

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS  
ESCOLA DE ECONOMIA DE SÃO PAULO - EESP

MÁRCIO NAPPO

A DEMANDA POR GASOLINA NO BRASIL:  
Uma avaliação de suas elasticidades após a introdução dos carros bicomcombustível

SÃO PAULO  
2007

MÁRCIO NAPPO

A DEMANDA POR GASOLINA NO BRASIL:

Uma avaliação de suas elasticidades após a introdução dos carros bicomcombustível

Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas – FGV-EESP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Finanças e Economia Empresarial.

Campo de conhecimento: Microeconomia

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Lahóz  
Mendonça de Barros

SÃO PAULO

2007

MÁRCIO NAPPO

A DEMANDA POR GASOLINA NO BRASIL:

Uma avaliação de suas elasticidades após a introdução dos carros bicomcombustível

Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas - EESP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Finanças e Economia Empresarial.

Campo de conhecimento: Microeconomia

Data de aprovação

02 / 03 / 2007

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Alexandre Lahóz Mendonça de Barros (Orientador)  
FGV-EESP

---

Prof. Dr. Paulo Furquim de Azevedo  
FGV-EESP

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes  
ESALQ-USP

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha esposa, Juliana, pelo amor incondicional, pelo apoio e incentivo nos momentos mais difíceis e, sobretudo, pela paciência e compreensão pelas horas (e foram muitas) que passei ausente estudando e escrevendo esta dissertação.

Também gostaria de fazer uma menção especial ao Bernardo, meu filho, que muito em breve estará conosco e que também cedeu um pouco do seu tempo para que este trabalho pudesse ser concluído.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todo corpo docente do Mestrado Profissional em Finanças e Economia Empresarial – MPFE da FGV-SP pelo curso de excelente qualidade que me foi oferecido e a todos aqueles que estavam de alguma forma ligados ao bom funcionamento das aulas. Agradeço também aos meus colegas de curso, pelo espírito de companheirismo e pelo que me ensinaram ao longo de mais de dois anos de convivência, quase que diária.

Devo um agradecimento especial ao professor Alexandre Lahóz Mendonça de Barros, meu orientador, e ao Prof. Alexandre Chibebe Nicolella pelo auxílio na parte econométrica.

Também de fundamental importância foi o apoio financeiro da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – Abiove e a confiança depositada em mim por Fabio Trigueirinho e Carlo Lovatelli.

Agradeço também à Renata Nascimento, economista da Petrobras e ao pessoal da ANP pelo fornecimento das séries de dados relativas ao consumo e aos preços dos combustíveis utilizadas nos testes econométricos desenvolvidos.

Agradeço ainda a meus pais, familiares e amigos, especialmente Cleide e Zeca, que me incentivaram, me apoiaram e, sobretudo, tiveram enorme paciência ao longo da elaboração deste trabalho.

## RESUMO

A questão central que buscou-se responder no presente estudo foi: qual o impacto dos veículos *flex-fuel* sobre a demanda por gasolina no Brasil? Para tentar responder esta questão foi estimada a função demanda por gasolina no Brasil e suas elasticidades-preço e renda, para o período de agosto de 1994 a julho de 2006 (era pós-Plano Real), utilizando-se técnicas de cointegração para avaliar a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre variáveis do modelo. Com a renovação da frota automotiva, centrada cada vez mais nos veículos *flex-fuel*, cuja participação nas vendas nacionais de veículos novos deve ultrapassar os 70% em 2006, surge a preocupação de que o deslocamento do consumo de gasolina pelo álcool hidratado leve a excedentes crescentes de gasolina no Brasil. Os resultados obtidos neste estudo indicam que a demanda por gasolina no Brasil é inelástica no longo prazo, tanto em relação a variações nos preços deste combustível, quanto a alterações na renda dos consumidores. Os valores estimados para as elasticidades-preço e renda de longo prazo foram de -0,197 e 0,685, respectivamente. Também foi estimado o coeficiente de uma variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina, incluída no modelo com o objetivo de capturar os impactos da entrada do *flex-fuel* sobre a curva de demanda por gasolina a partir de março de 2003. Esta variável binária de inclinação apresentou-se com um coeficiente de aproximadamente -0,137. Isto significa que a partir de março de 2003 há uma significativa mudança na elasticidade-preço da demanda por gasolina, que se torna mais elástica, saindo de -0,197 para -0,334. Este resultado indica que o mercado nacional de combustíveis de ciclo Otto pode estar passando por mudanças estruturais, para as quais a entrada dos veículos *flex-fuel* é a causa mais provável e que o álcool hidratado tem se tornado um substituto menos imperfeito da gasolina.

Palavras-chave: Demanda por gasolina, Elasticidade-preço, Elasticidade-renda, Veículos *flex-fuel*, Análise de Cointegração.

## ABSTRACT

The central question that this study seeks to answer is: What is the impact of flex-fuel vehicles on the demand for gasoline in Brazil? To attempt to answer this question, the function demand for gasoline in Brazil was estimated, as were the price and income elasticities, for the period August 1994 through July 2006 (post Plano Real era), using cointegration techniques to evaluate the existence of a long-term balance relationship between the model's variables. With the renewal of the automotive fleet increasingly centered on flex-fuel vehicles, whose market share in the domestic sales of new vehicles should be over 70% in 2006, there is some concern that the shift from consumption of gasoline to hydrated alcohol may lead to a growing excess of gasoline in Brazil. The results obtained in this study indicate that the demand for gasoline in Brazil is inelastic in the long term, in relation both to the price variations of this fuel and to the alterations in consumer income. The amounts estimated for the price and long-term income elasticities were  $-0.197$  and  $0.685$ , respectively. An estimate was made of the coefficient of a dummy inclination variable, associated with the price of gasoline and included in the model to capture the impact flex-fuel has on the gasoline demand curve, starting in March 2003. This dummy inclination variable had a coefficient of approximately  $-0.137$ , meaning that, as of March 2003, there is a significant change in the price elasticity of the demand for gasoline, which becomes more elastic, going from  $-0.197$  to  $-0.334$ . This result indicates that the Otto cycle's national fuel market might be facing structural changes in which the launching of flex-fuel vehicles is the most likely cause and that hydrated alcohol has become a less imperfect substitute for gasoline.

Key-words: Demand for gasoline, Price elasticity, Income elasticity, Flex-fuel vehicles, Cointegration techniques.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	COMBUSTÍVEIS DE CICLO OTTO NO BRASIL: UM BREVE HISTÓRICO DO PERÍODO 1973 – 2005.....	10
2.1	Os choques do petróleo e suas conseqüências.....	10
2.2	Os efeitos dos choques no Brasil.....	11
2.3	O Programa Nacional do Alcool (PNA).....	13
2.4	O Consumo de Gasolina no Brasil: Principais Eventos (1973-2005) .....	22
2.5	O Advento dos Carros Bicombustível.....	27
3	MODELOS DE DEMANDA POR COMBUSTÍVEIS.....	30
3.1	Modelos de Demanda por Combustíveis no Mundo.....	30
3.2	Modelos de Demanda por Combustíveis no Brasil.....	33
4	O MODELO DE DEMANDA POR GASOLINA NO BRASIL.....	41
4.1	O Modelo Econométrico.....	41
4.2	Fonte de Dados.....	42
4.3	Análise de Séries Temporais.....	42
4.3.1	Testes de Raiz Unitária.....	44
4.3.2	Análise de Cointegração.....	46
4.3.3	Metodologia de Johansen para Análise de Cointegração.....	48
4.4	Resultados da Regressão pelo método MQO.....	50
4.5	Uma Análise Comparativa.....	55
5	CONCLUSÃO.....	57
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 30 anos o consumo de gasolina no país foi afetado de forma significativa por diversos eventos. Nos anos de 1973 e 1979 os Choques do Petróleo promoveram elevações nunca vistas antes nos preços do barril de óleo, com fortes impactos no preço da gasolina e demais derivados. A reação brasileira aos choques da década de 1970 se deu em duas direções: a do desenvolvimento de tecnologias de exploração e produção de petróleo em território nacional - que culminou na exploração de petróleo em águas profundas pela Petrobras; e da implementação, em novembro de 1975, do Programa Nacional do Álcool (PNA), cuja segunda etapa denominou-se “Proálcool” (em dezembro de 1978), quando o governo passou a incentivar as montadoras de veículos instaladas no país a produzir automóveis movidos a álcool e os consumidores, a adquiri-los.

Como decorrência da produção de álcool para fins carburantes, o consumo de gasolina no Brasil passou a ser afetado de duas maneiras: através da sua mistura com álcool anidro (em teores ao redor de 20%), constituindo a chamada gasolina C, e concorrendo diretamente com o álcool hidratado, principalmente no período de 1979 a 1987, que marcam o ápice do Proálcool.

Apesar do enorme sucesso do programa, a partir de 1987 o Proálcool entra em crise. O principal motivo foi o desabastecimento de álcool hidratado nos postos de combustíveis, deixando os consumidores em situação crítica, visto que os carros movidos a álcool não poderiam ser abastecidos alternativamente com gasolina. Gradativamente, o Proálcool caiu em descrédito e a frota de carros movida a álcool, que naquele momento representava cerca de 94% da frota nacional de veículos leves, foi sendo convertida à gasolina, à expensas do consumidor. A partir deste momento, o consumo nacional de gasolina volta a crescer fortemente. Por mais de uma década (1988 a 1998), este consumo cresceu de forma contínua, a uma taxa média de 9,9% ao ano.

A partir de março de 2003, com o lançamento dos carros bicombustível, também conhecidos como veículos *flex-fuel* devido a sua capacidade de funcionar com qualquer porcentagem de mistura de gasolina e álcool, tem-se observado o aumento da demanda por álcool hidratado no país. A crescente participação deste tipo de veículo nas vendas de carros novos, atingindo cerca de 39% do mercado nacional de veículos leves em 2005 e mais de 70% em novembro de 2006, segundo a Anfavea, é uma forte evidência de que o consumidor percebe esta nova tecnologia como uma enorme vantagem do ponto vista da liberdade de escolha entre gasolina e álcool hidratado na hora de abastecer.

Inúmeros estudos anteriores a 2003, através do cálculo da elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação ao álcool, concluíram que o álcool combustível era tão somente um substituto imperfeito da gasolina, visto que até aquele momento o consumidor, no seu processo de escolha entre estes dois combustíveis, enfrentava uma forte restrição de ordem tecnológica que consistia na escolha do tipo de veículo: movido (exclusivamente) à gasolina ou a álcool. Na medida em que esta restrição foi superada com o lançamento dos carros bicomcombustível, o processo de escolha do consumidor (detentor desta nova tecnologia) tornou-se mais claro e direto, tendo como principal variável o preço dos combustíveis ajustado pelo seu rendimento no motor. Isto abre um campo enorme de possibilidades para o aumento do consumo do álcool combustível no país em detrimento do consumo de gasolina, o que leva de imediato a questão central que se tenta responder neste trabalho: qual o impacto dos veículos *flex-fuel* sobre a demanda por gasolina no Brasil?

