

DEMONSTRATIVO DE VANTAGENS ECONÔMICAS E DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA OPÇÃO POR ETANOL NOS ABASTECIMENTOS DE VEÍCULOS *FLEX-FUEL*

Cláudio Silva Graminho^{1*}, Alexandre Dullius²

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil, claudio.graminho@copel.com

² Instituto Federal do Paraná, Campus Paranaguá, Paranaguá, Paraná, Brasil, alexandre.dullius@ifpr.edu.br

Resumo

A diferença entre o preço do combustível no abastecimento de uma frota de veículos *flex-fuel* com etanol ou com gasolina não deve ser o principal quesito na escolha do combustível empregado. Utilizando os dados de abastecimento de um conjunto de um *pool* de veículos *flex-fuel* de uma grande empresa durante todo o ano de 2014, onde se utilizou majoritariamente a opção da gasolina como combustível. Este trabalho propõe uma metodologia para o cálculo da diferença entre os preços no abastecimento e entre a quantidade de emissões de gases de efeito estufa gerados tanto pelo uso misto de combustíveis, quanto pelo uso exclusivo do etanol hidratado estimado para se percorrer a mesma distância. Também se estabeleceu uma relação entre a diferença de preços por litro dos dois combustíveis e a economia gerada. Por fim, conclui-se que há realmente vantagens financeiras e ambientais na adoção da preferência ao biocombustível. Com o estudo, acredita-se na contribuição com as discussões voltadas à temática em foco e na orientação na tomada de decisões políticas e econômicas voltadas à utilização de etanol, bem como para políticas de sustentabilidade.

Palavras-chave: Combustíveis; Biocombustível; GEE; Eficiência energética; Gasolina.

Abstract

Statement of economic benefits and greenhouse gas emissions in option for ethanol in supplies of flex-fuel vehicles. When choosing which fuel to use on a fleet of flex-fuel vehicles, whether applying ethanol or gasoline, the difference in cost shouldn't be the main point to consider. Using the data collected from fueling a major company's group of flex-fuel vehicles throughout 2014, in which gasoline was used as the main fuel option, this research proposes a methodology to calculate the difference between the financial costs of fueling and the emission of greenhouse gases, be it from mixing fuels or exclusively using an amount estimated of hydrated ethanol. A connection was also established regarding the difference in price per liter of both fuels and the savings generated. Finally, it can be concluded that there truly are financial and environmental advantages in adopting biofuel as a preference. With this study, it is possible to believe in the contribution to the discussions of the theme in focus, as well as the guidance in taking political and economical decisions regarding the use of ethanol, along with sustainability policies.

Keywords: Fuel; Biofuel; GHG; Energy efficiency; Gasoline.

INTRODUÇÃO

Apesar das reservas provadas de petróleo permanecerem estáveis, a produção mundial de combustíveis fósseis ainda demonstra crescimento, com uma taxa de 0,64% entre o ano 2012 e 2013. Nesse mesmo período, o consumo de combustíveis aumentou 1,16%, quase o dobro da taxa de produção (ANP, 2014), prenunciando uma escassez a médio e longo prazos. Contudo, a questão econômica de recursos é reforçada pela insustentabilidade ambiental da opção fóssil, historicamente mais utilizada. Há praticamente um consenso sobre as questões das mudanças climáticas, inclusive quanto às causas antropológicas dessas mudanças, enfatizadas e reafirmadas pelos seguidos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).

No quinto relatório do IPCC (2014), é afirmado que são necessárias mais ações de corte das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para limitar o aquecimento do planeta a 2°C até 2100. Segundo os cientistas do IPCC, é preciso abandonar os combustíveis fósseis e utilizar fontes mais limpas a fim de reduzir estas emissões que poderiam provocar um aumento da temperatura do planeta

entre 3,7°C e 4,8°C antes de 2100, o que seria um nível catastrófico.

Numa análise do consumo energético e de emissões de CO₂ no setor de transportes brasileiro, Andrade e Mattei (2011) observam que a principal estrutura de transportes do país é o transporte rodoviário, com 61% do modal utilizado, atingindo o patamar de 96% quando se trata de transporte de passageiros. O estudo aponta que esse setor é a segunda maior fonte de emissões de GEE no Brasil, com um consumo energético acima da média mundial, ressaltando a importância da necessidade de um correto dimensionamento das emissões oriundas da frota nacional.

Uma dessas alternativas renováveis proporcionou uma posição de vanguarda ao país já na década de 1970: o etanol originário da cana-de-açúcar. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, o biocombustível apresenta o melhor balanço energético do mundo, pois para cada unidade de energia fóssil são armazenas 9,3 unidades de energia (COLLARES, 2010). O etanol apresentou um grande crescimento de uso logo após o seu lançamento em 1975, alavancado pela crise do petróleo. Após essa fase inicial, houve um grande período de crise, devido ao baixo preço do petróleo e ao excesso de oferta do etanol (FILHO; RAMOS, 2006).

As vendas do biocombustível apresentaram novamente forte crescimento a partir da entrada dos veículos *flex-fuel* em 2003, impulsionado pelo aumento da renda e do consumo e da substituição da gasolina pelo etanol. A crise de 2008, no entanto, afetou significativamente os produtores de cana-de-açúcar, influenciando seus preços. A partir de 2009, o etanol perdeu a competitividade em termos de preço versus eficiência, mesmo sendo considerado um biocombustível avançado (ANP, 2013). Apesar do retorno gradual, ele ainda está longe de ser considerado como preferência na hora do abastecimento, devido à falsa associação do seu poder calorífico com sua eficiência no cômputo geral. De qualquer maneira, a gasolina comum, do Tipo C, é acrescida de etanol anidro. Atualmente a taxa de mistura é de 27% (CIMA, 2015), porém a mistura era de 25% no ano base de 2014 (MAPA, 2013).

