

*Inovação e Sustentabilidade sob a Ótica da
Economia Ecológica. VITÓRIA/ES, 17 A 21 DE SETEMBRO DE 2013.
Hotel Vitória Grand Hall*

**X ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA
DE ECONOMIA ECOLÓGICA**



X ENCONTRO DA ECOECO

Setembro de 2013

Vitória - ES - Brasil

IMPACTO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA RENOVÁVEL: O ETANOL NO BRASIL

Paulo Roberto Aparecido dos Santos e Silva (UFSJ) - travisbourdon@hotmail.com
Economista, pelo Curso de Ciências Econômicas da UFSJ

Simone de Faria Narciso Shiki (UFSJ) - sfnshiki@ufs.edu.br
Economista, professora do Departamento de Ciências Econômicas - UFSJ

Shigeo Shiki (UFV) - shigeo@ufv.br
Economista, professor do Departamento de Economia - UFV

Patrícia Lopes Rosado (UFSJ) - patyrosado@ufs.edu.br
Economista, professora do Departamento de Ciências Econômicas - UFSJ

Impacto ambiental da produção e consumo de energia renovável – o etanol no Brasil

Eixo Temático: Apresentação de trabalhos

Seção: C – Mudanças Climáticas

Subseção: Energias Limpas Renováveis

Resumo

Este trabalho discute o impacto ambiental do consumo de etanol como combustível renovável substituto no Brasil. Entre as características do Brasil está o crescente número de carros Flex Fuel, permitindo perguntar se o aumento do volume de emissões evitadas de CO₂ estão compensando as emissões produzidas pelo consumo de combustíveis fósseis. A metodologia para a estimação das emissões de CO₂ foi o Top Down, referenciada pelo IPCC, com o uso de dados do consumo aparente de combustíveis. Como resultado tem-se que as emissões de CO₂ aumentaram no Brasil, mesmo com o uso de etanol. Existe uma mudança na tendência de emissões produzidas pelo consumo de gasolina e etanol, mas o total de emissões de CO₂ aumentou de 34 milhões de tCO₂ em 1970 a mais de 178 milhões de tCO₂ em 2010. A mesma tendência foi observada em termos per capita. Em suma, mesmo não provendo uma trajetória descendente de emissões, o etanol evitou que a trajetória ascendente fosse ainda maior, oferecendo elementos de contribuição ao consumo sustentável.

Abstract

This paper attempts to discuss the environmental impact of the consumption of ethanol as a substitute renewable fuel in Brazil. Brazil has specific characteristics that allow us to question whether the growing production and consumption of ethanol and the increasing number of Flex Fuel cars, are increasing the volume of avoided CO₂ emissions are offsetting the emissions produced by consumption of fossil fuels. The methodology for estimating CO₂ emissions was the Top Down, referenced by the IPCC, which use the apparent consumption of fuels. As a result, the emission of CO₂ has increased in Brazil, even with the use of ethanol. There is a shifting trend in emissions for gasoline and ethanol, but the total emission has an upward trend, rising from 34 million tCO₂ in 1970 to more than 178 million tCO₂ in 2010. The same trend was observed in per capita terms. So, even not providing a downward trajectory emission, alcohol prevented the trajectory was even greater, proving to be an element contributing to sustainable consumption.

Palavras-chave

Consumo sustentável; etanol, Brasil

INTRODUÇÃO

O padrão de produção e consumo dominante na economia moderna mundial desde a Revolução Industrial se baseia no uso de energia fóssil, a principal fonte de impacto ambiental em escala global, como as mudanças climáticas. Para a mitigação deste impacto, em grande medida irreversível, o consumo de energia renovável tem sido uma das alternativas no caso brasileiro, sobretudo o etanol extraído da cana de açúcar e do biodiesel a partir de diversas fontes oleaginosas, sobretudo a soja. A substituição do combustível fóssil como o gasolina pela produção e consumo de etanol combustível é a medida da sustentabilidade no consumo ou consumo sustentável de energia. Este é o tema deste trabalho.

De acordo com Portilho e Russo (2008), foi na década de 1990 que se intensificou a percepção do impacto ambiental a partir dos padrões e níveis de produção e consumo.

No relatório final da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a principal causa da continuada deterioração do ambiente global é o padrão insustentável de consumo e produção. Reconhecendo essa relação de causa e efeito, foi assinado o Plano de Johannesburgo, na Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, em 2002. No Plano, entre os pontos abordados, ressaltou-se que mudanças fundamentais nas direções da produção e consumo são indispensáveis para alcançar o desenvolvimento sustentável global. (UNEP, 2010)

Neste contexto, o consumo de energia fóssil apresenta-se altamente problemático, pois tem impacto duplo, pois além de se tratar de um recurso natural não renovável, seu consumo emite gases de efeito estufa.

De acordo com Masera et. al. (2004), em termos de contaminação, a emissão de veículos é a mais séria, principalmente nos grandes centros urbanos. Apesar dos progressos no controle da contaminação do ar, o crescimento do número de veículos pode anular esses progressos. “A relação entre o aumento da renda da população e a aquisição de veículos, facilitada pela liberalização de importações de veículos usados poderia resultar no crescimento explosivo do número de carros nas cidades em desenvolvimento”. (MASERA et al., 2004, 47)

Neste sentido, o Brasil possui algumas especificidades que permitem questionar se há essa anulação ou não, referenciada por Masera et.al. (2004). Como o Brasil possui uma produção de etanol, o aumento da frota de carros *Flex Fuel* não estaria reduzindo esse consumo de gasolina? Desse questionamento deriva-se outra observação, pois a distribuição da produção brasileira se dá, no território nacional, essencialmente via rodovias, com caminhões a base de diesel, que geram emissões de gases de efeito estufa mais impactantes que a gasolina.

Portanto, esta pesquisa tem como pergunta científica: Qual é o impacto gerado pelo consumo de gasolina, diesel e etanol no Brasil, em termos de emissão de dióxido de carbono?

A hipótese que permeia esta pesquisa é de que apesar do consumo de etanol representar uma redução na emissão de gases de efeito estufa, historicamente o Brasil tem aumentado esta emissão em termos totais. Acredita-se que o ponto para alcançar um processo decrescente de emissões ainda não foi atingido.