Para tentar responder a questão acima serão estimadas as elasticidades-preço, renda e preço cruzada da demanda por gasolina em relação ao álcool para o período de agosto de 1994 a julho de 2006, utilizando técnicas de cointegração para as estimativas de longo prazo. O período escolhido para a análise, que compreende o início do Plano Real até os dias atuais, deveu-se principalmente à disponibilidade de dados com periodicidade mensal, especialmente dados de consumo mensal de gasolina no país, que inexistem para períodos anteriores.

O estudo em questão está organizado em cinco capítulos, incluindo a introdução e a conclusão. O segundo capítulo apresenta um panorama da evolução do mercado de combustíveis brasileiro para o período de 1973 a 2005, enfatizando as principais mudanças ocorridas no consumo de gasolina e álcool combustível neste período. O terceiro capítulo traz uma breve revisão bibliográfica sobre os principais trabalhos conduzidos dentro da mesma linha de investigação do presente estudo, para o Brasil e o mundo. O quarto capítulo trata da definição do modelo econométrico para a estimação das elasticidades-preço, renda e preço cruzada da gasolina em relação ao álcool, de aspectos teóricos e metodológicos pertinentes ao processo de estimação e traz os resultados das estimativas dos parâmetros de longo prazo. Por fim, na conclusão são comentadas as principais implicações econômicas dos resultados obtidos.

## **2 COMBUSTÍVEIS DE CICLO OTTO NO BRASIL: UM BREVE HISTÓRICO DO PERÍODO 1973 – 2005**

### **2.1 Os choques do petróleo e suas consequências**

Alguns especialistas dividem as crises do petróleo no século XX em dois momentos distintos: o primeiro deles caracteriza-se pela disputa pelo controle do processo de extração e distribuição do petróleo entre os estados-nacionais em formação no mundo árabe e as grandes empresas multinacionais do petróleo (européias e americanas) que detinham estes direitos. Tratou-se, portanto, de uma luta em torno de dinheiro e poder. Já no momento posterior, as crises do petróleo tiveram contornos nitidamente políticos e envolveram conflitos entre os países produtores e os países consumidores, culminando nos choques de 1973 e 1979, que levaram o mundo a um processo de recessão.

#### **O primeiro choque do petróleo**

O primeiro choque do petróleo em 1973 se deu como decorrência direta da retomada por Israel, apoiada pelos Estados Unidos, dos territórios atacados por Egito e Síria na Guerra do Yon-Kippur. Derivada da Guerra dos Seis Dias, quando Israel ocupou territórios palestinos na Jordânia e na Faixa de Gaza, vencendo os exércitos da Síria, do Egito e da Jordânia, a Guerra do Yon-Kippur começou no Dia do Perdão dos judeus (o Yon-Kippur), quando os países árabes retomaram os territórios perdidos

Neste momento, o petróleo passou a ser usado como arma política para forçar a opinião pública mundial a pressionar Israel. Os países árabes produtores de petróleo, então organizados no cartel da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), decidiram, em outubro de 1973, aumentar o preço do barril de petróleo de US\$ 2,90 para US\$ 11,65, em apenas três meses. A crise caracterizou-se pelo embargo de petróleo, lançado inicialmente pela Arábia Saudita e acompanhado pelos países árabes, aos mercados dos Estados Unidos e da Europa.

#### **O segundo choque do petróleo**

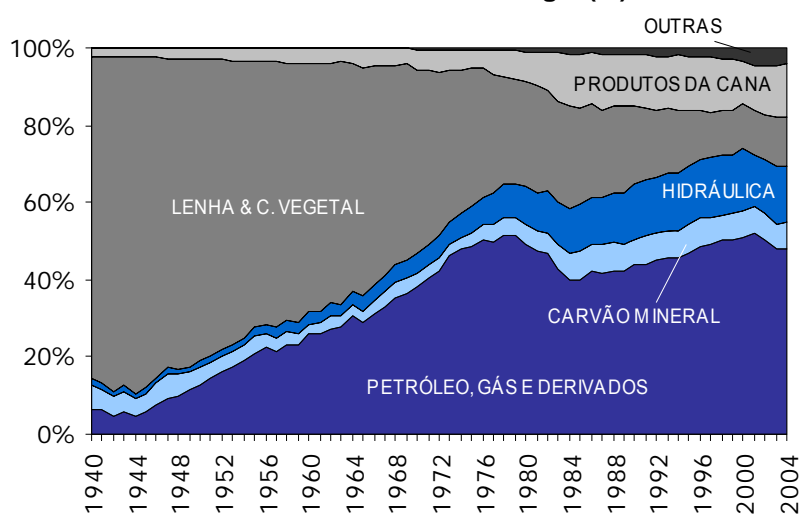
Em 1979 tem início a Revolução Islâmica no Irã, quando o movimento liderado pelo Aiatolá Khomeini derrubou o Xá Reza Pahlevi. A crise que se estendeu até 1981 e desorganizou todo o setor produtivo do Irã, fez com que o preço do barril saltasse de US\$

13 para US\$ 34 (equivalentes a US\$ 80 atuais). Ou seja, um aumento de 1.072% em relação ao preço do barril em 1973 antes do primeiro choque. Os preços permaneceram altos até 1986, quando voltaram a cair. Durante maior parte deste período o Irã esteve envolvido na Guerra Irã-Iraque, desencadeada em 1980 (que duraria até 1988) por Saddam Hussein, com o apoio dos Estados Unidos, contra o novo regime xiita do Irã.

## 2.2 Os efeitos dos choques no Brasil

À época do primeiro choque, em 1973, o petróleo já era a principal fonte energética do Brasil, representando cerca de 46% da oferta interna de energia, medida em tonelada equivalente petróleo (tep). Conforme o *Gráfico 1* abaixo, vemos que desde 1940, principalmente após a 2ª Guerra Mundial, o petróleo, através de seus derivados, vinha rapidamente substituindo o carvão vegetal e a lenha na matriz energética nacional. Este processo é reflexo das mudanças estruturais que o país vinha passando neste período, caracterizado pelo forte movimento de urbanização da população e principalmente pela intensificação do processo de industrialização. Outro fator relevante era o grau de dependência do petróleo importado naquele momento, que chegava a cerca de 77% do volume consumido no país. Portanto, a elevação súbita dos preços do barril de petróleo, de US\$ 2,90 para US\$ 11,65, gerou forte impacto sobre a balança comercial e, conseqüentemente, criou uma situação de vulnerabilidade das contas externas do país.

**Gráfico 1 – Oferta Interna de Energia (%)**



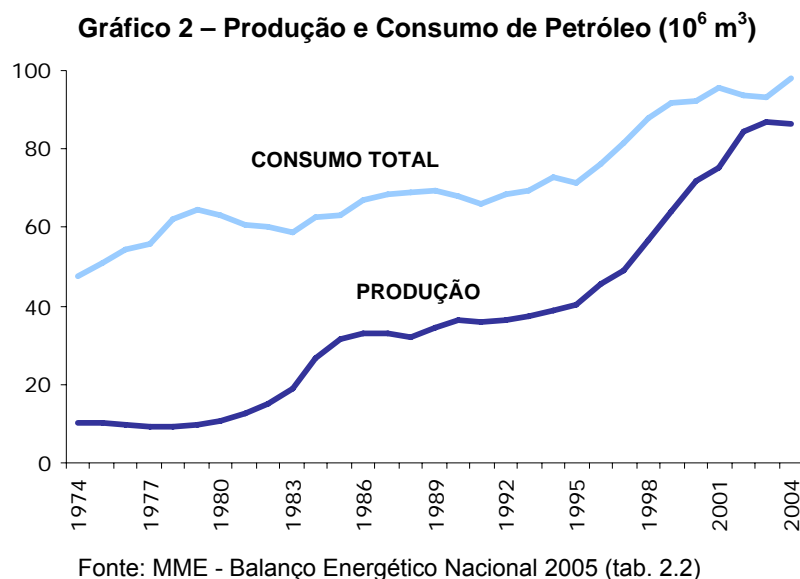
Fonte: MME - Balanço Energético Nacional 2005 (tab. 1.12)

No entanto, ao contrário do que se poderia esperar, no período entre os dois choques (1974-1979), o consumo de petróleo no país cresceu a uma taxa de 6,4% ao ano (*Gráfico 2*). Segundo Pinto Jr. (1989), tal fato pode ser explicado pela inelasticidade-preço da demanda por petróleo no curto prazo e pela participação dos seus derivados em todos os setores de atividade da economia. Neste sentido, cabe ressaltar que o petróleo e seus derivados cumprem os requisitos básicos que caracterizam os bens inelásticos, ou seja, essencialidade e inexistência de substitutos próximos.

No início dos anos de 1970, embora a Petrobras já estivesse bem estruturada, com profissionais brasileiros especializados na prospecção e com a produção de petróleo mais incrementada, a alta competitividade do mercado internacional tornava a importação de óleo bruto uma atividade irresistível, estacionando a produção nacional, frente a um consumo crescente. O declínio das reservas terrestres e a baixa produção no mar levaram à ampliação dos financiamentos no *downstream* (refino, transporte e petroquímica) e à criação da Braspetro em 1972, com a finalidade de buscar alternativas de abastecimento de petróleo em outros países.

Após o primeiro choque do petróleo em 1973, verificou-se a vulnerabilidade brasileira decorrente da falta de investimentos no setor de *upstream* (pesquisa e exploração), que mais do que nunca passou a ser considerado fator estratégico de segurança e desenvolvimento do país. Em razão dessa vulnerabilidade, a Petrobras lançou mão de duas estratégias: (1) passou a celebrar, com empresas privadas detentoras de tecnologia exploratória, os chamados “Contratos de Risco”, que acabaram por não surtir o efeito esperado no aumento da oferta interna de óleo (Pinto Jr, 1989: 37-53) e (2) redirecionou seus investimentos para exploração *off-shore* de petróleo, baseada no recém descoberto Campo de Garoupa (1974), localizado na Bacia de Campos (RJ). O Campo de Garoupa marcou o início de uma segunda fase dentro da Petrobras, na qual a empresa se diferenciaria mundialmente pela exploração de petróleo em águas profundas e ultraprofundas.

A exploração de petróleo em águas profundas se mostrou tão promissora, sobretudo pelos esforços de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia nacional para este tipo de prospecção, principalmente após o segundo choque, que em 1981 a produção marítima já superava a terrestre e em 1984 a produção brasileira se igualaria à quantidade importada, com meio milhão de barris diários.