Comumente é considerado, tanto pelas empresas quanto pelo consumidor em geral, apenas a questão financeira na escolha do combustível. É senso comum considerar uma proporção de 70% entre o preço do etanol e da gasolina na bomba de combustível como valor máximo em que sua escolha é mais rentável. Essa taxa estimada corresponde ao menor poder calorífico do biocombustível do bagaço da cana-de-açúcar (SANTOS, 2008), porém o índice de eficiência depende de muitos outros fatores.

Assim, este trabalho leva em consideração essa diversidade de variáveis, como as diferenças nas eficiências de motores e a variação de preços dos dois combustíveis, e busca agregar a questão sustentável como incentivo no momento do abastecimento. Com isso, objetivou-se estabelecer possíveis ganhos econômicos e ambientais no abastecimento de veículos *flex-fuel* com a utilização exclusiva de etanol, ao invés da combinação de etanol e gasolina, através da relação entre estes dois combustíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

A empresa que provedeu os dados para este estudo tem uma política ativa de sustentabilidade. Nos últimos anos, houve um investimento na substituição gradativa de veículos movidos à gasolina por veículos *flex-fuel*, como forma de incentivar o uso de etanol. Porém, como levantamento preliminar para este trabalho, constatou-se que 91% dos abastecimentos daqueles veículos foram realizados utilizando-se gasolina. Assim, contemplou-se o uso dos veículos utilizados dessa frota no estado do Paraná. A empresa contava, ao final de 2014, com cerca de 8.600 empregados.

Abordagem de estudo

O ponto de partida deste trabalho é o histórico de abastecimento da frota da de veículos da empresa 3.869 veículos em 31 de dezembro de 2014. Desses, foram selecionados os veículos leves, segundo resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1995), com massa total máxima até 3.856 kg e massa do veículo até 2.720 kg.

Do total de veículos leves, 690 foram *flex-fuel* com anos de fabricação de 2004 a 2014. Contudo, foram desconsiderados os veículos de fabricados nos anos de 2004 e 2005, pois além da dificuldade na estimativa de rendimento, esses já foram vendidos no ano corrente, visto que atingiram a marca de 10 anos de meta de utilização pela companhia.

Por fim, os modelos foram consultados no Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular - PBE, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2015), e selecionados aqueles

que receberam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, com seus índices de eficiência estabelecidos em laboratório. Assim, a base de estudo foi concentrada em 508 veículos, distribuídos em 29 modelos (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos automotivos da frota *flex-fuel* homologados pelo INMETRO

Ano de fabricação	Modelo	Motorização	Número de veículos	Ano da etiquetagem no PBE
2006	Kombi Furgão	1.4	3	2011
2006	Saveiro	1.6	63	2010
2007	Kangoo AUT Express	1.6	15	2012
2007	Kangoo RL 1.6 Express	1.6	29	2012
2007	Kombi Standard	1.4	1	2011
2007	Uno Mille Fire	1.0	48	2009
2007	Parati 1.6 Plus	1.6	20	2010*
2007	Saveiro	1.6	63	2010
2008	Gol Geração 5	1.6	2	2009
2009	Dobló Cargo	1.8	16	2012
2009	Gol Geração 4	1.0	32	2009
2009	Parati 1.6 Plus	1.6	11	2010*
2009	Saveiro	1.6	30	2010
2010	Dobló Cargo Essence	1.8	1	2012
2010	Parati 1.6 Plus	1.6	2	2010*
2011	Dobló Attractiv	1.4	4	2012
2011	Dobló Cargo	1.4	7	2012
2011	Fiesta	1.0	3	2011**
2011	Kombi Standard	1.4	4	2911
2011	Palio Weekend ELX	1.4	47	2011***
2011	Parati 1.6 Plus	1.6	2	2010*
2011	Strada Fire	1.4	19	2011
2012	Dobló Attractiv	1.4	2	2012
2012	Palio Weekend ELX	1.4	15	2011***
2012	Strada Fire	1.4	17	2012
2012	Strada Locker Adventure	1.8	15	2012
2012	Uno Attractive Evo	1.4	33	2012
2014	ETIOS HB X	1.3	1	2014
2014	Sandero Expression	1.6	3	2015

Fonte: PBE (2015).

Em que: * Média dos motores Volkswagen Flex 1.6 de 2010; ** Médias dos motores Ford Flex 1.0 de 2011; e *** Média dos motores Fiat 310A2011 de 2011.

A metodologia do trabalho foi um comparativo de cenários entre o abastecimento com uso misto de combustíveis (Cenário 1) e o estimado com uso exclusivo de etanol hidratado (Cenário 2). Em seguida, foram calculados os valores pagos nos abastecimentos por distância percorrida e as emissões de GEE para os abastecimentos ocorridos em 2014. Esses forneceram a linha base para a comparação e, de posse dos valores discriminados por mês e por modelo de veículo, foi possível utilizar o método *Bottom Up* proposto pelo GHG Protocol Brasil (GHG, 2014). Com os valores estimados de distância executada pela frota, foi calculada a quantidade de etanol hidratado necessária para se percorrer a mesma quilometragem. Com isso, estimam-se os valores pagos e as emissões para o cenário do uso único do biocombustível (Cenário 2).