Nestes termos, este trabalho tem como objetivo geral caracterizar o nível de sustentabilidade do consumo brasileiro, com base no setor energético. Já como objetivos específicos tem como foco estimar o nível de emissão de gases de efeito estufa derivado do consumo de combustíveis fósseis e renovável, mais especificamente da gasolina, do óleo diesel e do etanol, e estabelecer o ponto de redução de combustíveis fósseis por renováveis, a partir do qual se começa a reduzir a emissão de poluentes.

BALANÇO DE MATERIAIS E O PADRÃO DE PRODUÇÃO E CONSUMO

A economia pode ser considerada como um sistema que obtém do meio ambiente materiais que são transformados pelo processo produtivo, bem como a energia oriunda principalmente dos combustíveis fósseis para proporcionar transformações nesses materiais e devolve essa energia ao ecossistema, na forma de resíduos e rejeitos.

Para Mueller (1996), nesse contexto, a análise econômica incorpora o princípio do balanço de materiais, passando a reconhecer:

- (a) que há um processo unidirecional e irreversível, pelo menos no caso da energia (b) que, em um mundo finito, esse processo

unidirecional e a irreversibilidade ligada a ele, podem levar a crescente escassez de certos materiais; e (c) que quantidades cada vez maiores de rejeitos e de poluição geradas pelo sistema econômico poderão exceder a capacidade de assimilação do ecossistema, causando degradação ambiental que, no extremo causará graves consequências locais, ou mesmo globais. (MUELLER, 1996, p.265).

Portanto, segundo Mueller (1996), a teoria baseada no balanço de materiais exigiu que o processo econômico fosse visto na forma de fluxos lineares e não mais circulares. Ou seja, a energia extraída pelo sistema econômico do sistema maior passa pelos processos de produção e de consumo e voltam ao ecossistema como resíduo ou poluição. Uma vez que a matéria e a energia não podem ser criadas do nada, os materiais usados na produção precisam ser retirados do meio ambiente, reduzindo a quantidade dos recursos naturais, e como não podem ser destruídas, a matéria e a energia degradadas acabam voltando ao meio ambiente, originando a poluição e contribuindo para o aumento dos chamados gases do efeito estufa (GEE's). (MUELLER, 1996, p.266).

Com a presença dos recursos naturais retirados da natureza, bem como os resíduos provenientes do consumo e da produção, a economia passa a estar integrada a um sistema maior, que é o sistema ambiental, sujeita às suas limitações de recurso e de sumidouro para os resíduos. Este é o balanço físico de materiais que permite analisar a mudança no fluxo com a substituição de um tipo de material por outro, como no caso a gasolina pelo etanol, por exemplo.

Este reconhecimento da necessidade do balanço de materiais faz surgir “Economia da Sobrevivência”, ao quebrar o velho paradigma graças à contribuição seminal de Georgescu-Roegen, que utiliza as leis da termodinâmica para explicar a dinâmica de longo prazo num sistema aberto em que se insere a economia. (CECHIN e MAGALHÃES, 2007)

Partindo do pressuposto das duas leis da termodinâmica, as implicações de uma sociedade de consumo são temerárias, dadas suas características de sociedade de mercado, de acumulação de cultura material, de consumo de massas e de altas taxas de consumo e de descarte. (BARBOSA, 2008). Neste contexto, a sociedade atual vai ao sentido oposto ao de um consumo sustentável ou de forma mais ampla de um desenvolvimento sustentável.

O debate a cerca da problemática ambiental serviu para contrariar a idéia econômica de crescimento sem limite, mostrando que existe sim, um limite para o crescimento econômico. Sachs (2000) ainda salienta a importância do papel social, político e cultural, fatores de extrema importância para que se alcance um nível desejável de desenvolvimento. (SACHS, 2000, p.87)

O consumo sustentável foi definido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, como:

...“o uso de bens e serviços que atendam às necessidades básicas, proporcionando uma melhor qualidade de vida, enquanto minimizam o uso dos recursos naturais e materiais tóxicos, a geração de resíduos e a emissão de poluentes durante todo ciclo de vida do produto ou do serviço, de modo que não se coloque em risco as necessidades das futuras gerações”. (apud MASERA ET AL, 2004, p. 14).

Como pode ser verificado, o conceito de consumo sustentável remete tanto para o uso de forma eficiente dos recursos naturais, para que haja sua preservação e potencial utilização pelas gerações futuras, como pelo lado da geração de resíduos sólidos ou gasosos, que podem contaminar o meio ambiente local, regional e/ou global.

De acordo com Altvater (1992), o uso de fontes fósseis de energia para o aumento da produtividade econômica gerou um processo paradoxal. Se por um lado ampliam sua independência das fontes de energia da biosfera, trocando o cavalo e o boi pelo trator, por outro lado, utilizam as ilhas de baixa entropia fósseis, como petróleo.

Frente a essa condição insustentável, várias alternativas vêm sendo estudadas para minimizar os danos já causados pela ação antrópica ao meio ambiente, uma delas é a utilização de fontes renováveis de energia, como por exemplo, a substituição da gasolina pelo etanol como combustível automotivo. Essa alternativa já se encontra disponível no Brasil desde 2003, permitindo que os proprietários dos automóveis equipados com tal tecnologia, mais popularmente conhecida como *Flex-Fuel*, possam escolher qual combustível será mais adequado para abastecer o seu carro seja ele a gasolina ou álcool.

Nestes termos, os próximos capítulos vão explorar essa questão do uso de energia fóssil e do etanol, buscando analisar esse processo de troca de fontes

energéticas no Brasil como uma solução para o consumo sustentável de energia, no setor de transporte.

II - METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa consistem na estimação do consumo aparente de energia oriunda de diversas fontes de combustíveis no período de 1970 a 2010 e suas emissões em dióxido de carbono-equivalente e comparar os diversos resultados.