Com os choques do petróleo de 1973 e 1979 os agentes econômicos atentaram não somente para a necessidade de se produzir petróleo em seus respectivos territórios nacionais, mas também para necessidade de se pesquisar possíveis substitutos para um insumo tão essencial nos processos produtivos e no cotidiano moderno. É neste contexto que, paralelamente aos esforços da Petrobras em aumentar a oferta interna de petróleo, surge o Programa Nacional do Álcool (PNA), cujo objetivo inicial era a mistura de álcool, na forma de álcool anidro, à gasolina. É somente na sua segunda fase, após o segundo choque do petróleo, que se inicia a produção dos carros movidos a álcool no Brasil, caracterizando o programa na forma que o conhecemos.

Deste modo, o álcool, que sempre fora considerado subproduto do açúcar, passou daquele momento em diante a desempenhar papel estratégico na economia brasileira e, diante do sucesso da iniciativa, deixou de ser encarado apenas como resposta a uma crise temporária, tornando-se uma solução permanente, com impactos profundos na matriz energética nacional.

### 2.3 O Programa Nacional do Álcool (PNA)

O Programa Nacional do Álcool (PNA) foi criado em 14 de novembro de 1975 pelo Decreto nº 76.593, com o objetivo de estimular a produção de álcool no país, visando a substituição em larga escala dos derivados de petróleo. De acordo com o decreto, a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo

deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes, da instalação de novas unidades produtoras (anexas a usinas de açúcar ou autônomas) e armazenadoras.

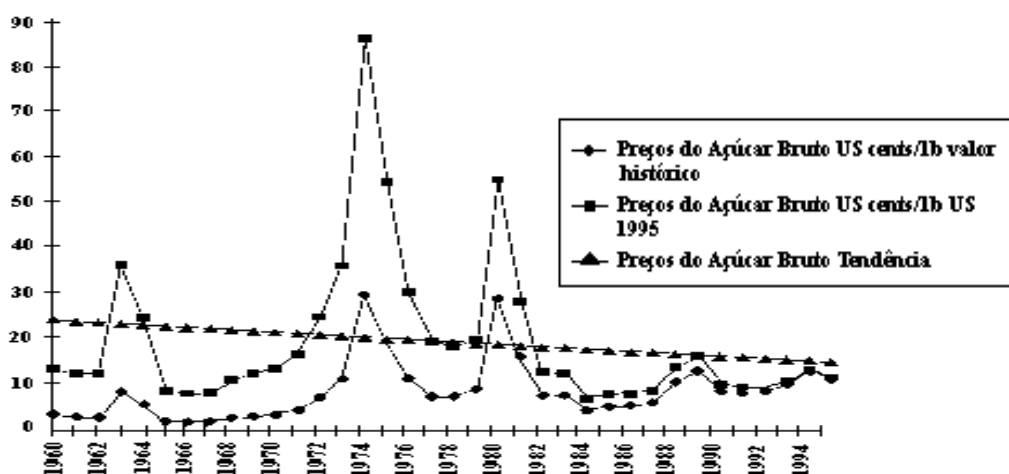
O Programa foi desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando do choque de preços do petróleo, no início dos anos de 1970, que elevou os gastos do país com importação de petróleo de US\$ 600 milhões em 1973 para US\$ 2,5 bilhões em 1974. Naquela época o Brasil importava cerca de 80% de sua necessidade de petróleo. O PNA, inicialmente, baseou-se na produção de álcool anidro para a mistura com gasolina, objetivando assim a redução do volume importado de petróleo e derivados. Em sua segunda fase, a partir de 1979, agora chamado de Proálcool, o Programa ensejou a criação de carros movidos exclusivamente a álcool. De 1979 a 2005, foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos movidos a álcool hidratado<sup>1</sup> (Anfavea). Adicionalmente, o Programa substituiu por uma fração de álcool anidro (entre 1,1% a 25%) um volume de gasolina pura consumida por uma frota superior a 10 milhões de veículos a gasolina, evitando, assim, nesse período, emissões de gás carbônico da ordem de 110 milhões de toneladas. A substituição de gasolina por etanol entre 1976 e 2004 representou uma economia de divisas da ordem de US\$ 61 bilhões (dólares de dezembro de 2004), ou ainda US\$ 121 bilhões se forem contabilizados os juros, segundo cálculos da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA).

Outro fato importante na época, que contribuiu para a criação do PNA, foi o preço do açúcar no mercado internacional, que vinha decaindo rapidamente (*Gráfico 3*), o que tornou interessante às usinas a mudança de produção de açúcar para álcool. De modo geral, as etapas na produção do açúcar e do álcool diferem apenas a partir da obtenção do suco, que poderá ser fermentado para a produção de álcool ou tratado para a produção de açúcar.

---

<sup>1</sup> Este número não inclui os veículos *flex-fuel*, que iniciaram sua produção a partir de março de 2003.

Gráfico 3 – Preços de Açúcar Bruto (US cents/lb)



Fonte: Alonso e Buzzanell, 1991, nº4: World Almanac, 1996

De maneira geral o Proálcool pode ser dividido em cinco fases distintas (Gráfico 6):

### Fase Inicial - 1975 a 1979

Nessa fase, os esforços foram dirigidos principalmente para a produção de álcool anidro para a mistura com a gasolina<sup>2</sup>, com aproveitamento da infraestrutura existente, sobretudo a utilização de destilarias anexas às usinas de açúcar. A produção alcooleira passou de 600 milhões de l/ano (1975-76) para 3,4 bilhões de l/ano (1979-80). Para a implementação do Programa, foi estabelecido um processo, que ficou conhecido como subsídio cruzado, de transferência de recursos arrecadados a partir de parcelas dos preços da gasolina, diesel e lubrificantes para compensar os custos de produção do álcool, de modo a viabilizá-lo como combustível. Assim, foi estabelecida uma relação de paridade de preços entre o álcool e o açúcar para o produtor e incentivos de financiamento para as fases agrícola e industrial de produção do combustível.

Além disso, com a criação do veículo movido a álcool, a partir de 1979, estabeleceram-se políticas de preços relativos entre o álcool hidratado e a gasolina nos postos de revenda, de forma a estimular o uso do novo combustível.

<sup>2</sup> O Decreto nº 80.762/77 estabelecia a adição de 20% de álcool anidro à gasolina.

## Fase de Afirmação - 1980 a 1986

O segundo choque do petróleo (1979-80) triplicou o preço do barril de petróleo e as compras desse produto passaram a representar 41% da pauta de importações brasileiras em 1980. O governo, então, resolveu adotar medidas para a implementação da produção e utilização em larga escala de carros movidos a álcool no país. Esta segunda fase do PNA, marcada pela produção de álcool hidratado, ficou conhecida como Proálcool.

Dentre os principais instrumentos utilizados pelo governo para incentivar o uso do carro a álcool estavam<sup>3</sup>:

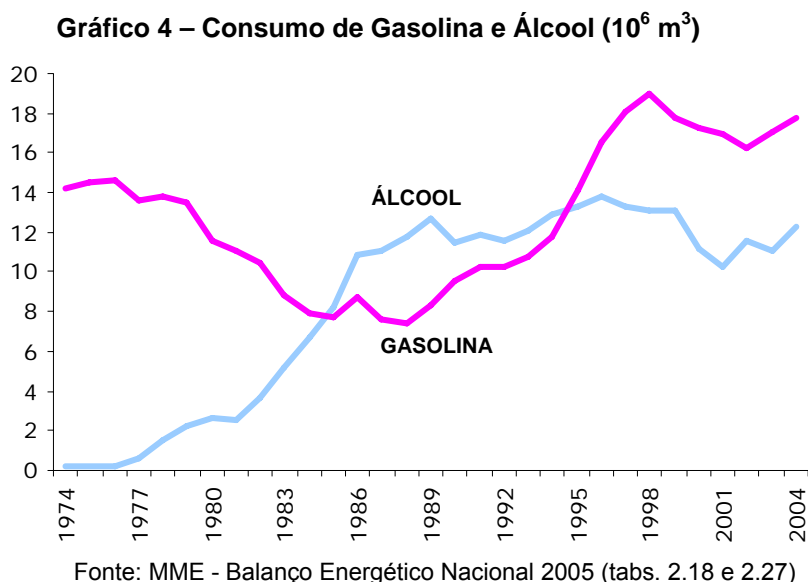
- i. O preço do álcool hidratado, que foi inicialmente fixado a 65% do preço da gasolina (em 1980) e, posteriormente, atingiu 59% (em 1982), representou um ganho real para o consumidor deste combustível, visto que a equiparação dos preços entre gasolina e álcool hidratado, ajustado pelo menor poder calorífico do álcool em relação à gasolina, acontece quando o preço do álcool hidratado é de cerca de 70% do preço da gasolina na bomba. De modo geral, o preço do álcool hidratado nesse período era cerca de 40% a 45% inferior ao da gasolina;
- ii. Os impostos associados à compra de veículos novos, que foram reduzidos para os carros a álcool e elevados para os a gasolina, produzindo um diferencial de 5%;
- iii. A cobrança do IPVA (Imposto de Propriedade de Veículos Automotores) 3% menor para os automóveis movidos a álcool em comparação aos movidos à gasolina.

Além disso, foram criados organismos como o Conselho Nacional do Álcool - CNAL e a Comissão Executiva Nacional do Álcool - CENAL para agilizar o programa. Como resultado, a produção alcooleira atingiu um pico de 12,3 bilhões de litros em 1986-87, superando em 15% a meta inicial do governo de 10,7 bilhões de l/ano para o fim do período. A proporção de carros movidos a álcool no total de automóveis de ciclo Otto (passageiros e de uso misto) produzidos no país aumentou de 0,46% em 1979 para 24,7% em 1980, atingindo um teto de 76,1% em 1986. Todo este processo levou a uma forte redução da demanda por gasolina ao longo da década de 1980 (*Gráfico 4*).

---

<sup>3</sup> Ver OLIVEIRA, A. "Reassessing the Brazilian alcohol programme". Energy Policy. [s.l.] Butterworth-Heinemann Ltd, january/february, 1991, p.47-55.

Finalmente, cabe ressaltar que o forte incremento na produção de álcool neste período se deu através da implantação de um grande número de destilarias autônomas (dedicadas exclusivamente à produção de álcool) e da expansão da produção de cana-de-açúcar para áreas novas.



### Fase de Estagnação - 1986 a 1995

A partir de 1986, o cenário internacional do mercado petrolífero é alterado. Os preços do barril de óleo bruto caíram de um patamar de US\$ 30 a US\$ 40 para um nível de US\$ 12 a US\$ 20. Esse novo período, denominado “Contra-choque do petróleo”, colocou em xeque os programas de substituição de hidrocarbonetos fósseis e de uso eficiente da energia em todo o mundo. Na política energética brasileira, seus efeitos foram sentidos a partir de 1988, coincidindo com um período de escassez de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos energéticos alternativos, resultando num sensível decréscimo no volume de investimentos nos projetos de produção interna de energia.

A oferta de álcool no período não pôde acompanhar o crescimento descompassado da demanda (*Gráfico 5*), com as vendas de carro a álcool atingindo níveis superiores a 75% das vendas totais de veículos de ciclo Otto para o mercado interno em 1986.