Fonte de dados

Os dados para este trabalho foram extraídos mediante solicitação de pesquisas parametrizadas. Eles contemplaram, além das informações do momento do abastecimento, as relativas à marca, modelo, ano de fabricação e motorização do veículo utilizado. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, criada pelo PBE em 2009, visa permitir a comparação da eficiência energética dos veículos de uma mesma categoria. Ela é afixada de forma voluntária nos modelos participantes e as tabelas publicadas no INMETRO. O PBE informa os valores de referência da quilometragem por litro, na cidade e na estrada, com diferentes combustíveis, além da classificação do veículo quanto à eficiência energética em sua categoria (INMETRO, 2015).

Uma vez que muitas variáveis influenciam no desempenho dos motores fora do laboratório, como o perfil do condutor, as condições climáticas, os padrões de tráfego, o uso de acessórios

(em especial do ar condicionado), as cargas impostas ao veículo, a tipologia e conservação do terreno e a pressão dos pneus, optou-se por comparar os desempenhos por meio de dados laboratoriais, de acordo com os padrões da NBR 7024 (INMETRO, 2010). Os dados de rendimentos dos modelos em estudo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Rendimentos dos modelos *flex-fuel* para os dois combustíveis aferidos pelo INMETRO

Ano da frota	Modelo	Rendimento (km/L)			
		Etanol	Gasolina	Cidade	Estrada
2006	Kombi Furgão	5,7	8,2	5,7	8,6
2006	Saveiro	6,7	8,3	9,9	12,3
2007	Kangoo AUT Express	6,1	9,0	7,4	10,9
2007	Kangoo RL 1.6 Expr	6,1	9,0	7,4	10,9
2007	Kombi Standard	5,7	8,2	5,7	8,6
2007	Uno Mille Fire	10,8	15,7	13,2	19,2
2007	Parati 1.6 Plus	9,2	13,5	13,5	19,6
2007	Saveiro	6,7	8,3	9,9	12,3
2008	Gol Geração 5	9,1	13,2	13,4	19,3
2009	Dobló Cargo	5,7	8,2	6,4	9,4
2009	Gol Geração 4	9,5	13,9	13,5	19,9
2009	Parati 1.6 Plus	9,2	13,5	13,5	19,6
2009	Saveiro	6,7	8,3	9,9	12,3
2010	Dobló Cargo Essence	5,7	8,2	6,4	9,4
2010	Parati 1.6 Plus	9,2	13,5	13,5	19,6
2011	Dobló Attractiv	5,9	6,4	8,6	9,5
2011	Dobló Cargo	5,9	6,4	8,6	9,5
2011	Fiesta	8,1	11,6	9,2	13,5
2011	Kombi Standard	5,7	8,2	5,7	8,6
2011	Palio Weekend ELX	7,1	10,5	8,0	11,8
2011	Parati 1.6 Plus	9,2	13,5	13,5	19,6
2011	Strada Fire	7,3	10,6	8,2	12,0
2012	Dobló Attractiv	5,9	6,4	8,6	9,5
2012	Palio Weekend ELX	7,1	10,5	8,0	11,8
2012	Strada Fire	7,3	10,6	8,2	12,0
2012	Strada Locker Adv.	6,5	9,3	7,3	10,6
2012	Uno Attractive Evo	7,3	10,6	9,1	13,3
2014	ETIOS HB X	8,5	9,0	12,5	13,0
2014	Sandero Expression	7,3	8,7	10,6	12,5

Fonte: PBE (2015).

Apesar do preço do combustível constar na planilha de abastecimento da empresa, para que este trabalho fosse mais abrangente e replicável, optou-se pela utilização da média de preços de venda ao consumidor no estado do Paraná, segregados por mês, obtida por meio do Relatório de Defesa da Concorrência, gerado pelo Sistema de Levantamento de Preços da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015), com amostras de 2.460 postos consultados em média mensal. Esses valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias mensais dos preços dos combustíveis nos postos do estado do Paraná

	Valor mensal (R\$) no ano de 2014											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Etanol	2,05	2,07	2,14	2,14	2,10	2,03	1,99	2,01	2,00	1,98	1,99	2,01
Gasolina	2,99	2,99	2,99	2,99	2,97	2,93	2,89	2,93	2,92	2,90	2,95	2,97

Fonte: ANP (2015).

Os principais gases de efeito estufa foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), em que seus fatores de emissão (FE) são listados na Tabela 4. O FE de determinado gás corresponde à quantidade emitida dele na queima de cada litro de combustível. Os valores empregados são os utilizados para o cálculo das emissões na ferramenta GHG Protocol Brasil (GHG, 2015), com base no Balanço Energético Nacional, publicado pelo Ministério de Minas e Energia.

Tabela 4. Fatores de emissão dos principais gases de efeito estufa emitidos por combustíveis em motores *flex-fuel*

Fatores de Emissão CO ₂			
Eanol Hidratado 1,457 kg CO ₂ / L	Etanol Anidro 1,526 kg CO ₂ / L	Gasolina pura 2,212 kg CO ₂ / L	
Fatores de Emissão CH ₄ e N ₂ O			
Tipo de abastecimento	Ano de fabricação	kg CH ₄ / L	kg N ₂ O / L
Automóvel <i>flex-fuel</i> abastecido etanol	2006	0,0002340	0,0001326
	2007	0,0002340	0,0001326
	2008	0,0000738	0,0001255
	2009	0,0002028	0,0001326
	2010	0,0004150	0,0001411
	2011	0,0003612	0,0001462
	2012	0,0002380	0,0001445
	2014	0,0002380	0,0001445
Automóvel <i>flex-fuel</i> abastecido a gasolina	2006	0,0002340	0,0002340
	2007	0,0002340	0,0002340
	2008	0,0002340	0,0002340
	2009	0,0000690	0,0002300
	2010	0,0001098	0,0002318
	2011	0,0000976	0,0002318
	2012	0,0001708	0,0002318
	2014	0,0001708	0,0002318

Fonte: GHG Protocol Brasil (2015).