Os dados de combustíveis da pesquisa forma aqueles disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de consumo aparente, para uma série histórica de 1970 a 2010. A escolha do período permite uma comparação entre anos anteriores ao PROALCOOL, o período de implantação e posterior crise e o seu fortalecimento, a partir dos relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), demonstrando que os problemas climáticos de aquecimento global estão vinculados à ação antrópica. Além disso, foram utilizados dados complementares para análise, provenientes da ANFAVEA e DENATRAN.

Com relação à estimativa de emissão de dióxido de carbono (CO₂), o método adotado foi o *Top Down*, utilizado por Gomes et. al. (2010) e referenciado pelo IPCC, no qual se utiliza o consumo aparente dos combustíveis para estimar as emissões.

Primeiro, é necessário transformar o consumo aparente (CA) em consumo de energia (CE) em terajoule (T) e posteriormente converter em toneladas de carbono. Para isso é necessário a utilização do fator de conversão (Fconv) e o do fator de correção (Fcorr). O (Fconv) é necessário se o (CA) não estiver em tonelada equivalente petróleo (tep), mas sim em m³. Já o (Fcorr) serve para transformar do conteúdo energético com base no PCS (Potencial Calorífico Superior), para PCI (Potencial Calorífico Inferior), conforme recomendação do IPCC. Os fatores de correção utilizados pela Comunicação Nacional são de (0,95) para combustíveis sólidos e líquidos e (0,90) para combustíveis gasosos. De acordo com Gomes et al. (2010), no Brasil, o conteúdo de 1 tep é equivalente a 10800 megacalorias (Mcal), que correspondem a $45,2 \times 10^{-3}$ TJ. Assim, a

transformação de consumo aparente em consumo de energia em TJ é representada pela equação (1):

$$CE = CA.F_{conv}.45,2. 10^{-3}.F_{corr TJ} \quad (1)$$

Para transformar o consumo de energia em terajoule em quantidade de carbono (QC) emitida na queima do combustível em toneladas, é necessário o fator de emissão (Femis) de cada combustível, conforme a equação (2).

$$QC = CE.Femis tC \quad (2)$$

A partir da QC é possível obter o equivalente em dióxido de carbono (ECO₂). Segundo Gomes et. al. (2010), como em cada 12 tC corresponde a 44 tCO₂, então:

$$ECO_2 = QC.44/12 tCO_2 \quad (3)$$

Os fatores de conversão, correção e emissão foram obtidos no trabalho de Mattos (2001), que teve como referência o Balanço Energético Nacional do MME, e estão na tabela 1.

Para eliminar o efeito da dimensão populacional sobre os dados de consumo, é relevante considerar também o (ECO₂) *per capita*, a partir da sua divisão pelo total da população a cada ano. O total da população é possível pelo censo demográfico, contudo para os anos que não foram realizados os censos, foram utilizados os dados do IPEADATA, que trabalham com interpolação cúbica.

Para o cálculo da taxa de crescimento das emissões foi utilizado a equação 4, desmembrada na sequência das equações seguintes, de forma a obter a taxa de crescimento (**r**). As variáveis V_n e V_o correspondem à emissão nos períodos final e inicial respectivamente, e a variável n é o período de análise.

Além do cálculo da emissão de dióxido de carbono, foram calculadas as emissões evitadas para os anos analisados. Para tanto, o (CE) correspondente ao álcool hidratado e ao álcool anidro foram transformados na (QC) utilizando o (Femis) da gasolina. Esse valor de emissão do carbono foi somado ao total emitido pela gasolina e o diesel. Portanto a diferença desse total com o total de emissão inicialmente obtida resulta na emissão evitada.

Tabela 1 – Fatores de Conversão, Correção e Emissão de Carbono

Combustível	Fator de Conversão	Fator de Correção	Fator de Emissão
Diesel de Petróleo	0,848	0,95	20,2
Gasolina	0,771	0,95	18,9
Álcool Anidro	0,52	0,95	14,81
Álcool Hidratado	0,496	0,95	14,81

Fonte: Mattos (2001) Elaborado pelo autor

$$V_n = V_0 (1 + r)^n \quad (4)$$

$$\text{LOG}(V_n) = \text{LOG}(V_0) + n \text{LOG}(1 + r) \quad (5)$$

$$\text{LOG}(1 + r) = [\text{LOG}(V_n) - \text{LOG}(V_0)] / n \quad (6)$$

$$1 + r = \text{antilog} [\text{LOG}(V_n) - \text{LOG}(V_0) / n] \quad (7)$$

$$r = \text{antilog} [\text{LOG}(V_n) - \text{LOG}(V_0) / n] - 1 \quad (8)$$

RESULTADOS

4.1 O Etanol Combustível e seus Aspectos Ambientais

Em 2006, o Brasil atingiu sua autossuficiência em petróleo, com uma produção de cerca de 1,8 a 1,9 milhões de barris/dia (bep¹/dia). Em 2010 o petróleo foi responsável por 42% da produção de energia primária no Brasil, com uma expressiva participação nos setores de transporte, no setor industrial e para uso não energético. No entanto, além do petróleo como fonte de energia, o Brasil conta com uma forte contribuição do setor de cana-de-açúcar, que em 2010 obteve uma participação correspondente a 17,8% da oferta interna de energia. (EPE, 2011)

Observou-se ainda que dentre os vários benefícios do etanol, a possibilidade do mesmo ser utilizado como combustível puro, o chamado álcool hidratado, esta entre os mais importantes. Este é utilizado diretamente para abastecer os veículos equipados com a tecnologia *Flex-Fuel*, que são veículos com um sistema de gerenciamento do motor capaz de identificar com precisão a presença de gasolina e/ou etanol no tanque de combustível do veículo e ajustar automaticamente a operação do motor para o combustível existente. No Brasil,

¹ Barril equivalente de *petróleo*

por exemplo, esse procedimento é realizado graças a um sensor que mede o teor de oxigênio presente no gás que sai do escapamento. (UNICA, 2007)

No Brasil, apenas no ano de 2009, foram fabricados mais de 5 milhões de veículos especialmente projetados para uso exclusivo desse produto. No entanto observou-se que apesar do conteúdo energético do etanol ser menor que o da gasolina pura (aproximadamente 65%), o mesmo apresenta várias características técnicas, que viabilizam o seu uso, uma delas é a elevada octanagem, que é responsável pela resistência à detonação do combustível utilizado em motores de ciclo de Otto. (UNICA, 2007, p.19)

Além de sua produção ter origem em fontes renováveis, o etanol também é utilizado como oxigenante da gasolina, sendo o principal responsável pela redução das emissões dos principais gases causadores do efeito estufa. Essas duas características lhe dão uma importância estratégica no combate à intensificação do efeito estufa e seus efeitos nas mudanças climáticas globais.