Os baixos preços pagos aos produtores de álcool a partir da abrupta queda dos preços internacionais do petróleo (que se iniciou ao final de 1985) impediram a elevação da produção interna do produto. Por outro lado, a demanda pelo álcool hidratado, por parte dos consumidores, continuou sendo estimulada por meio da manutenção de preços relativamente atrativos, comparados aos da gasolina, e da manutenção de menores impostos nos veículos a álcool comparados aos à gasolina. Essa combinação de desestímulo à produção de álcool e de estímulo à sua demanda, pelos fatores de mercado e intervenção governamental assinalados, gerou a crise de abastecimento da entressafra 1989-90. Vale ressaltar que, no período anterior à crise de abastecimento, houve desestímulo tanto à produção de álcool, conforme citado, quanto à produção e exportação de açúcar, que àquela época tinham seus preços fixados pelo governo.

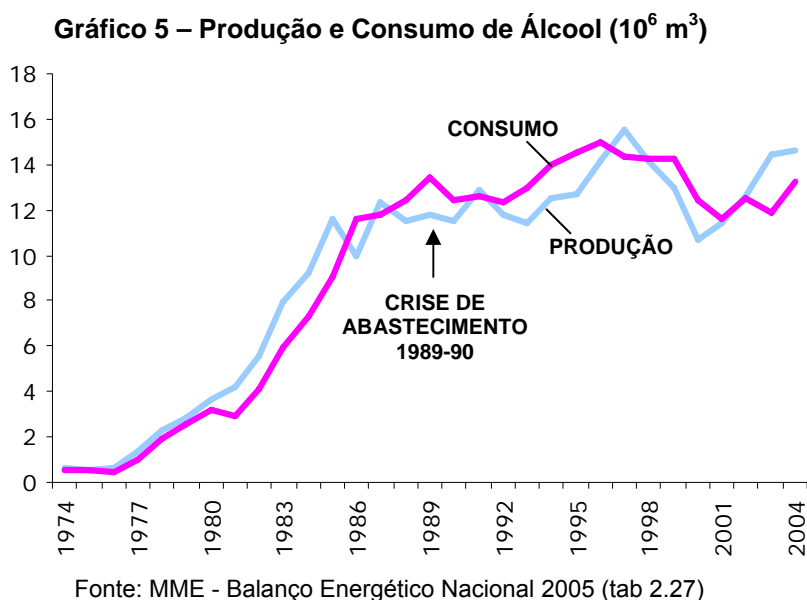
A produção de álcool manteve-se em níveis praticamente constantes, atingindo 11,6 bilhões de litros na safra 1985-86; 10,0 bilhões em 1986-87; 12,3 bilhões em 1987-88; 11,5 bilhões em 1988-89 e 11,8 bilhões em 1989-90 (MME - Balanço Energético Nacional 2004). As produções brasileiras de açúcar no período, segundo a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), foram de 7,8 milhões de toneladas na safra 1985-86; 8,2 milhões em 1986-87; 7,9 milhões em 1987-88; 8,1 milhões em 1988-89 e 7,3 milhões de toneladas em 1989-90. As exportações de açúcar, por sua vez, reduziram-se nesse período, passando de 1,9 milhões de toneladas na safra 1985-86 para 1,1 milhão de toneladas na safra 1989-90.

Apesar de seu caráter efêmero, a crise de abastecimento de álcool do fim dos anos 1980 afetou a credibilidade do Proálcool que, juntamente com a redução de estímulos ao seu uso, provocou nos anos seguintes um significativo decréscimo da demanda e, conseqüentemente, das vendas de automóveis movidos por esse combustível.

Deve-se acrescentar ainda outros fatores determinantes, que associados também contribuíram para a redução da produção dos veículos a álcool. No final da década de 1980 e início da década de 1990, o cenário internacional dos preços do petróleo sofreu fortes alterações, tendo o preço do barril diminuído sensivelmente. Tal realidade, que se manteve praticamente como a tônica dos dez anos seguintes, somou-se à tendência cada vez mais forte da indústria automobilística em optar pela fabricação de modelos e motores padronizados mundialmente (na versão à gasolina). No início da década de 1990, houve também a liberação no Brasil das importações de veículos automotivos (produzidos, na sua origem, exclusivamente nas versões gasolina e diesel) e, ainda, a introdução da política de

incentivos para o “carro popular” – de até 1000 cilindradas – desenvolvido para ser movido à gasolina.

A crise de abastecimento de álcool do final da década de 1980 somente foi superada com a introdução no mercado do que se convencionou chamar de mistura MEG, que substituíra, com igual desempenho, o álcool hidratado. Essa mistura (60% de álcool hidratado, 34% de metanol e 6% de gasolina) obrigou o país a realizar importações de etanol e metanol (que no período entre 1989-95 superaram 1 bilhão de litros) para garantir o abastecimento do mercado ao longo da década de 1990. A mistura atendeu as necessidades do mercado e não foram constatados problemas sérios de contaminação e de saúde pública, apesar da toxicidade do metanol.



### Fase de Redefinição - 1995 a 2000

Nesta fase, os mercados de álcool combustível, tanto anidro quanto hidratado, iniciam seu processo de desregulamentação, finalizado em 1999. A partir deste ano, os preços do álcool combustível passaram a ser liberados em todas as suas fases de produção, distribuição e revenda, sendo os mesmos determinados pelas condições de oferta e demanda. Além disso, de cerca de 1,1 milhão de toneladas de açúcar que o país exportava em 1990, passou-se neste período à exportação de até 10 milhões de toneladas

por ano, o que levou o Brasil a dominar o mercado internacional, barateando o preço do produto.

Como consequência de tais mudanças, foi criado, por meio do Decreto de 21 de agosto de 1997, o Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool - CIMA, com o intuito de direcionar políticas para o setor sucroalcooleiro e coordenar a produção de seus produtos (altamente competitivos entre si): açúcar para o mercado interno, açúcar para o mercado externo, álcool para o mercado interno e álcool para o mercado externo.

### **Fase Atual - 2000 a 2005**

Trinta anos depois do início do Proálcool, o Brasil vive agora uma nova expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. O plantio avança além das áreas tradicionais, do interior paulista e do Nordeste, e espalha-se pelos cerrados. A nova escalada da produção não é um movimento comandado pelo governo, como a ocorrida no final da década de 1970, quando o Brasil encontrou no álcool a solução para enfrentar o aumento abrupto dos preços do petróleo que importava. A corrida para ampliar unidades e construir novas usinas é movida por decisões da iniciativa privada, convicta de que o álcool terá, a partir de agora, um papel cada vez mais importante como combustível, no Brasil e no mundo.

A tecnologia dos motores *flex-fuel* veio dar novo fôlego ao consumo interno de álcool. O carro bicomcombustível, que pode ser movido à gasolina, álcool ou uma mistura dos dois combustíveis, foi introduzido no país em março de 2003 e conquistou rapidamente o consumidor. Em 2005, esta opção de motor já estava presente em quase todos os modelos das montadoras e as vendas dos automóveis bicomcombustível ultrapassaram pela primeira vez a dos movidos à gasolina na corrida do mercado interno. Diante do nível elevado das cotações de petróleo no mercado internacional, a expectativa da indústria automobilística, segundo a Anfavea, é que essa participação se amplie ainda mais, atingindo 75% dos carros novos vendidos em 2006. A relação atual de preços faz com que o usuário dos modelos bicomcombustível dê preferência ao álcool.

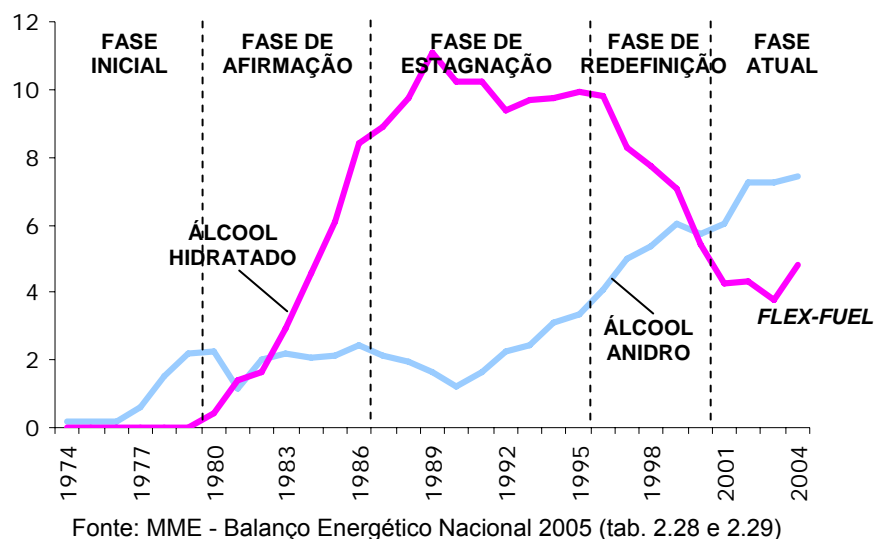
No plano internacional, os custos de produção mais baixos e os recursos naturais abundantes tornam o Brasil o maior candidato ao papel de supridor mundial de etanol. O mercado japonês é o mais promissor: o governo daquele país já autorizou a mistura de até 3% de etanol na gasolina, de forma não obrigatória. Se houver uma decisão

tornando a mistura obrigatória, será criado um mercado de 1,5 bilhão de litros por ano, volume que aquele país certamente terá que importar. Além do Japão, muitos outros países já têm projetos aprovados de mistura de etanol à gasolina. Na União Européia, a Diretiva dos Biocombustíveis estabelece metas não mandatórias de uma participação de 2% em 2005 e de 5,75% em 2010 de biocombustíveis. O cumprimento da meta exigirá a produção de 13 bilhões de litros de etanol por ano. Embora o objetivo da União Européia seja atender a essa demanda com produção local, a partir de beterraba e de cereais, com custos certamente mais altos que os do processo que utiliza cana-de-açúcar, existe uma forte possibilidade de uma parte desta demanda ser provida com importações.

Os Estados Unidos, embora estejam conseguindo aumentar rapidamente sua produção de etanol a partir do milho, no ano passado tiveram que recorrer à importações do álcool brasileiro. A China também tem uma produção crescente e planos de impor a mistura, mas poderá ter que recorrer a importações para atender seu enorme mercado. Na Índia, a mistura de etanol começou em algumas províncias. Como problemas climáticos afetaram a produção de álcool, o país foi o maior importador do produto brasileiro no ano passado. Com o aumento das vendas para uso como combustível, as exportações de álcool em 2005 deram um salto no Brasil, atingindo 2,6 bilhões de litros exportados, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX).