Cálculos da linha-base (Cenário 1)

Como o uso dos automóveis é misto, tanto na estrada quanto na cidade, e não há indicações por trecho, o rendimento médio por combustível foi calculado para cada modelo por meio de média simples, a partir dos dados fornecidos pelo PBE (Tabela 2), conforme a Equação 1. Ao passo que, com os dados de rendimento de cada modelo e de abastecimento por mês, foi possível calcular a quilometragem rodada por meio da Equação 2; e com os dados de abastecimento e preço médio dos combustíveis por mês estimou-se os valores pagos com a Equação 3.

$$\text{ReMModeloCOMB} = (\text{ReESModeloCOMB} + \text{ReCIModeloCOMB}) / 2 \quad (1)$$

$$\text{KmTModeloMês} = (\text{TAbasEModeloMês} \times \text{ReMEModelo}) + (\text{TAbasGModeloMês} \times \text{ReMGModelo}) \quad (2)$$

$$\text{PgoTModeloMês} = (\text{TAbasEModeloMês} \times \text{PreçoEMês}) + (\text{TAbasGModeloMês} \times \text{PreçoGMês}) \quad (3)$$

Em que: ReMModeloCOMB = rendimento médio do combustível para determinado modelo (km/L); ReESModeloCOMB = rendimento médio do combustível na estrada para determinado modelo (km/L); /ReCIModeloCOMB = rendimento médio do combustível na cidade para determinado modelo (km/L); KmTModeloMês = quilometragem total do modelo de veículo em determinado mês (km/mês); TAbasEModeloMês = total de abastecimento de etanol do modelo de veículo em determinado mês (L); ReMEModelo = rendimento médio do etanol para o modelo (km/L); TAbasGModeloMês = total de abastecimento de gasolina do modelo de veículo em determinado mês (L); e ReMGModelo = rendimento médio da gasolina para o modelo (km/L); PgoTModeloMês = valor total de abastecimento pago para determinado modelo em determinado mês (R\$); PreçoEMês = preço médio de revenda do etanol hidratado no Paraná, em determinado mês (R\$); e PreçoGMês = preço médio de revenda da gasolina Tipo C no Paraná, em determinado mês (R\$).

A gasolina utilizada foi a do Tipo C, a qual é o resultado de uma mistura da gasolina pura (Tipo A) com etanol anidro. Para o cálculo mais preciso das emissões utilizando-se a gasolina, foi necessário que estabelecer as quantidades de cada uma das partes componentes a partir da Equação 4. Apesar de emitidos em menor quantidade, o metano e o óxido nitroso têm um potencial de aquecimento global muito maior que o gás carbônico, medido em Global Warming Potential – GWP. Assim, adotou-se o GWP igual uma unidade para o CO₂, ao passo que o GWP dos demais gases mostraram quanto determinado gás contribui para o efeito estufa em comparação ao CO₂ (IPCC, 2007). Por definição, a partir do GWP, foi calculada a emissão equivalente em carbono de cada gás, conforme a Equação 5.

$$T_{AbastCOMB} = T_{AbastGC} \times PropCOMB \quad (4)$$

$$CO2EQ = TEmis \times GWP \quad (5)$$

Em que: $T_{AbastCOMB}$ = total de abastecimento do combustível componente (L); $T_{AbastGC}$ = total de abastecimento de gasolina Tipo C (L); $PropCOMB$ = proporção do combustível componente na mistura de 25% para o etanol anidro e de 75% para a gasolina Tipo A; $CO2EQ$ = quantidade de emissões de CO_2 equivalentes à quantidade de emissões do gás em questão; $TEmis$ = total de emissões do gás em questão; e GWP = potencial de aquecimento global do gás em questão.

O cálculo total das emissões totais de GEE foi realizado a partir da soma da queima da biomassa e da queima do combustível fóssil, conforme as Equações 6 utilizadas na planilha de cálculo da ferramenta GHG Protocol Brasil (GHG, 2015).

$$TGEE = (TGEECO2 + TGEECO2EQ) / 1.000 \quad (6a)$$

$$TGEECO2 = (T_{AbasEtH} \times FECO2EtH) + (T_{AbasEtA} \times FECO2EtA) \quad (6b)$$

$$\begin{aligned} TGEECO2eq = & (T_{AbastEtH} \times FECH4EtH \times GWPCH4) + (T_{AbastEtH} \times FEN2OEtH \times GWPN2O) + \\ & +(T_{AbastGA} \times FECO2GA) + (T_{AbastGA} \times FECH4GA \times GWPCH4) + \\ & +(T_{AbastGA} \times FEN2OGA \times GWPN2O) \end{aligned} \quad (6c)$$

Em que: $TGEE$ = total das emissões de GEE, em toneladas de CO_2 equivalente; $TGEECO2$ = emissões diretas de dióxido de carbono (kg); $TGEECO2EQ$ = emissões equivalentes ao dióxido de carbono (kg); $T_{AbasEtH}$ = abastecimento total de etanol hidratado (L); $T_{AbasEtA}$ = porção total de etanol anidro nos abastecimentos com gasolina Tipo C (L); $T_{AbastGA}$ = porção total de gasolina Tipo A nos abastecimentos com gasolina Tipo C (L); $FECO2EtH$ = fator de Emissão do dióxido de carbono (CO_2) do etanol hidratado; $FECO2EtA$ = fator de emissão do dióxido de carbono (CO_2) do etanol anidro; $FECH4EtH$ = fator de emissão do metano (CH_4) do etanol hidratado; $FEN2OEtH$ = fator de emissão do óxido nitroso (N_2O) do etanol hidratado; $FECO2GA$ = fator de emissão do dióxido de carbono (CO_2) da gasolina pura (A); $FECH4GA$ = fator de emissão do metano (CH_4) da gasolina pura (Tipo A); $FEN2OGA$ = fator de emissão do óxido nitroso (N_2O) da gasolina pura (Tipo A); $GWPCH4$ = potencial de aquecimento global do metano (CH_4), i.e. 25; e $GWPN2O$ = potencial de aquecimento global do óxido nitroso (N_2O), i.e. 298.