Um estudo realizado com veículos à diesel no Brasil pela Agência de Controle Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), demonstrou que a emissão de aldeídos² desses veículos pode ser até 40 vezes superior à de um veículo movido exclusivamente com etanol. (CETESB, 2005).

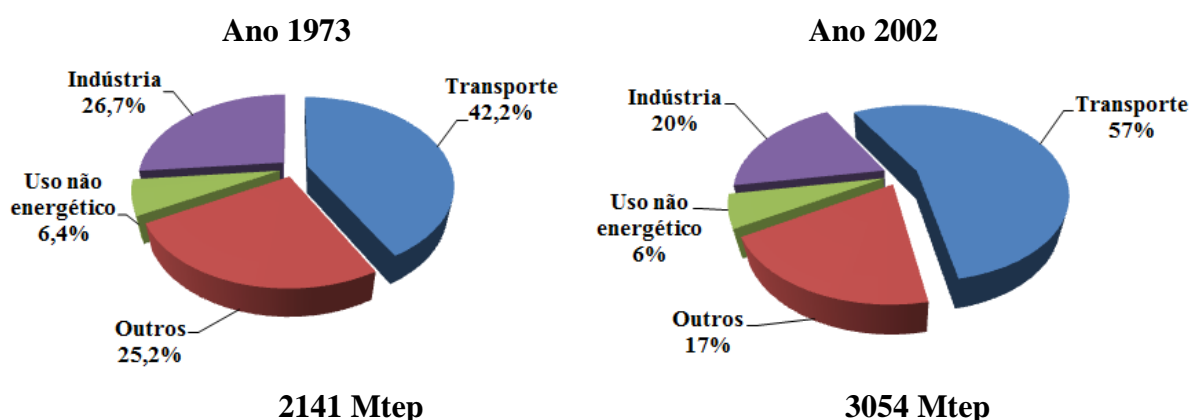
Preocupada com os altos índices de emissão de poluentes dos combustíveis fósseis, o Conselho Nacional do Meio Ambiente o (CONAMA), criou em 06 de maio de 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores o (Proconve), com o intuito de normatizar e fiscalizar a emissão de poluentes veiculares no Brasil, principalmente a emissão de veículos leves, já que esse representa a grande parte de toda a frota nacional. O programa impõe a certificação de protótipos e linhas de produção, autoriza o uso de combustíveis alternativos, e proibir a comercialização dos modelos de veículos não homologados segundo seus critérios. (PROCONVE, 2011)

4.2 O Consumo de Combustíveis no Brasil e sua Capacidade de Emissão de CO₂

² Os aldeídos (CHO) são produtos exclusivos da combustão do álcool e da gasolina brasileira, que possui até 25% de álcool. Em grandes quantidades na atmosfera, os aldeídos podem causar irritação nos olhos e nas vias respiratórias. (www.planetasustentavel.com.br).

Os combustíveis predominantes nos meios de transporte ainda são os derivados de petróleo, a gasolina para a frota de automóveis, motocicletas e motonetas e óleo diesel para a frota de caminhões e ônibus. No entanto, no Brasil há um amplo uso do álcool etílico, tanto como combustível exclusivo (álcool hidratado) quanto como combustível misturado com derivados de petróleo (álcool anidro), dando origem a gasolina (tipo C), que é a gasolina comercializada no postos de combustíveis em todo Brasil. Outro aspecto interessante é o aumento do uso de gás natural veicular, principalmente em veículos leves de uso intensivo como, por exemplo, os taxis, em grandes centros urbanos, mas que não tem representatividade em termos relativos. (MATTOS, 2001)

O setor de transporte é, na maioria dos países e no Brasil, o maior consumidor de petróleo dentre os setores da economia, e sua participação vem aumentando ao longo das últimas décadas, como se observa na Figura 1, passando de 42,2% para 57%, entre 1973 e 2002.



*Outros: Agricultura, comércio e serviço público, residencial e outros não especificados.

Fonte: IEA (2004).

Figura 1 – Distribuição do Consumo de Derivados de Petróleo (Mtep) por Setor – Países Membros da IEA 1973 e 2002 – (%)

No Brasil, a emissão de CO₂ vem aumentando no decorrer dos anos, devido ao aumento da frota de veículos, no final dos anos 1990, mais precisamente no ano de 1998 a frota brasileira de veículos emplacados, que era cerca de 24.361 milhões passou para 70.543 em 2011, ou seja, um crescimento quase três vezes maior que o registrado em 1998.

Nesse caso, os tipos de veículos que ajudaram a alavancar esse crescimento foram os automóveis que em 1998 representavam um total de 17.056