Às perspectivas de elevação do consumo do álcool no mercado interno e externo se somam a um momento favorável para o aumento das exportações de açúcar, depois da vitória brasileira na Organização Mundial do Comércio contra os subsídios concedidos pela União Européia a seus produtores, e o resultado é o início de uma onda de crescimento sem precedentes para o setor sucroalcooleiro. Um estudo da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA) aponta que o setor terá que atender até 2010 uma demanda adicional de 10 bilhões de litros de álcool, além de 7 milhões de toneladas de açúcar. A produção da safra 2006/07, iniciada em abril, deve ser de 17 bilhões de litros de álcool e 26 milhões de toneladas de açúcar. Para incrementar a produção, ainda segundo a UNICA, será preciso levar mais 180 milhões de toneladas de cana para a moagem, e expandir os canaviais em cerca de 2,5 milhões de hectares até 2010. Cerca de 40 novas usinas estão em projeto ou em fase de implantação, com um total de investimentos calculado em US\$ 3 bilhões. A maior parte delas concentra-se no oeste do estado de São Paulo, ocupando espaço aberto pelo deslocamento da pecuária. Esses investimentos deverão criar 360 mil novos empregos diretos e 900 mil indiretos.

**Gráfico 6 – Consumo de Álcool ( $10^6 \text{ m}^3$ )**  
**Fases do PNA / Proálcool**



## 2.4 O Consumo de Gasolina no Brasil: Principais Eventos (1973-2005)

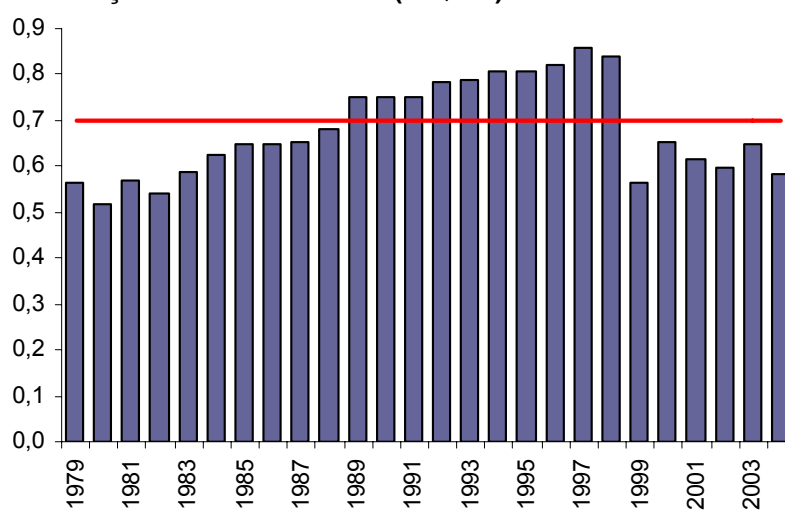
Ao longo dos últimos 30 anos o consumo de gasolina no país foi afetado de forma significativa por diversos eventos (*Gráfico 10*). Nos anos de 1973 e 1979 os Choques do Petróleo promoveram elevações nunca vistas antes nos preços do barril de óleo, com fortes impactos no consumo de gasolina e dos demais derivados. Embora o primeiro choque em 1973 tenha elevado os preços da gasolina no país de US\$ 23,8 para US\$ 42,4<sup>4</sup> por barril equivalente petróleo (bep)<sup>5</sup>, a demanda por gasolina continuou a crescer (como pode ser observado no *Gráfico 8*) e somente em 1976 iniciou uma tendência de queda, acentuada pelo segundo choque, que perdurou até o ano de 1988. Esta persistência do consumo, apesar da forte elevação de preços, é uma evidência empírica, para o caso brasileiro, da inelasticidade-preço da demanda por combustíveis no curto prazo. A esse respeito ainda cabe lembrar, como dito anteriormente, que à época do primeiro choque o petróleo já era a principal fonte energética do Brasil, representando cerca de 46% da oferta interna de energia. Além disso, o grau de dependência do petróleo importado naquele momento chegava a cerca de 77% do volume consumido no país. Esses são alguns dos fatores estruturais por trás da persistência do consumo, logo após o primeiro choque.

<sup>4</sup> Dólar corrente convertido a dólar constante de 2004 pelo IPC dos EUA – Fonte: MME - Balanço Energético Nacional 2005 (tab. 7.10)

<sup>5</sup> bep: sigla de “barril equivalente de petróleo”. Unidade de medida de energia equivalente, por convenção, a 1.390 Mcal.

A partir do segundo choque do petróleo, em 1979, a gasolina passa a concorrer diretamente com um combustível alternativo: o álcool hidratado. Era o início da segunda fase do Programa Nacional do Álcool (PNA), que ficou conhecida como Proálcool. É nesta fase que se inicia a produção dos carros movidos a álcool no Brasil. Conforme já discutido no item 2.3 deste estudo, a produção e consumo de álcool hidratado, assim como a fabricação de carros movidos a álcool, tiveram forte incentivo do Governo, através da redução de impostos, financiamento barato e principalmente política de preços. O preço do álcool hidratado, que à época era controlado pelo Governo, era fixado em relação ao preço da gasolina de modo a representar um ganho real para o consumidor que optasse pelo uso do álcool. Para que isto ocorresse bastava que o preço do álcool hidratado ficasse abaixo de 70% do preço da gasolina na bomba.<sup>6</sup> Conforme o *Gráfico 7* abaixo, vemos que até o ano de 1988 a relação de preços entre o álcool hidratado e a gasolina se manteve em patamares bastante favoráveis ao álcool. É neste sentido que se explica o forte declínio do consumo de gasolina no país para o período de 1979 a 1987.

**Gráfico 7 – Relação Álcool Hidratado/Gasolina**  
Preços Médios Correntes (US\$/m<sup>3</sup>)<sup>1</sup>



Fonte: MME - Balanço Energético Nacional 2005 (tab. 7.9)

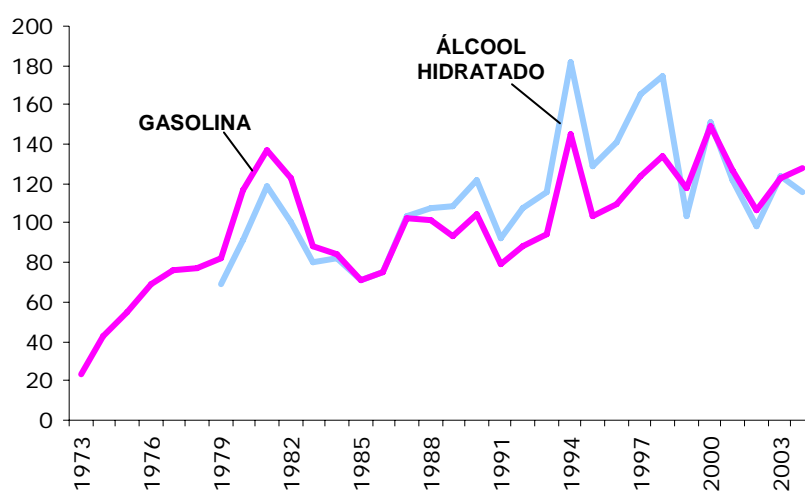
(1) Moeda nacional corrente convertida a dólar corrente pela taxa média anual do câmbio. Preços ao consumidor com impostos.

O ano de 1988 marca a retomada do consumo de gasolina no país. Por mais de uma década (1988 a 1998) este consumo cresceu de forma contínua (*Gráfico 9*), a uma taxa média de 9,9% ao ano. Um fator fundamental por trás deste processo de retomada do consumo foi o chamado “Contra-choque do petróleo”, que levou a uma forte redução nos preços do óleo no mercado internacional, em 1986. Conforme o *Gráfico 8* abaixo, vemos

<sup>6</sup> Este coeficiente decorre da diferença de poder calorífico do álcool em relação à gasolina.

que no período de 1986 até início dos anos de 1990, o preço da gasolina no país reverteu a tendência de alta e se manteve estável ou com alguma diminuição, refletindo as reduções do preço do petróleo no mercado internacional. Por outro lado, o preço do álcool hidratado (tomado em termos de barril equivalente petróleo – bep<sup>7</sup>) se manteve acima dos preços da gasolina neste período. Esta mudança nos preços relativos dos combustíveis já estava implícita na trajetória das relações de preço álcool hidratado/gasolina do *Gráfico 7*.

**Gráfico 8 – Preços da Gasolina e Álcool Hidratado (US\$/ bep)**  
**Preços Médios Constantes (preços de 2004)**



Fonte: MME - Balanço Energético Nacional 2005 (tab. 7.10)

É importante destacar que, embora estivesse em curso uma mudança nos preços relativos entre gasolina e álcool hidratado desde 1986, invertendo-se a tendência favorável ao álcool presente no período anterior, o consumo de álcool hidratado continuou a crescer até 1989, baseado principalmente nas políticas governamentais do Proálcool<sup>8</sup>. A partir de março daquele mesmo ano, no entanto, os donos de automóveis a álcool tiveram de passar a conviver com a falta do combustível (ROPPA, B. F, 2005: p.34). Em função desta crise de abastecimento, houve uma queda na demanda de carros novos a álcool e passou-se a converter os veículos existentes movidos a álcool para gasolina, apesar do alto custo de tal procedimento<sup>9</sup>. Naturalmente, este processo de conversão de veículos a álcool para gasolina resultou num forte incremento ao consumo de gasolina no país, visto que os

<sup>7</sup> A comparação entre os preços da gasolina e do álcool hidratado em US\$/bep, ao invés de US\$/m<sup>3</sup>, é usual para se ajustar as diferenças de poder calorífico entre os dois combustíveis.

<sup>8</sup> Para uma explicação detalhada, ver item 2.3.

<sup>9</sup> Apesar de ser mais interessante economicamente vender o carro a álcool e comprar outro movido à gasolina, não havia demanda para os primeiros. Então, a conversão era a única saída para um menor prejuízo por parte dos possuidores de automóveis movidos a álcool (ROPPA, B. F, 2005: p.34).

carros movidos a álcool representavam neste momento a maior parte da frota de veículos de ciclo Otto.

Ainda na década de 1990, principalmente após 1994, o consumo de gasolina volta a crescer fortemente. De 1994 a 1999 este crescimento foi de cerca de 10% ao ano, enquanto a venda dos demais combustíveis aumentou a uma taxa média de 3,2% ao ano. Este aumento no consumo de gasolina se deu como resultado da abertura da economia, a qual permitiu que os preços dos bens importados caíssem, inclusive carros, e também do programa de estabilização promovido pelo governo, que derrubou os índices de inflação para menos de 10% ao ano. (ALVES & BUENO, 2003).

No período de 1999 a 2002 o consumo de gasolina no Brasil voltou a cair. Vários fatores contribuíram para esta redução, alguns de caráter conjuntural, outros de caráter institucional e regulatório. Entre estes, o mais importante foi o estabelecimento da Lei n.º 9.478/97, em 6 de agosto de 1997, a chamada Lei do Petróleo, que inicia o processo de liberalização do mercado de combustíveis no país. A partir desta lei foram criados o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, vinculado ao Ministério das Minas e Energia e responsável por estabelecer as diretrizes da política energética nacional, e a Agência Nacional do Petróleo – ANP, órgão regulador da indústria do petróleo.