Cálculos para a estimativa de uso exclusivo de etanol (Cenário 2)

A partir dos cálculos da quilometragem percorrida (Equação 2), dividindo-se pelo rendimento de cada veículo com etanol (Quadro 2), foi calculada a quantidade de litros desse combustível necessário para atingir a mesma quilometragem, conforme a Equação 7. Ao passo que, com a quantidade de etanol necessária por mês e com os preços mensais do etanol (Tabela 3), foram obtidos os valores caso a opção de abastecimento fosse exclusivamente com esse combustível.

Além da comparação do total geral, foi verificado qual a opção mais econômica no ato do abastecimento, por meio da Equação 8. Se a resposta da questão for afirmativa, a opção do abastecimento com o etanol foi economicamente mais vantajosa. Da mesma maneira, com a quantidade calculada de etanol necessária e a mesma metodologia utilizada para Cenário 1, chegou-se na quantidade de CO_2 equivalente emitida no Cenário 2.

$$T_{AbastEEstimado} = KMREAL / ReE \text{ Modelo} \quad (7)$$

$$RENDETANOL / RENDGASOLINA > PREÇOETANOL / PREÇOGASOLINA \quad (8)$$

Em que: $T_{AbastEEstimado}$ = quantidade necessária de etanol hidratado para percorrer a mesma quilometragem executada (L); $KMREAL$ = quilometragem realmente executada (km); $ReE \text{ Modelo}$ = rendimento do etanol para o modelo (km/L); $RENDE(COMBUSTÍVEL)$ = rendimento do combustível para o veículo em estudo; e $PREÇO(COMBUSTÍVEL)$ = preço do combustível no momento do abastecimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quilometragem rodada

A Tabela 5 demonstra o cálculo da quilometragem rodada a partir da somatória de abastecimentos, para o mês de janeiro, a título de exemplo.

Tabela 5. Exemplo de cálculos de quilometragem rodada para mês de janeiro/2014

Ano da frota	Modelo	Rendimento (km/L)		Abastecimento (L)		Km rodado		
		Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina	Total
2006	Kombi Furgão	6,95	7,15		62,3		445,4	445,4
2006	Saveiro	7,50	11,10	3.085,9	6.444,7	23.144,3	71.536,2	94.680,4
2007	Kangoo AUT Express	7,55	9,15	198,5	810,3	1.498,7	7.414,2	8.912,9
2007	Kangoo RL 1.6 Expr.	7,55	9,15	299,5	2.909,2	2.261,2	26.619,2	28.880,4
2007	Kombi Standard	6,95	7,15		57,4		410,4	410,4
2007	Uno Mille Fire	13,25	16,20	1248,5	3.883,4	16.542,6	62.911,1	79.453,7
2007	Parati 1.6 Plus	11,32	16,55	834,1	1.149,1	9.439,2	19.017,6	28.456,8
2007	Saveiro	7,50	11,10	2.522,0	4.606,6	18.915,0	51.133,3	70.048,3
2008	Gol Geração 5	11,15	16,3		84,2		1.376,7	1.376,7
2009	Dobló Cargo	6,95	7,90	122,5	1.227,0	851,4	9.693,3	10.544,7
2009	Gol Geração 4	11,70	16,70	1.170,1	2.002,8	13.690,2	33.446,8	47.136,9
2009	Parati 1.6 Plus	11,32	16,55	429,1	1.070,1	4.856,0	17.710,2	22.566,1
2009	Saveiro	7,50	11,10	1.178,3	3.410,4	8.837,3	37.855,4	46.692,7
2010	Dobló Cargo	6,95	7,90		271,2		2.142,5	2.142,5
2010	Parati 1.6 Plus	11,32	16,55		532,8		8.817,8	8.817,8
2011	Dobló Attractiv	6,15	9,05		566,3		5.125,0	5.125,0
2011	Dobló Cargo	6,15	9,05	49,5	1.195,5	304,4	10.819,3	11.123,7
2011	Fiesta	9,85	11,35	180,6	85,2	1.778,9	967,0	2.745,9
2011	Kombi Standard	6,95	7,15	107,7	435,0	748,5	3.110,3	3.858,8
2011	Palio Weekend ELX	8,79	9,90	2.223,5	4.213,8	19.544,6	41.716,6	61.261,2
2011	Parati 1.6 Plus	11,32	16,55		301,7		4.993,1	4.993,1
2011	Strada Fire	8,9	10,10	2.060,9	1.434,6	18.445,1	14.489,5	32.934,5
2012	Dobló Attractiv	6,15	9,05	44,3	319,7	272,4	2.893,3	3.165,7
2012	Palio Weekend ELX	8,79	9,90	591,4	1.853,1	5.198,4	18.345,7	23.544,1
2012	Strada Fire	8,95	10,10	558,2	1.703,1	4.995,9	17.201,3	22.197,2
2012	Strada Locker Adv.	7,90	8,95	422,6	2.885,2	3.338,5	25.822,5	29.161,1
2012	Uno Attractive	8,95	11,20	1.436,6	4.498,5	12.857,6	50.383,2	63.240,8

Abastecimento

A quantidade de combustível abastecido coletada na base de dados e estimada no uso exclusivo do etanol (Equação 7), por ano de fabricação do modelo. Assim, notou-se aumento líquido de 26% na quantidade de abastecimento necessário (Tabela 6).

