relação de paridade para uso generalizado. Considerando a variedade de modelos e idades de veículos em circulação, e possíveis formas de condução, poderiam ser realizados:

- a) campanhas de esclarecimento para proprietários de veículos flexíveis, eventualmente sugerindo metodologias simples para auto-avaliação da paridade de custos EH/E25 caso a caso;
- b) estudos de caráter estatístico, procurando determinar para grupos razoavelmente homogêneos (tipos de veículos, anos de fabricação e usos) as faixas de variação observadas.

Em breve estarão circulando no Brasil mais de 30 milhões de veículos flexíveis, oferecendo um amplo e diversificado universo a estudar.

5.2. Reforço do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular

O índice de eficiência do PBEV foi criado com o objetivo de informar os consumidores. No formato atual da etiqueta, mostrada na Figura 4, embora sejam apresentados os consumos com cada combustível, para comparar os veículos, os dados com os dois combustíveis são homogeneizados a partir de um critério discutível, que considera a média dos consumos, como se os carros fossem abastecidos 50% do tempo com etanol e 50% com gasolina, o que é altamente improvável; a tendência dos consumidores é usar um ou outro combustível.

Esse critério não favorece o consumidor a buscar um carro com um desempenho melhor com um ou com o outro combustível. Como os motores flex são motores a gasolina adaptados para usar o etanol, o último combustível é o mais prejudicado na seleção. Será importante estudar índices que ajudem o consumidor a se situar com relação a cada um dos combustíveis. Eles podem ser feitos pelo PBEV, mas, como os dados do INMETRO são públicos, nada impede que outras entidades calculem e divulguem

5.3. Ajuste do INOVAR AUTO

É importante que a regulamentação do INOVAR AUTO estimule de modo inequívoco os veículos flexíveis mais eficientes no uso do etanol, sem penalizar eficiências energéticas diferenciadas que possam e deverão surgir, considerando as vantagens do EH frente à gasolina.

5.4 P&D do uso automotivo do etanol hidratado

Os trabalhos acadêmicos e as atividades de pesquisa e desenvolvimento no Brasil relacionadas com o uso automotivo do EH são ainda muito reduzidos frente à importância desse biocombustível, experiências concretas acumuladas no país e crescentes possibilidades de difusão em outros países. Seria importante que os fundos de pesquisa existentes no país priorizassem a pesquisa sobre o uso eficiente do etanol como combustível veicular.

Em síntese, o desenvolvimento de sistemas bioenergéticos sustentáveis impõe que tanto a produção como o uso dos biocombustíveis sejam eficientes. Nesse sentido, os motores a etanol merecem atenção, seja para conhecer de forma consistente o desempenho dos motores atualmente em uso, seja para desenvolver motores capazes de aproveitar adequadamente as vantagens diferenciais do etanol frente à gasolina.

Referências

- ANFAVEA, 2014, Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, São Paulo
- ANP, 2013, Resoluções com Especificações dos Combustíveis Brasileiros, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Rio de Janeiro
- API, 1998, Alcohols and Ethers, a Technical Assessment of Their Application as Fuel and Fuel Components, API Publication 4261, American Petroleum Institute, Washington
- Baêta, JG, 2013, Eficiência energética do etanol na comparação com motores a diesel, Workshop Uso Eficiente de Etanol Veicular no Brasil, INEE/UNICA, São Paulo
- BNDES, 2013, BNDES Press Release: BNDES aprova R\$ 153,1 milhões para investimentos da indústria automobilística em Minas Gerais, disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2013/Todas/20130807_fiat.html, consultado em novembro de 2013
- Ecofrotas, 2014, Apresentação da Ecofrotas, disponível em <https://www.ecofrotas.com.br>, consultado em dezembro de 2014
- EPE, 2013, Avaliação do comportamento dos usuários de veículos Flex-Fuel no consumo de combustíveis no Brasil, Rio de Janeiro

- EPE, 2014, Balanço Energético Nacional 2014, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro
- Expers, 2014, Apresentação da Expers, disponível em <https://www.portalexpers.com/>, consultado em dezembro de 2014
- FAPESP, 2015, Centro de Pesquisa em engenharia de motores a biocombustíveis é lançado, disponível em agencia.fapesp.br/centro_de_pesquisa_em_engenharia_de_motores_a_biocombustiveis_e_lancado/20169/, consultado em março de 2015
- Goldemberg, J, Macedo, IC, 1994, The Brazilian Alcohol Program – An Overview, Energy for Sustainable Development, Vol. 1(1)
- INMETRO, 2014, Tabelas de Consumo/ Eficiência Energética, Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, disponível em http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2014.pdf, consultado em janeiro de 2015
- KPMG, 2012, Ecofrotas - Relatório de Avaliação do Banco de Dados e Estudo comparativo do uso de gasolina X etanol, KPMG Risk Advisory Services Ltda., 44 pg, São Paulo
- PBEV, Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, tabelas disponíveis em <http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>, consultado em dezembro de 2014
- RICARDO, 2009, Ethanol Boosted Direct Injection (EBDI), disponível em <https://www.ricardo.com/Global/IA/Our-Markets-1/Pass-Car/Case-Studies/EBDI%20case%20study1.pdf> , consultado em março de 2015
- UNICA, 2014, Estatísticas, União da Indústria Canavieira, São Paulo