A alteração do marco legal visou à introdução de um ambiente mais competitivo e a inserção da indústria do petróleo brasileira no cenário internacional. Dentro desse contexto, o Estado como operador e proprietário de ativos no setor produtivo cedeu lugar ao Estado regulador, responsável por assegurar a liberdade dos agentes privados em busca de eficiência, progresso e qualidade de serviço, além de proteger os consumidores contra abusos de poder de mercado.

A Lei n.º 9.478/97 previa que durante um período de transição de no máximo trinta e seis meses, contados a partir da sua publicação e encerrando-se em agosto de 2000, os reajustes e revisões dos preços dos derivados básicos de petróleo e gás natural, praticados pelas refinarias e pelas unidades de processamento, estariam sob as diretrizes dos Ministros da Fazenda - MF e de Minas e Energia - MME. As medidas tomadas durante esse período de transição, isto é, liberação dos preços e eliminação gradual dos subsídios existentes nos derivados de petróleo, tinham o claro objetivo de sinalizar a abertura desse setor ao livre mercado. O início deste processo de abertura econômica e alinhamento dos preços nacionais ao mercado internacional foi marcado pela edição da Portaria MF/MME n.º 3/98, de 27 de julho de 1998, que revogou a sistemática até então existente de formação de

preços dos derivados e estabeleceu uma nova estrutura de preço do petróleo e derivados no país.

Na nova sistemática, o MF e o MME, em conjunto com a Petrobras, definiram um preço de realização inicial,  $P_0$ , para cada derivado, refletindo o custo operacional da empresa acrescido de uma margem de lucro. A partir de 1º de agosto de 1998, o preço de realização de cada derivado passou a variar mensalmente, em função dos seus preços no mercado internacional. Esse preço era atualizado todo dia primeiro de cada mês de acordo com a variação cambial e com as cotações dos produtos nos mercados de *US-Gulf*.

Além disso, o novo marco regulatório permitiu a entrada dos chamados “postos de bandeira branca”<sup>10</sup> no mercado de combustíveis. A proliferação deste tipo de posto de combustível e o surgimento de um número expressivo de novas distribuidoras de combustíveis coincidem com o crescente processo de adulteração e fraude da gasolina neste período. Na medida em que o preço da gasolina se elevava no mercado interno, em função de seu gradual alinhamento com os preços internacionais, alguns postos de gasolina, buscando manter ou ampliar sua competitividade sobre os demais, passaram a misturar solventes à gasolina e/ou adicionar quantidades de álcool anidro (que não paga impostos) em teores superiores àqueles estabelecidos por lei. Este é um dos fatores apontados como a causa da queda do consumo de gasolina neste período.

A adulteração e a fraude da gasolina ocorrem porque a ANP não possui informações suficientes para calcular a quantidade efetivamente vendida da chamada gasolina “C” (gasolina pura – “A” – adicionada de um percentual de álcool anidro que varia entre 20 e 25%, de acordo com a escolha do governo), pois apenas dispõe de dados sobre a venda bruta de gasolina de cada posto de venda de combustíveis, sem ter conhecimento se tal estabelecimento adicionou algum outro tipo de substância à gasolina vendida. (ROPPE, B. F, 2005).

Um outro fator relevante neste período é a liberação do uso de GNV (Gás Natural Veicular) para veículos particulares em 1997, que também contribuiu para o deslocamento do consumo da gasolina. De 1997 a 2003 o consumo de GNV no país evoluiu de menos de 50 mil m<sup>3</sup> para mais de 1,2 milhão de m<sup>3</sup>.

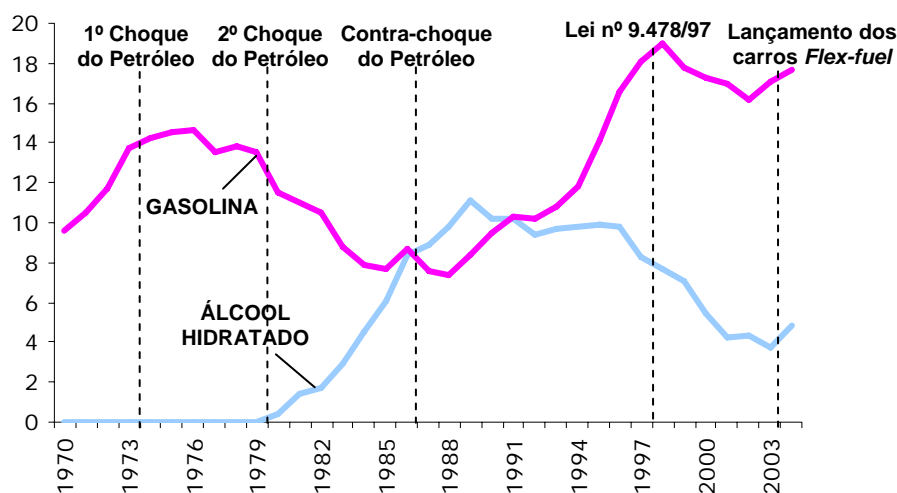
---

<sup>10</sup> Bandeira Branca: postos revendedores varejistas que adquirem combustíveis de vários distribuidores diferentes e identificam o fornecedor do combustível em cada bomba abastecedora do posto (matéria regulamentada pela Portaria ANP n.º 116/00)

Portanto, a ação conjunta do aumento dos preços dos combustíveis neste período (decorrente da abertura do mercado de combustíveis), associada aos processos de adulteração e fraude da gasolina (que deslocam seu consumo), a utilização do GNV e também ao baixo crescimento econômico deste período (marcado pela grave crise energética de 2001) explicam a forte redução do consumo de gasolina entre 1999 a 2002, depois de um período de quase dez anos de crescimento contínuo.

Nos anos de 2003 e 2004, apesar dos aumentos nos preços da gasolina em relação a 2002 (embora ainda mais baixos que os preços praticados em 2000/2001), o consumo deste combustível volta a crescer. Dados da Agência Nacional do Petróleo – ANP para o ano de 2005 confirmam esta tendência.

**Gráfico 9 – Consumo de Gasolina e Álcool Hidratado ( $10^6 \text{ m}^3$ )**  
**Principais Eventos (1970 – 2004)**



Fonte: MME - Balanço Energético Nacional 2005 (tabs. 2.18 e 2.29)

## 2.5 O Advento dos Carros Bicombustível

O desenvolvimento de um motor bicombustível, que trabalha com álcool ou gasolina, ou qualquer teor de mistura dos dois combustíveis, começou no início dos anos 1990. No entanto, o primeiro veículo *flex-fuel* só foi lançado no Brasil em março de 2003 pela Volkswagen, utilizando um sistema desenvolvido pela Bosch.

Esta nova tecnologia consiste em um sensor que faz o reconhecimento automático do teor de oxigênio presente na combustão, detectando assim a presença do álcool e seu percentual na mistura com a gasolina. A informação, então, é passada para a unidade de comando do sistema de injeção eletrônica, que realiza de forma automática a adaptação de todas as funções de gerenciamento do motor ao combustível usado.

O motor bicomcombustível dá ampla liberdade de escolha aos usuários, que podem escolher o combustível que vão usar depois de calcular a relação de preços na bomba entre o álcool e a gasolina, e economizar com isto. Como o consumo relativo é diferente, o uso do álcool é vantajoso quando seu preço for inferior a 70% do da gasolina. Com o encarecimento do petróleo no mercado mundial, usar álcool como combustível voltou a ser vantajoso para o motorista. Em alguns estados, como São Paulo (maior produtor nacional de álcool), ele chega a custar metade do preço da gasolina nas épocas de safra da cana-de-açúcar.

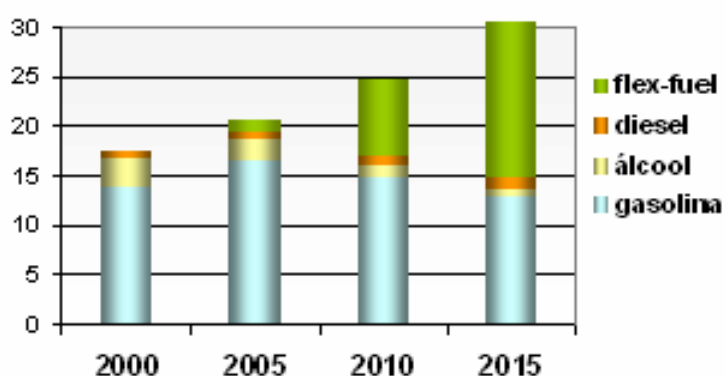
Segundo estudos da Anfavea, estima-se que nos próximos anos ingressem no mercado nacional pelo menos 1 milhão de veículos/ano do tipo *flex-fuel*, demandando cerca de 1,5 bilhão de litros de álcool hidratado/ano (estima-se que esses veículos devem consumir uma média de 2 mil litros/ano). Entretanto, deve-se descontar uma redução de 500 mil litros/ano, que deverá deixar de ser consumida pela antiga frota de veículos a álcool, em fase de sucateamento.

A participação dos veículos *flex-fuel* nas vendas nacionais de veículos novos tem crescido de forma acelerada. Segundo estudo prospectivo da Petrobras, a participação do *flex-fuel* nas vendas de automóveis deve ultrapassar os 70% em 2006, atingindo cerca de 80% em 2008-2010. Os automóveis movidos exclusivamente à gasolina devem ficar restritos a categoria *top* de venda das montadoras, a produção de algumas montadoras que ainda não incorporaram a nova tecnologia (Mercedes, Honda, Toyota e Hyundai), aos importados e a uma parcela restrita de modelos que continuarão a oferecer a opção à gasolina.

No *Gráfico 10* abaixo, segundo o mesmo estudo da Petrobras, até o ano de 2015, cerca de metade da frota de veículos leves no Brasil deve ser composta de veículos *flex-fuel*. Este fato tem trazido enorme preocupação para a estatal, que teme que um crescimento explosivo da demanda de álcool hidratado para atender os veículos *flex-fuel*, leve a uma forte redução do consumo de gasolina, gerando, em consequência, excedentes crescentes deste derivado no país.

A preferência pelo *flex-fuel*, porém, deve levar ao final da produção dos carros com motor a álcool. Depois de atingir níveis muito baixos de participação no mercado, em torno de 0,1% em 1997 e 1998, as vendas de carros a álcool haviam registrado ligeiro aumento. Entretanto, em face da forte concorrência dos carros bicomcombustível, parece inevitável o seu desaparecimento nos próximos anos.