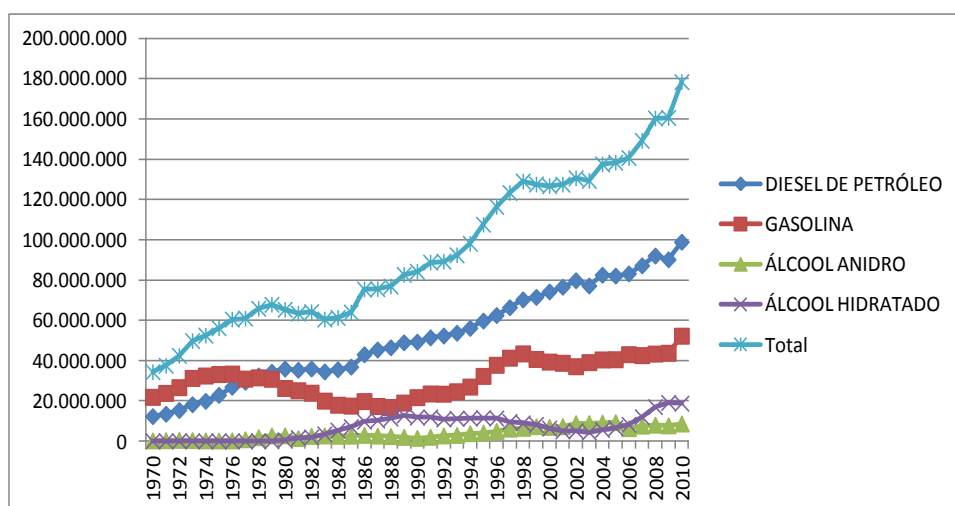
milhões de veículos emplacados, e em 2008 já passavam da casa dos 39.832 milhões, ou seja, o número de veículos mais que dobrou nestes últimos 10 anos. Outro tipo de veículo que sofreu um aumento considerável, juntamente com os automóveis, foram as caminhonetes, que em 1998 correspondiam a uma frota de 27.305 mil emplacamentos, e em 2008 já representava 4.762 milhões veículos emplacados. Estes dados são apresentados na Anexo 1.

Cabe ressaltar que a frota de caminhões dobrou neste período, bem como a de ônibus. Apesar de não serem as categorias mais expressivas em termos absolutos, é um dado preocupante, uma vez que utilizam o diesel como combustível, sendo estes mais poluentes que os demais em termos de GEE, já que libera enxofre durante sua queima.

Ao verificar essa expressiva ampliação da frota de veículos no Brasil, já se pressupõe um aumento da emissão de CO₂, o que é confirmado pelos dados da Figura 1. Observam-se algumas quedas de emissão com relação à gasolina e ao álcool hidratado, mas em termos totais, há uma trajetória ascendente com relação à emissão de CO₂, que passou de cerca de 34 milhões de toneladas em 1970 para mais de 178 milhões de toneladas em 2010.

Pode-se alegar que a população brasileira cresceu, portanto, o aumento da emissão estaria proporcional a este aumento. Nesse sentido, é importante verificar se o aumento do consumo também não se deu em termos *per capita*.

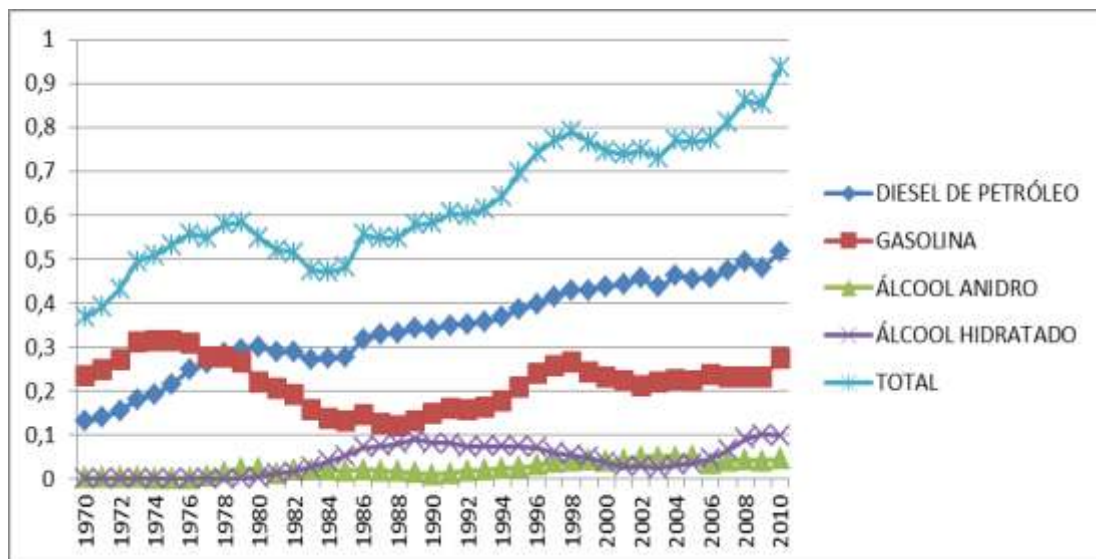
A partir da Figura 2, observa-se também uma trajetória ascendente para a emissão total per capita de tCO₂. Pode-se verificar que a emissão per capita de tCO₂ proveniente da gasolina, no Brasil, sofreu uma queda em 1976 e que manteve uma trajetória decrescente até 1991, quando começou a crescer novamente. O motivo dessa queda está associado à redução no consumo da gasolina, provavelmente, em decorrência do aumento do seu preço, com os choques do petróleo em 1973 e 1979, e pela introdução do álcool anidro, para mistura com a gasolina e do álcool hidratado como combustível puro, especialmente a partir de 1980, com a entrada dos carros a álcool no mercado.



Fonte: EPE (2011) Elaborado pelo autor

Figura 1 – Emissão de tCO₂ no Brasil 1970-2010.

A emissão proveniente do diesel é mais estável em termos de uma trajetória ascendente, havendo uma queda em 2003 e outra em 2009. Como o consumo do diesel está mais associado à produção, esta queda provavelmente se deve as crises econômicas globais, que tiveram impacto no setor produtivo brasileiro, em ambos os anos.



Fonte: EPE (2011) Elaborado pelo autor

Figura 2 – Emissão Per Capita de tCO₂ no Brasil – 1970-2010.