Tabela 6. Total de combustíveis utilizado por ano de fabricação

Ano da frota	Cenário 1				Cenário 2	
	Consumo real em 2014				Consumo estimado	
	Etanol hidratado	Gasolina Tipo C			Etanol hidratado	
		Total	Gasolina Tipo A (75%)	Etanol Anidro (25%)		
2006	18.235	85.576	64.182	21.394	144.085	
2007	34.504	206.349	154.762	51.587	312.583	
2008		2.624	1.968	656	3.848	
2009	16.456	108.889	81.667	27.222	168.444	
2010		7.092	5.319	1.773	9.919	
2011	32.357	124.951	93.713	31.238	181.536	
2012	20.996	144.308	108.231	36.077	191.723	
2014	44	156	117	39	270	
Totais	122.593	679.945	509.959	169.986	1.012.408	

Valores pagos nos abastecimentos

A Tabela 7 apresenta os valores calculados de pagamento dos abastecimentos por categorias

no mês de janeiro de 2014, a título de exemplo. Os mesmos cálculos foram realizados por mês para o ano do estudo. Assim, com a quantidade de combustível necessário por mês e com os valores mensais do etanol (Tabela 3), obtém-se as estimativas dos valores pagos caso a opção de abastecimento fosse exclusivamente com etanol.

Tabela 7. Exemplos de cálculos de valores pagos por categorias no mês de janeiro/2014

Ano	Modelo	Abastecimento (L)		Valores pagos (R\$)	
		Etanol	Gasolina	Etanol (R\$ 2.046 / L)	Gasolina (R\$ 2.994 / L)
2006	Kombi Furgão		62,3		186,53
2006	Saveiro	3.085,9	6.444,7	6.313,8	19.295,4
2007	Kangoo AUT Express	198,5	810,3	406,1	2.426,0
2007	Kangoo RL 1.6 Expr.	299,5	2.909,2	612,8	8.710,1
2007	Kombi Standard		57,4		171,9
2007	Uno Mille Fire	1.248,5	3.883,4	2.554,4	11.626,9
2007	Parati 1.6 Plus	834,1	1.149,1	1.706,6	3.440,4
2007	Saveiro	2.522,0	4.606,6	5.160,0	13.792,2
2008	Gol Geração 5		84,2		252,1
2009	Dobló Cargo	122,5	1.227,0	250,6	3.673,6
2009	Gol Geração 4	1.170,1	2.002,8	2.394,0	5.996,4
2009	Parati 1.6 Plus	429,1	1.070,1	877,9	3.203,9
2009	Saveiro	1.178,3	3.410,4	2.410,8	10.210,7
2010	Dobló Cargo		271,2		812,0
2010	Parati 1.6 Plus		532,8		1.595,2
2011	Dobló Attractiv		566,3		1.695,5
2011	Dobló Cargo	49,5	1.195,5	101,3	3.579,3
2011	Fiesta	180,6	85,2	369,5	255,1
2011	Kombi Standard	107,7	435,0	220,4	1.302,4
2011	Palio Week ELX	2.223,5	4.213,8	4.549,3	12.616,1
2011	Parati 1.6 Plus		301,7		903,3
2011	Strada Fire	2.060,9	1.434,6	4.216,6	4.295,2
2012	Dobló Attractiv	44,3	319,7	90,6	957,2
2012	Palio Week ELX	591,4	1.853,1	1.210,0	5.548,2
2012	Strada Fire	558,2	1.703,1	1.142,1	5.099,1
2012	Strada Locker Advent	422,6	2.885,2	864,6	8.638,3
2012	Uno Attractive Evo	1.436,6	4.498,5	2.939,3	13.468,5
					16.407,79

A Tabela 8 apresenta a diferença de valores a serem pagos para cada 100 km rodados entre os dois cenários. Os valores negativos demonstram que não há economia, o que está de acordo com a equação comparativa de vantagem econômica da opção etanol (Equação 8), mostrando a vantagem da adoção desse combustível quando a relação entre os rendimentos dos motores de determinado veículo com cada combustível for maior que a relação entre os preços dos dois combustíveis no momento do abastecimento.

No caso estudado, 99 pontos foram negativos, de um total de 348, porém a representatividade desses casos foi baixa. A média dos valores positivos indicativos de economia foi de R\$ 4,97 a cada 100 km, enquanto a média dos valores negativos foi de apenas -R\$ 0,55 para a mesma distância. Portanto, no geral, a vantagem foi do biocombustível. O comparativo mostrou uma economia de 8,5% nos recursos financeiros com a adoção exclusiva do etanol nos abastecimentos.