**Gráfico 10**  
**Frota de Veículos Leves no Brasil**  
(milhões de unidades)



Obs: os veículos a GNV foram considerados nas vendas a gasolina e *flex-fuel*

Fonte: ESTRATEGIA/EMN

### 3 MODELOS DE DEMANDA POR COMBUSTÍVEIS

#### 3.1 Modelos de Demanda por Combustíveis no Mundo

Existem inúmeros trabalhos em vários países que procuram estudar o consumo de combustível a partir da utilização das mais diversas especificações e métodos econométricos. Alguns deles serão apresentados a seguir.

Dahl & Sterner (1991) conduziram uma pesquisa sobre diversos estudos que enfocaram a demanda por gasolina na qual classificaram os trabalhos por tipo de dados e por dez diferentes categorias de modelos. Concluíram que os principais parâmetros utilizados neste tipo de análise têm sido o preço do combustível e a renda do consumidor, e que há semelhanças consideráveis com respeito aos valores obtidos para as elasticidades preço e renda, tanto de curto prazo como de longo prazo, dentre os vários estudos.

De acordo com os autores, o modelo mais simples é o modelo estático, no qual a demanda por gasolina é função de seu preço real e da renda real do consumidor.

$C_{gas_t} = f_1 (P_{gas_t}, Y_t)$  (1) onde:  $C_{gas_t}$  é demanda por gasolina

$P_{gas_t}$  é preço real da gasolina

$Y_t$  é renda real do consumidor

Outros modelos, também apresentados por Dahl e Sterner (1991), incluem como variável relevante para determinação da demanda por gasolina, além do preço real do combustível e da renda real do consumidor, o estoque de veículos movidos pelo combustível em questão. Este tipo de modelo encontra-se representado em (2).

$C_{gas_t} = f_2 (P_{gas_t}, Y_t, V_t)$  (2) onde:  $V_t$  é o estoque de veículos movidos à gasolina

Uma outra especificação do modelo acima são os chamados modelos de características do veículo, que se encontra representado em (3). Nestes modelos assume-se que as características do automóvel (principalmente sua eficiência ao consumo, influenciada pelo tamanho e peso do veículo) são variáveis fundamentais, além das já citadas, para análise da evolução do consumo, pois são estas que capturam o ajustamento de longo prazo na demanda por combustível.

$Cgas_t = f_3 (Pgas_t, Y_t, V_t, CHAR)$  (3) onde: *CHAR* são as características do veículo movido à gasolina em termos de eficiência

A pesquisa de Dahl e Sterner (1991) ainda considera um segundo conjunto de modelos de caráter dinâmico, que tenta capturar o processo de adaptação do consumidor a variações em sua renda e no preço do combustível no tempo. O modelo geralmente usado para representar este comportamento é o modelo de ajustamento parcial, também chamado de *lagged endogenous model*, que estima a quantidade demandada como função do preço real da gasolina, da renda real e da quantidade de gasolina demandada no período anterior. Este tipo de modelo encontra-se representado em (4).

$Cgas_t = f_4 (Pgas_t, Y_t, Cgas_{t-1})$  (4) onde:  $Cgas_{t-1}$  é demanda por gasolina no período anterior

Há também modelos dinâmicos que relaxam a hipótese usada em (4) de que o preço e a renda têm estruturas de defasagem idênticas. Estes modelos são chamados de modelos de defasagens distribuídas. A forma mais simples de apresentar este modelo pode ser vista em (5).

$$Cgas_t = f_5 (\sum Pgas_{t-i}, \sum Y_{t-i}) \quad (5)$$

Finalmente, os autores destacam a possibilidade de modelos que mesclam os chamados *lagged endogenous model* com o modelo de defasagens distribuídas. Estes modelos são conhecidos na literatura como *model lagged endogenous other lag* e geralmente são utilizados na ausência de informação nos dados coletados. Este tipo de modelo encontra-se representado em (6).

$$Cgas_t = f_6 (\sum Pgas_{t-i}, \sum Y_{t-i}, Cgas_{t-1}) \quad (6)$$

Outro trabalho sobre a demanda por gasolina é o realizado por Bentzen (1994) na Dinamarca, que empregou técnicas de cointegração a modelos baseados na relação entre a quantidade de gasolina consumida em veículos de passageiros, estoque de veículos e o preço real da gasolina.

Espey (1998) realizou uma avaliação baseada em meta-análise, com objetivo de determinar os fatores que afetaram sistematicamente as estimativas de elasticidade-preço e de elasticidade-renda obtidas para a demanda por gasolina. Quatro modelos econométricos

foram estimados utilizando como variáveis dependentes as estimativas de elasticidade-preço e renda de curto e de longo prazo, obtidas em estudos conduzidos previamente.

Ramanathan (1999) realizou um estudo para determinar as elasticidades de curto e longo prazo da demanda por gasolina para a Índia, no qual empregou modelos que apresentam o consumo per capita por gasolina como uma função da renda real per capita e de um índice de preços de gasolina, semelhantes aos indicados pelas seguintes equações:

$$\log CG_t = \alpha + \beta \log P_t + \delta \log RE_t + e_t \quad (1)$$

$$\log CG_t = \alpha + \beta \log P_t + \delta \log RE_t + \gamma \log CG_{t-1} + e_t \quad (2)$$

onde:  $CG_t$ : consumo per capita de gasolina

$P_t$ : preço da gasolina, expresso em valor real

$RE_t$ : renda agregada per capita, expressa em valor real.

A equação (1) especifica a demanda por gasolina através de suas variáveis básicas (preço e renda), enquanto que a equação (2) utiliza-se de um modelo dinâmico de ajustamento parcial, com uma defasagem, a fim de captar processos de adaptação do consumidor à variação nos parâmetros, que requerem tempo para serem plenamente implementados.

Mais recentemente, Kayser (2000) promoveu um estudo relativo à demanda por gasolina que buscou determinar as elasticidade-preço e elasticidade-renda empregando um modelo que considerou a demanda por gasolina e por automóveis como decisões tomadas de forma simultânea. Para a obtenção de dados relativos ao consumo individual, empregou-se um procedimento de painel, denominado *Panel Study of Income Dynamics (PSID)*. Esses dados foram empregados conjuntamente com preços de gasolina e medidas de eficiência de combustível.

Vários estudos, ainda, tentaram analisar a relação de longo prazo entre consumo de energia e o PIB, utilizando técnicas de cointegração e de vetor de correção de erros. Exemplos destes procedimentos são os trabalhos de Glasure & Lee (1998), que aplicaram técnicas de cointegração para averiguar o sentido da causalidade entre o consumo de energia e o PIB, aplicado às economias da Coreia do Sul e de Cingapura. Também Masih & Masih (1997) conduziram um trabalho com propósito semelhante, que consistiu em examinar a questão da causalidade entre o consumo de energia e a renda real,

considerando a influência dos preços uma terceira variável. A análise foi aplicada às economias da Coreia do Sul e de Taiwan, por se tratarem de duas economias altamente dependentes de energia.

### **3.2 Modelos de Demanda por Combustíveis no Brasil**

No Brasil, há poucos estudos relativos à estimação da função demanda por gasolina, apesar da importância deste combustível em nossa matriz energética. É importante notar também que, para o caso brasileiro, os autores que se dedicaram a esta questão têm incluído, além do preço da gasolina e da renda do consumidor, o álcool combustível como uma variável importante na especificação da função de demanda por gasolina. Adicionalmente, esses autores também têm calculado a elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação ao álcool no curto e longo prazo. De modo geral, concluíram que o álcool combustível é tão somente um substituto imperfeito da gasolina.

Dentre os trabalhos que versam sobre a demanda por combustíveis no país apresentamos a seguir, de forma resumida, a estrutura e os principais resultados de três deles. Esta escolha baseou-se na similaridade de objetivos e metodologia que estes trabalhos guardam com o presente estudo. Assim, passam a ser um ponto de referência para a análise que desenvolveremos no capítulo seguinte.

Burnquist & Bacchi (2002) analisaram a demanda nacional por gasolina no período de 1973 a 1998 a partir de um modelo econômico básico que relaciona consumo, preço e renda utilizando técnicas de cointegração, para estimar as relações de longo prazo, e modelo de correção de erro, para a análise das relações de curto prazo. Os resultados obtidos indicam que no curto prazo a demanda por gasolina no país é inelástica a mudanças na renda real, dado que a elasticidade-renda da demanda por gasolina foi estimada em 0,600. No longo prazo, por sua vez, a elasticidade-renda obtida apresentou-se relativamente mais elevada, sendo da ordem de 0,959, o que para as autoras ainda caracteriza uma demanda inelástica. Esses resultados permitem caracterizar a gasolina como um bem normal, dado que as elasticidades-renda estimadas apresentam-se positivas e menores que a unidade, mesmo no longo prazo.

No caso da renda, cabe ressaltar ainda que as autoras destacaram que, além da relação contemporânea que esta variável guarda com a demanda por combustível, suas variações também podem influenciar o consumo de gasolina em períodos futuros. Isso pode

ser explicado pelo fato de que esse consumo pode aumentar não apenas pelo uso mais intensivo da frota existente, como também pelo aumento do número de veículos que constituem a frota nacional<sup>11</sup>, sendo que o efeito desse último fator tende a ser captado com alguma defasagem de tempo.

No que se refere à elasticidade-preço da demanda, os resultados para este período mostraram que o consumo de gasolina, no contexto da economia brasileira, é aparentemente pouco sensível a mudanças nos preços desse combustível, tanto no curto como no longo prazo. O valor estimado para a elasticidade-preço no curto prazo foi de  $(-0,319)$ , comprovando que a demanda por gasolina no país é inelástica em relação a essa variável. Apesar deste valor ser semelhante ao verificado em outros países em estudos sobre demanda por gasolina, as autoras ressaltam que seria razoável esperar para o caso brasileiro que a elasticidade-preço resultante fosse relativamente mais elevada que a de outros países, dada a possibilidade, ainda que parcial, da substituição no Brasil da gasolina pelo álcool combustível. Elas atribuem a ausência deste efeito substituição ao fato de que o preço do álcool, durante este período, era administrado pelo governo, que mantinha praticamente constante a sua relação com o preço da gasolina, reduzindo a influência potencial sobre a elasticidade-preço da demanda.

Quanto à elasticidade-preço da demanda para longo prazo, estimou-se o valor de  $(-0,2272)$ , que é ligeiramente inferior ao da elasticidade de curto prazo. Apesar desse resultado ser conflitante com as evidências empíricas de existência de elasticidades maiores no longo prazo, ele foi considerado significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

Os dados utilizados nas estimativas das elasticidades compreendem médias anuais, relativas ao período de 1973 a 1998. Os dados de consumo e preço da gasolina para o mercado brasileiro foram obtidos junto a publicações anuais do Balanço Energético Nacional – 1999 do Ministério das Minas e Energia. A série de preços equivale a valores médios anuais do preço da gasolina, expressos em Reais de 1998. O consumo de gasolina corresponde ao total consumido na economia brasileira, tomado em 1.000 m<sup>3</sup> e transformado em valores per capita, considerando dados de população obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados relativos ao PIB real per capita, utilizados para representar a variável renda na função demanda, também foram obtidos junto ao IBGE. Essa série também foi expressa em Reais de 1998, de forma semelhante à empregada para os preços de gasolina.