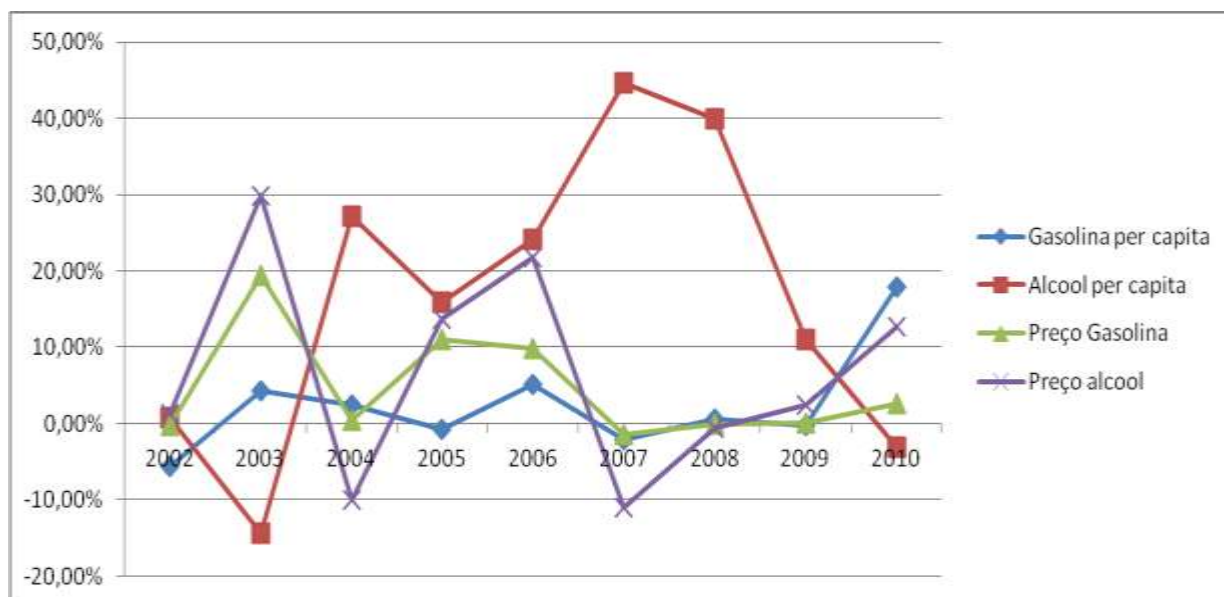
A partir do momento em que os carros *Flex Fuel* entram no mercado, em agosto de 2003, houve um aumento do consumo de álcool, porém esse aumento passa a ter uma nova variável de intervenção em seu uso, que é o preço do álcool em relação ao da gasolina. Essa possibilidade de escolha proporcionada ao

consumidor pela tecnologia *Flex Fuel*, faz com que o uso do álcool hidratado esteja inversamente vinculado ao preço, ou seja, quando o preço aumenta o consumo diminui e vice versa. Por outro lado, o que se pode observar é que o consumo de combustível nos veículos está diretamente relacionado ao poder calórico do combustível (e não da mistura ar/combustível).

O álcool por conter oxigênio em sua molécula, tem um poder calorífico menor que o da gasolina, uma vez que o oxigênio (34,7% do peso molecular do etanol é oxigênio) aumenta o peso molecular, mas não produz energia. Isto explica a menor km/l de um motor a álcool em relação ao mesmo motor a gasolina. Já o álcool hidratado (100%) produz a energia de 20,05 MJ/litro. No caso gasolina o que se observa é que 1 litro do combustível produz 37,5% mais energia do que 1 litro de álcool. Daí, em um motor com o mesmo rendimento térmico, um motor a gasolina que fizesse 10 km/l iria fazer 7,27 km/l usando álcool. Neste caso o consumo ainda será muito maior, se o motor a álcool não sofrer alterações que melhorem significativamente sua alimentação, neste caso seu rendimento energético global consumirá até 43% a mais em volume, do que o motor à gasolina. Com as alterações normais, obtém-se algo mais aceitável, em torno de um consumo maior entre 25 e 30%. (JOSÉ, 2004)

Portanto, como a gasolina apresenta um valor energético maior que o etanol, os carros movidos exclusivamente com à gasolina apresentam um melhor rendimento, além de uma menor margem de variação do consumo em função de seu preço.

Como já foi mencionado anteriormente, isso se dá devido alguns aspectos, um deles é o fato do etanol apresentar um rendimento de 20% a 30% menor que a gasolina. Essa relação se apresenta na Figura 3.



Fonte: EPE (2011) e ANP (2011) Elaborado pelo autor

Figura 3 - Variação do Consumo Per Capita (TJ/hab.) e do Preço da Gasolina e do Álcool no Brasil 2001-2010

Deste ponto de vista, o consumo do etanol apresenta elementos de instabilidade, que comprometem a questão da sustentabilidade. Pela ótica do consumidor, o consumo do etanol está mais vinculado ao preço de mercado do que propriamente a consciência ambiental do consumidor. A escolha pelo consumo do etanol em lugar da gasolina ocorre somente no caso em que a relação de preço relativo do etanol for menor que o da gasolina. O preço do etanol, por sua vez, está relacionado ao preço de outro produto alternativo da cana de açúcar, que é o açúcar. Quando o preço do açúcar se eleva, há uma transferência da produção para este produto, reduzindo a oferta de etanol, já que a produção de matéria prima na mesma safra é a mesma. Com a redução da oferta, a sua consequência imediata é o aumento do preço, o que reduz a preferência do consumidor em relação à gasolina.

Este impasse fez com que, em outubro de 2011, o ministro de Minas e Energia decreta-se a redução do percentual de álcool anidro na gasolina, de 25% para 20%, em função da redução da oferta.

Somado a estes fatores, há ainda a questão do Pré-Sal e da autossuficiência em petróleo no Brasil. O Brasil tem se esforçado e investido em tecnologias para obtenção do petróleo em suas bacias, que é uma fonte poluidora. Claro que em