Emissões de gases de efeito estufa

As emissões totais estimadas em CO₂ equivalente caso os veículos do estudo fossem abastecidos com etanol foi de 1.522,9 toneladas métricas. Isso equivale a uma redução de 6,1% do montante realmente emitido utilizando predominantemente o combustível fóssil. Contudo, o CO₂ emitido referente à biomassa correspondeu ao carbono estocado a partir da retirada da atmosfera pelo processo de fotossíntese no cultivo da cana-de-açúcar (SANTOS, 2008). Considerando isso, temos redução no balanço final das emissões de CO₂eq de 1.183,8 toneladas. O que corresponderia a uma redução de 96%. Esses valores são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8. Demonstrativo de economia entre o cenário utilizando bi-combustível e o cenário estimado utilizando somente etanol, por modelo de veículo, mês a mês durante 2014 (em R\$/100 km)

Rendimentos médios	Relação entre as médias de preços do litro do etanol e da gasolina												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
	68,3 %	69,0 %	71,5 %	71,8 %	70,6 %	69,2 %	68,7 %	68,5 %	68,2 %	68,1 %	67,4 %	67,5 %	
2006													
Kombi Furgão	97,2%	12,44	12,13	11,06	10,93	11,37	11,81	12,13	11,36	12,19	12,14	12,64	8,77
Saveiro	67,6%	-0,23	-0,42	-1,40	-1,58	-1,05	-0,53	-0,42	-0,34	-0,23	-0,21	0,04	0,01
2007													
Kangoo Aut Exp	82,5%	4,68	4,95	4,27	4,07	4,60	4,93	4,95	4,96	5,36	5,13	5,32	5,41
Kangoo RL Expr	82,5%	5,18	5,15	4,24	4,25	4,68	5,17	5,15	5,44	5,45	5,53	5,81	5,78
Kombi Standard	97,2%	12,44	12,13	-	10,93	11,37	11,81	12,13	-	12,19	12,14	12,64	7,70
Uno Mille Fire	81,8%	2,41	2,20	2,00	2,14	2,38	2,66	2,20	2,57	2,51	2,56	2,72	2,65
Parati 1.6 Plus	68,4%	0,01	-0,13	-0,72	-0,79	-0,56	-0,20	-0,13	-0,03	0,04	0,06	0,22	0,20
Saveiro	67,6%	-0,22	-0,45	-1,41	-1,49	-1,12	-0,60	-0,45	-0,32	-0,22	-0,19	0,04	0,01
2008													
Gol Geração 5	68,2%	-0,04	-0,22	-0,89	-0,96	-	-0,26	-0,22	-0,08	-0,01	0,02	0,20	0,17
2009													
Dobló Cargo	88,0%	7,78	7,80	6,96	6,96	7,42	7,92	7,80	8,05	8,31	8,15	8,40	8,29
Gol Geração 4	70,1%	0,31	0,20	-0,33	-0,41	-0,13	0,20	0,20	0,34	0,42	0,40	0,61	0,58
Parati 1.6 Plus	68,4%	0,01	-0,13	-0,62	-0,81	-0,55	-0,19	-0,13	-0,03	0,04	0,06	0,19	0,21
Saveiro	67,6%	-0,25	-0,51	-1,44	-1,52	-1,15	-0,57	-0,51	-0,33	-0,25	-0,20	0,04	0,01
2010													
Dobló Cargo	88,0%	8,46	8,16	7,08	-	-	-	8,16	8,22	8,31	8,29	-	8,74
Parati 1.6 Plus	68,4%	0,01	-0,17	-0,83	-0,89	-0,58	-0,21	-0,17	-0,03	0,04	0,06	0,24	0,22
2011													
Dobló Attractiv	68,0%	-0,19	-0,52	-1,73	-1,85	-1,28	-0,59	-0,52	-0,26	-0,13	-0,09	0,24	0,20
Dobló Cargo	68,0%	-0,18	-0,44	-1,59	-1,75	-1,16	-0,56	-0,44	-0,24	-0,13	-0,09	0,24	0,19
Fiesta	86,8%	1,97	1,30	2,88	2,84	-	3,90	1,30	2,94	4,85	3,30	3,79	4,20
Kombi Standard	97,2%	10,02	7,36	8,37	10,93	8,90	8,94	7,36	9,97	11,45	11,36	10,91	11,29
Palio Week ELX	88,8%	4,74	4,71	4,96	5,38	5,72	6,19	4,71	6,08	6,10	5,91	5,98	6,15
Parati 1.6 Plus	68,4%	0,01	-0,17	-0,83	-0,49	-0,58	-0,21	-0,17	-0,03	0,04	0,06	0,19	0,18
Strada Fire	88,6%	2,98	2,56	3,92	5,21	5,76	5,27	2,56	3,72	3,86	3,42	4,01	4,35
2012													
Dobló Attractiv	68,0%	-0,17	-0,52	-1,73	-1,85	-1,28	-0,59	-0,52	-0,26	-0,13	-0,09	0,24	0,20
Palio Week ELX	88,8%	5,43	5,19	5,12	5,64	6,00	6,53	5,19	6,54	6,33	6,29	6,92	6,80
Strada Fire	88,6%	5,26	4,87	4,92	5,10	5,28	5,70	4,87	6,13	5,33	5,43	5,68	5,37
Strada Locker	88,3%	6,69	6,45	5,49	5,97	6,15	6,89	6,45	7,17	6,69	7,30	7,58	7,35
Uno Attractive E	79,9%	3,08	2,78	2,57	2,43	2,69	3,13	2,78	3,29	3,33	3,40	3,76	3,61
2013													
ETIOS HB X	68,6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	-	
Sandero Express	69,3%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	

Em que: cores vermelhas indicam que os valores da relação entre os rendimentos são maiores que os valores da relação dos preços.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Por meio dos dados de abastecimento de uma frota de 508 veículos leves tipo *flex-fuel*, de modelos que receberam selo de eficiência do INMETRO, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular e a metodologia *Botton-Up* e a ferramenta GHG Protocol Brasil, calculou-se o valor total pago de abastecimento e a quantidade de emissões de gases de efeito estufa para dois cenários: a) histórico, com o abastecimento utilizando-se tanto gasolina quanto etanol; e b) estimado, com o abastecimento exclusivo de etanol necessário para cobrir a mesma distância. Assim, mesmo com um volume bruto de abastecimento 26% maior do etanol, a opção da escolha exclusiva pelo biocombustível demonstrou uma economia em torno de 10%. Essa percentagem, porém, foi diferente para cada modelo de veículo.