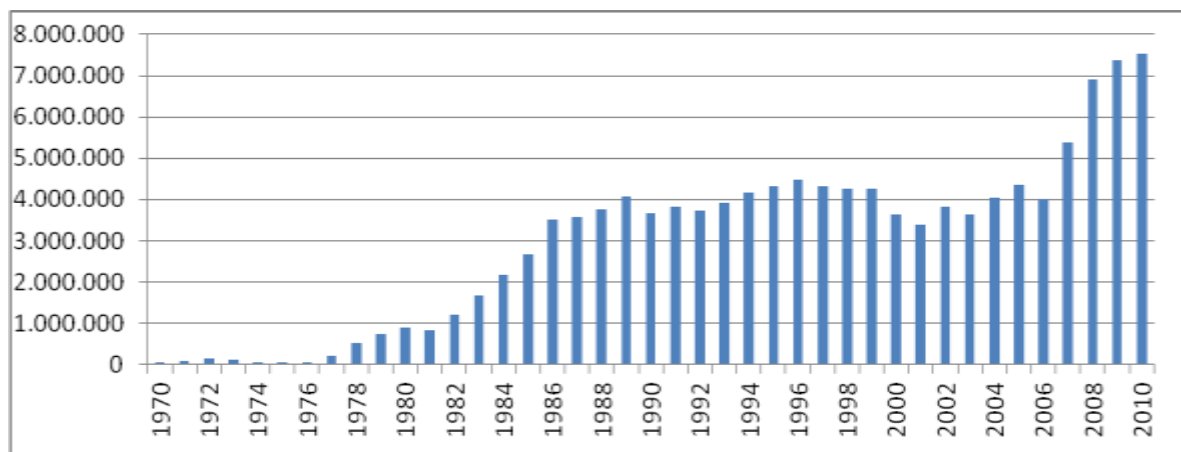
termos econômicos, trata-se de uma fonte vantajosa, com um mercado altamente dependente no mundo, mas ambientalmente comprometedora.

Nesse sentido, observa-se que a trajetória de emissão de CO₂ no Brasil não apresenta perspectivas de redução frente ao seu histórico de emissão *per capita*, neste ponto observou-se que a taxa geométrica de crescimento total (TGC), responsável por apresentar o crescimento da emissão *per capita* de CO₂ no período de 1980 a 2010 foi de (1,79) ao ano. No caso da gasolina a taxa correspondente foi de (0,78), já a do diesel que é sabidamente mais poluente que a gasolina, por apresentar alta concentração de enxofre foi de (1,82). Portanto estes dados refletem claramente como é alarmante o cenário de emissão de CO₂, em um setor de transportes que utiliza como base energética os derivados fósseis.

No que diz respeito à taxa de crescimento do álcool anidro (2,69) e do álcool hidratado (12,41), no caso deste último esse aumento foi proporcional ao seu consumo, que se deu principalmente na década de 1980, período no qual o álcool hidratado foi inserido no mercado brasileiro. Porém, diferente dos derivados de petróleo, os gases emitidos pela queima, tanto do etanol anidro como do etanol hidratado, são anuladas pelo processo de absorção pela cana-de-açúcar através do processo de fotossíntese.

Além disso, ainda temos uma frota de veículos emplacados antes de 2003, o que significa que são movidos em sua grande maioria à gasolina e a diesel, que de acordo com dados da ANFAVEA (2011), no total correspondem a mais de 36 milhões de veículos. E o aumento expressivo em 2009 e 2010 dos carros *Flex Fuel* estão condicionados a competitividade do etanol no mercado frente à gasolina. No Anexo 1 tem-se que em 2010 foram quase 3 milhões de carros *Flex Fuel* vendidos no Brasil, ao passo que os carros a gasolina não chegaram a 300 mil.

Entretanto, é importante ressaltar que a trajetória de emissão poderia ser pior, se não fosse a utilização do etanol. Para o período de 1970 a 2010, a emissão evitada correspondeu ao valor de 121.405.407 de tCO₂, conforme a Figura 4. Só no ano de 2010, foram evitadas a emissão de mais de 7 milhões de tCO₂.



Fonte: EPE (2011) Elaborado pelo autor

Figura 4 - Emissão Evitada de tCO₂ no Brasil 1970-2010

Portanto, mesmo não proporcionando uma trajetória descendente de emissão, o etanol evitou que o aumento fosse maior, demonstrando ser um elemento contribuidor para o consumo sustentável. Com a crescente frota de veículos *Flex Fuel* é possível fazer com que curva de emissões faça uma inflexão para baixo, desde que os preços relativos do etanol caiam e o consumidor tenda a considerar o impacto ambiental positivo do etanol nas decisões de consumo. Para que estes dois fatos econômicos aconteçam, políticas públicas voltadas para investimentos no aumento da produtividade de combustíveis renováveis, pesquisas focadas na maximização da eficiência energética no setor de transportes, campanhas educativas dentre outras medidas, podem contribuir.

CONCLUSÃO

Essa pesquisa teve como principal intuito mensurar a nível nacional, a emissão de dióxido de carbono (CO₂), proveniente da queima dos combustíveis derivados de petróleo, levando em consideração a importância dos combustíveis alternativos como o etanol, no combate a redução dos níveis de emissão.

O cenário encontrado, no período 1970 a 2010, no Brasil, foi de uma trajetória crescente de emissões poluentes, decorrentes do consumo de combustíveis fósseis, dado o aumento do número de frotas de veículos automotores. O consumo de combustível alternativo menos poluente, que é o etanol, tem sido crescente desde a introdução do etanol como combustível para veículos automotores, nos anos 1980, e se acelerou com o desenvolvimento e produção de veículos com motores *Flex-Fuel*. A somatória destas duas trajetórias

de consumo resultou numa curva de emissões totais de gases poluentes ainda ascendente, mas num ritmo de crescimento menor do que sem o consumo do etanol.

O comportamento dos consumidores de etanol combustível se mostrou mais sensível à variação de preços relativos, que de consumo consciente de seu efeito ambiental benéfico. Portanto, contando com o aumento substancial do número de veículos com motores Flex Fuel, é possível reduzir as emissões totais de CO₂ com o aumento do consumo de etanol mais que proporcional ao consumo da gasolina, por meio da redução dos preços relativos do etanol, no curto prazo. Estas medidas e o maior controle da poluição do ar por veículos automotores (PROCONVE) são os ingredientes principais para um acréscimo substancial nos níveis de emissões evitadas per capita de CO₂.

De modo geral, conclui-se que o volume crescente de emissões evitadas de CO₂ no período estudado, sobretudo com o consumo crescente de etanol combustível veicular, é um resultado altamente positivo na mitigação dos gases efeito estufa. Além deste resultado ambiental dos mais expressivos no cenário internacional, outros resultados no plano social e econômico, embora não aprofundados nesta pesquisa, como o aumento da renda e do emprego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTVATER, Elmar. **O Preço da Riqueza**. Pilhagem ambiental e a nova (des)ordem mundial. 2 ed. São Paulo: Unesp, 1992, 333 p.

BARBOSA, Livia. **Sociedade de Consumo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2008. 68 p.

CETESB. (2011) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **O Petróleo da História Antiga aos Tempos Atuais**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/vazamento-de-oleo/279-panorama-geral----o-petroleo-da-historia-antiga-aos-tempos-atuais>>. Acesso em 21 de janeiro de 2012

CECHIN, Andrei.; MAGALHÃES Reginaldo S. A Economia da Sobrevivência e seus Fundamentos Sociais. **VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Fortaleza: 2007, 24 p.**

COHEN, Claude M. J. **Padrões de Consumo: Desenvolvimento, Meio-Ambiente e Energia no Brasil**. Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002, 224 p.

DALY, Herman E.; FARLEY, Joshua. **Ecological Economics: Principles and Applications**. Washington, D.C.: Island Press, 2004, 488 p.

DALY, Herman E. **Economía, Ecología, Ética: ensayos hacia una economía en estado estacionario**. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1989, 388 p.

EPE (2011) – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: www.epe.com.br. Acesso em 01 de Novembro de 2011

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: Ano base 2010**. Rio de Janeiro, 2011 267 p.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. “La Ley de la Entropía y el Problema Económico” In: Daly, Herman E. **Economía, Ecología, Ética: ensayos hacia una economía en estado estacionario**. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1989, 388 p.

JOSÉ, Humberto J. **Combustão e Combustíveis: Apostila de Química Tecnológica Geral**. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2004, 45 p.

MASERA et al. La **Producción Más Limpia y el Consumo Sustentable em América Latina y el Caribe**. PNUMA/CETESB, 2004.

MATTOS, Laura, B. R. **A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O caso do município do Rio de Janeiro**. Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001, 222 p.

MUELLER, Charles C. **Economia e Meio Ambiente na Perspectiva do Mundo Industrializado: Uma avaliação da economia ambiental neoclássica**. São Paulo: Est. Economia, v.29, n.4, 1996, 261-304 p.

PORTILHO, F; e RUSSO, F. **Processo Marrakech – O Consumo Sustentável Visto pelos Organismos Internacionais**. IV ENANPPAS, Brasília, 2008.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. 2 ed. Rio de Janeiro Garamond, 2000, 95 p.

UNEP. **ABC OF SCP CLARIFYNG CONCEPTS ON SUSTAINABLE CONSUMPTION: Towards 10 Year Framework of Programmes on sustainable Consumption and Production**. UNEP: Division of Technology, Insustry and Economics, 2010.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Produção e Uso do Etanol Combustível no Brasil**. São Paulo, 2007, 70 p.

Anexo I – Frota de Veículos por Tipo, com Placa, no Brasil 1998-2011

Ano	TOTAL	Automóvel	Caminhão				Ciclomotor	Micro-ônibus	Motocicleta
			Caminhão	Trator	Caminhonete	Camioneta			
1998	24.361.347	17.056.413	1.149.790	151.852	27.305	2.179.528	39.175	88.302	2.542.732
1999	27.172.139	18.809.292	1.300.362	165.782	76.308	2.547.320	65.128	103.188	3.020.173
2000	29.722.950	19.972.690	1.397.247	180.505	288.980	2.836.786	71.737	123.828	3.550.177
2001	31.913.003	21.236.011	1.456.464	193.994	421.243	2.897.695	75.297	140.135	4.025.556
2002	34.284.967	22.486.611	1.517.087	206.658	768.591	2.738.435	78.053	150.330	4.646.440
2003	36.658.501	23.669.032	1.572.444	223.136	1.022.417	2.648.290	80.325	162.684	5.332.056
2004	39.240.875	24.936.451	1.636.535	246.699	1.218.922	2.661.614	82.021	173.716	6.079.361
2005	42.071.961	26.309.256	1.703.715	263.373	1.674.532	2.441.858	82.921	184.463	6.934.150
2006	45.372.640	27.868.564	1.768.221	280.037	2.036.030	2.328.596	83.341	198.393	7.989.925
2007	49.644.025	29.851.610	1.847.225	304.918	2.560.451	2.116.649	83.615	214.483	9.410.110
2008	54.506.661	32.054.684	1.939.276	339.865	3.484.495	1.589.102	83.762	232.073	11.045.686
2009	59.361.642	34.536.667	2.026.269	367.189	3.835.242	1.704.130	89.350	249.016	12.415.764
2010	64.817.974	37.188.341	2.143.467	412.473	4.285.690	1.859.043	95.259	270.693	13.950.448
2011	70.543.535	39.832.919	2.274.947	457.954	4.762.943	2.066.383	107.919	296.761	15.579.899

Fonte: DENATRAN (2011)

Anexo II Veículos Vendidos no Brasil por Combustível 2005-2010

		2010	2009	2008	2007	2006	2005
TOTAL GERAL		3.573.217	3.207.737	2.864.482	2.487.701	1.920.139	1.711.972
1. AUTOMÓVEIS	Total	2.693.203	2.527.903	2.226.315	1.991.410	1.555.450	1.365.449
	GASOLINA	162.273	117.036	129.752	173.277	270.965	558.521
	FLEX FUEL	2.530.930	2.410.867	2.096.547	1.818.124	1.283.463	765.301
	Álcool				9	1.020	41.627
	Diesel					2	
2. COMERCIAIS LEVES	Total	677.974	541.671	483.459	371.043	268.818	250.136
	GASOLINA	130.360	104.854	93.280	61.470	52.227	86.093
	FLEX FUEL	369.094	300.400	257.977	214.237	140.649	81.409
	Álcool					45	8.233
	DIESEL	178.520	136.417	132.202	95.336	75.897	74.401
3. CAMINHÕES	Total	170.886	114.286	126.760	100.975	76.692	80.383
	DIESEL	170.886	114.286	126.760	100.975	76.692	80.383
4. ÔNIBUS	Total	31.154	23.877	27.948	24.273	19.179	16.004
	DIESEL	31.154	23.877	27.948	24.273	19.179	16.004

Fonte: ANFAVEA