A diferença entre o preço ao consumidor dos dois combustíveis foi outra variável importante. Este trabalho indicou a comparação entre a razão de eficiências aferidas pelo INMETRO em conjunto

à razão entre os preços dos combustíveis no momento do abastecimento, sendo uma forma de obter a maior economia, caso seja essa a única variável de interesse. Como exemplo, pode-se utilizar a média da relação entre a eficiência da utilização do etanol e da gasolina nos veículos, sendo de 78,7% e superior os 70% da linha de corte. Isso indica que, em média, se a relação entre o preço do etanol e da gasolina for menor que esse resultado, é válida a escolha da opção não fóssil.

Tabela 9. Emissões de gases de efeito estufa, em toneladas CO_{2eq}

Abastecimento	GEE emitidos (CO _{2eq})	Cenário 1	Cenário 2
Etanol Hidratado	CO ₂ biomassa	178,6	1475,1
	CH ₄ etanol	0,8	6,4
	N ₂ O etanol	5,0	41,4
	Total CO ₂ equivalente	5,8	47,8
Gasolina Tipo C	CO ₂ biomassa (etanol anidro)	259,4	
	CO ₂ direto (gasolina)	1.128,0	
	CH ₄	2,9	
	N ₂ O	47,1	
Total	Total CO ₂ equivalente	1.178,0	
	CO ₂ biomassa	438,0	1.475,1
	Total CO ₂ equivalente	1.183,8	47,8
	Total	1.621,9	1.522,9

Contudo, o ganho ambiental também deve ser considerado e, mesmo sem considerar o balanço energético na produção do etanol a partir do bagaço da cana-de-açúcar, há vantagem no uso do biocombustível. Com isso, esse trabalho apontou para uma diminuição de emissões de GEE na casa dos 6%, somente considerando a queima do combustível, sendo uma redução de impacto se estendida a toda a frota do estado e, por extensão, do país, além de contribuir para o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética, principalmente no setor de transportes, ainda muito dependente da opção fóssil.

Apesar da vantagem econômica da opção mais sustentável nas condições atuais de mercado, a relação entre os preços dos dois combustíveis apresenta muita variação, uma vez que depende das políticas públicas, do mercado internacional, das safras da cana-de-açúcar, da concorrência do plantio de outras culturas pela mesma área, além de outros fatores.

Dessa maneira, recomenda-se a adoção da exploração dos ganhos econômicos indiretos da escolha do biocombustível, como, por exemplo, o ganho com a imagem e a reputação empresarial. As opções de transportes com menores emissores de GEE contribuem na obtenção de certificações verdes, como o selo americano LEED e a francesa AQUA – HQE.

Seja qual for a política de comunicação da empresa, a opção por alternativas mais sustentáveis tem um potencial de valoração da marca e deve ser explorada, pois, além de servir como potencial competitivo, incentiva toda a cadeia de produção e comercialização a adotar opções semelhantes, contribuindo para uma melhora geral na qualidade ambiental do planeta.

REFERÊNCIAS

- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível. **Evolução do mercado de combustíveis e derivados: 2000-2012.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=711>> Acesso em: 15/08/2015.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível. **Boletim anual de preços – preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional.** Rio de Janeiro: ANP, 2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=73131>> Acesso em: 15/08/2015.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível. **Relatório de defesa da concorrência, gerado pelo sistema de levantamento de preços.** 2015. Disponível em:<http://www.anp.gov.br/preco/prc/resumo_por_estado_index.asp> Acesso em: 15/08/2015.
- ANDRADE, A. L. C.; MATTEI, L. Consumo energético e emissões de CO₂: uma análise do setor de transportes brasileiro. In: IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, **Anais...** Brasília: 2011.

COLLARES, D. G. **Embrapa agroenergia apresenta balanço energético do etanol.** Disponível em: <<http://www.yete.com.br/yete/index.php?&view=article&id=72>> Acesso em: 12/08/2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 15 de 13 de dezembro de 1995.** 1995. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1995_015.pdf> Acesso em: 13/08/2015.

CIMA – Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool. **Resolução CIMA nº 1 de 4 de março de 2015.** 2015. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/87237712/dou-secao-1-06-03-2015-pg-17>> Acesso em: 13/08/2015.

FILHO, A. A. V.; RAMOS, P. Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana de açúcar. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 7, 2006.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. 2015. **Tabelas PBE Veicular.** Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas_pbe_veicular.asp> Acesso em: 15/08/2015.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Metodologia para divulgação de dados de consumo veicular.** 2010. Disponível em: <https://http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Metodologia_Consumo_Veicular.pdf> Acesso em: 15/08/2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth assessment report: climate change - 2007.** 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ts.html>. Acesso em 15/08/2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2014 synthesis report fifth assessment report.** 2014. Disponível em: <<http://ar5-syr.ipcc.ch/>> Acesso em: 15/08/2015.

MAPA – Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria MAPA nº 105 de 28 de fevereiro de 2013.** 2013.

SANTOS, A. C. **A Influência do uso do etanol combustível nas emissões dos gases de efeito estufa nos motores ciclo Otto**, 109 p. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Ferramenta de cálculo.** 2014. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calcudo>> Acesso em: 15/08/2015.