---

<sup>11</sup> Este aumento da frota pode ocorrer como decorrência direta do aumento da renda dos consumidores.

O modelo especificado para a análise das relações de curto prazo é dado como:

$$\Delta \ln CG_t = \alpha + \beta \Delta \ln PG_t + \delta \Delta \ln RE_t + \gamma \Delta \ln RE_{t-2} + e_t$$

onde:  $CG_t$ : consumo per capita de gasolina;

$PG_t$ : preço da gasolina;

$RE_t$ : renda agregada per capita; e

$e_t$ : termo de correção de erro.

As conclusões gerais do estudo, além da indicação de que o consumo de gasolina no Brasil é mais sensível a alterações na renda do que nos preços, são que:

Os resultados obtidos nesta análise quanto ao comportamento da demanda por gasolina no Brasil sugerem que a resposta do volume consumido, mediante alterações nos preços, é pouco expressiva. Dessa forma, considerando-se a possibilidade de que os mecanismos de formação dos preços venham a evoluir de forma a permitir uma maior internalização das oscilações nos preços internacionais do petróleo, tem-se que os efeitos esperados mediante uma redução nesses preços, por exemplo, são positivos<sup>12</sup>. Em termos macroeconômicos, o efeito positivo associado a reduções dos preços seria vinculado à importância relativa do preço dos combustíveis na determinação dos índices inflacionários. Além disso, a possibilidade de que a expansão no consumo seja relativamente pequena, em resposta a uma redução nos preços de gasolina, restringe a possibilidade da evolução de um desequilíbrio entre a oferta e demanda pelo produto no mercado interno. (BURNQUIST; BACCHI, 2000: p.11-12).

Alves & Bueno (2003) estudaram o comportamento da demanda por gasolina no Brasil entre os anos de 1974 a 1999, utilizando técnicas de cointegração e modelo de correção de erro, com o objetivo de estimar as elasticidades-preço e renda deste combustível. Este trabalho se diferencia de outros estudos anteriores pela inclusão do preço do álcool como uma variável explicativa adicional ao modelo de demanda da gasolina. Isto permitiu que adicionalmente se estimasse a elasticidade-cruzada entre álcool e gasolina, objetivando entender até que ponto o álcool combustível se constitui em um substituto da gasolina. Uma das justificativas para esta nova abordagem, segundo os autores, é que o Brasil é a única economia de grande porte que desenvolveu um substituto para gasolina, sendo por conta disso, inclusive, uma referência para outros países que procuram diminuir sua dependência deste combustível automotivo.

Foram utilizados para as estimativas dados de várias fontes: Os dados de população e renda disponível são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

<sup>12</sup> As autoras estavam particularmente interessadas nos possíveis efeitos sobre a demanda por gasolina no país, decorrentes da Lei nº 9.478 (Lei do Petróleo) de 1997 que determinou o fim do monopólio da Petrobras sobre as atividades petrolíferas e promoveu a abertura do mercado de combustíveis brasileiro.

As proxies para os preços da gasolina e álcool, assim como os dados de índice de preços, são da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE). Os dados de consumo de gasolina no país são da Agência Nacional de Petróleo (ANP). Todos estes dados compreendem o período de 1974 a 1999. Os dados anuais para o preço real do álcool hidratado referem-se aos anos de 1984 a 1999<sup>13</sup>. Todos os preços reais e renda real são expressos em número índice com base no ano de 1984.

Conforme citado anteriormente, o modelo proposto pelos autores inclui na especificação da função de demanda por gasolina no Brasil, além da renda e preço da gasolina, o preço do álcool combustível (hidratado). A equação de cointegração usada no estudo segue, portanto, a seguinte especificação:

$$\ln C_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln P_t + \beta_3 \ln A_t + e_t$$

onde:  $C_t$ : consumo per capita anual de gasolina medido em litros;

$Y_t$ : renda agregada real anual per capita;

$P_t$ : preço real anual da gasolina;

$A_t$ : preço real anual do álcool hidratado; e

$e_t$ : resíduo.

Os resultados econométricos apresentados a partir desta especificação são os seguintes: as variáveis referentes aos preços da gasolina e do álcool apresentaram coeficientes significativamente diferentes de zero a um nível de significância de 15%, sendo considerado pelos autores como bastante razoável, dado o pequeno número de observações e os graus de liberdade disponíveis na amostra. Os sinais e valores das elasticidades calculadas (elasticidade-preço e renda) estão coerentes com a teoria econômica, caracterizando a demanda por gasolina no país como inelástica com respeito a preço e renda. Quanto à estimativa da elasticidade-cruzada, embora seu sinal seja positivo, conforme o esperado para bens substitutos como a gasolina e o álcool, seu valor absoluto (0,4803) mostrou-se bastante baixo, caracterizando assim o álcool combustível como um substituto imperfeito da gasolina, mesmo no longo prazo. Isto, segundo os autores, é explicado pelo alto custo associado à mudança necessária nos motores para conversão do uso do combustível, no caso, de gasolina para álcool hidratado.

O estudo também ressalta que o valor da elasticidade-preço da gasolina para o Brasil (-0,4646) está próximo daqueles reportados para outros países, tais como o que

<sup>13</sup> A fonte dos dados não consta no original.

Eltony and Al-Mutairi (1995) estimou para o Kuwait, no valor de 0,463, e a estimativa de 0,319 que Ramanathan (1999) encontrou para a Índia. Entretanto, o valor encontrado para elasticidade-renda (0,1217) parece ser muito mais baixo do que aqueles encontrados para esses países.

Os resultados do modelo de correção de erro, para estimativas de curto prazo, também indicam que os sinais das elasticidades estão de acordo com o previsto na teoria. Além disso, a elasticidade-preço de curto prazo (-0,0919) é menor do que a de longo prazo, conforme o esperado. A estimativa da elasticidade-renda de curto prazo (0,1216) foi praticamente a mesma que a de longo prazo. Outro ponto de destaque é o fato de os coeficientes do álcool e da gasolina não serem significativamente diferentes de zero, de onde se pode concluir, segundo os autores, que a demanda por gasolina é perfeitamente inelástica no curto prazo.

As conclusões finais do trabalho são que “o consumo de gasolina parece ter uma tendência quadrática, a qual é explicada pelo processo de ajustamento da economia brasileira aos repetidos choques do petróleo nos últimos 30 anos. A elasticidade-preço da gasolina é inelástica no longo prazo e completamente inelástica no curto prazo [...]. Também como esperado, a elasticidade-cruzada entre álcool e gasolina é positiva, confirmando que eles são substitutos, embora substitutos imperfeitos. A elasticidade-preço nula da gasolina no curto prazo leva a elasticidade-cruzada nula com respeito ao álcool, um resultado também confirmado por este estudo” (ALVES; BUENO, 2003, *Energy Economics* 25 (2003): 191-199, p.198, tradução nossa).

Roppa (2005) analisou a evolução da demanda por gasolina no Brasil no período de 1973 a 2003, a partir de um modelo em que o consumo de gasolina é uma função de seu preço, do preço do álcool hidratado e da renda. O principal objetivo do trabalho é examinar as condições de substituição da gasolina pelo álcool combustível. Neste sentido, foram efetuados os cálculos das elasticidades-preço e renda da demanda por gasolina, e da elasticidade-preço cruzada da demanda por gasolina em relação ao álcool, utilizando o método de cointegração e o modelo de correção de erros para estimar, respectivamente, as relações de longo e curto prazo entre as variáveis.

Quatro principais fontes de informação foram utilizadas: Agência Nacional do Petróleo (ANP) para os dados de consumo anual de gasolina em mil m<sup>3</sup>, Ministério de Minas e Energia para os dados de preço da gasolina e do álcool em US\$/m<sup>3</sup>, Banco Central do Brasil para os dados de PIB anual per capita em R\$ de 1979 e Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE) para os dados de população. Todos esses dados foram convertidos para escala logarítmica, a fim de facilitar a interpretação dos coeficientes de cada variável em questão. O período de abrangência dos dados compreende os anos de 1973 a 2003, com exceção dos preços do álcool hidratado, cuja série inicia-se a partir de 1979.

A equação de cointegração (para as estimativas de longo prazo) e o modelo de correção de erro (para as estimativas de curto prazo) assumem respectivamente as seguintes especificações:

$$\ln Cgas_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln Pgas_t + \beta_3 \ln Palc_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

onde:  $Cgas_t$ : consumo de gasolina anual per capita em  $m^3$ ;

$Y_t$ : Produto Interno Bruto (PIB) real anual per capita em US\$ milhões;

$Pgas_t$ : preço real da gasolina em US\$/ $m^3$ ;

$Palc_t$ : preço real do álcool, em US\$/ $m^3$ ; e

$\varepsilon_t$ : resíduo da equação da equação (1).

$$\Delta \ln Cgas_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta \ln Y_{t-1} + \alpha_2 \Delta \ln Pgas_{t-1} + \alpha_3 \Delta \ln Palc_{t-1} + \alpha_4 \varepsilon_{t-1} + z_t \quad (2)$$

onde:  $\Delta$  indica a primeira diferença;

$z_t$ : resíduo da equação (2);

$\varepsilon_{t-1}$ : resíduo defasado da equação (1)

onde:  $\varepsilon_{t-1} = \ln Cgas_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 \ln Y_{t-1} - \beta_2 \ln Pgas_{t-1} - \beta_3 \ln Palc_{t-1}$ ;

Dada a inexistência de uma série mais extensa para o preço do álcool hidratado, os testes econométricos foram realizados para o período 1979-2000. De modo sucinto, os resultados obtidos são os seguintes: foi necessária a inclusão das variáveis de tendência  $t$  e  $t^2$  na equação de cointegração (1), a fim de ajustar o modelo ao comportamento da série de consumo per capita da gasolina em escala logarítmica, que apresenta tendência quadrática. Além disso, também foram agregadas à equação (1) as variáveis  $\Delta \ln Cgas_t$  e  $\Delta \ln Y_t$ , pois segundo a autora “é razoável supor que o consumo de gasolina no período  $t$  é afetado tanto pela renda quanto pelo consumo no período anterior”. Os coeficientes relativos às variáveis  $\ln Y_t$ ,  $\ln Pgas_t$  e  $\ln Palc_t$  estimados mostraram-se estatisticamente significativos, sendo o último significativo ao nível de 20% e os demais, ao nível de 5%.

Os cálculos das elasticidades de longo prazo da demanda por gasolina no período de 1979 a 2000 indicam que essas estimativas apresentaram os sinais esperados: positivo para a elasticidade-renda da gasolina e elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação ao álcool; e negativo para a elasticidade-preço da gasolina. Quanto aos valores estimados, os resultados mostram que a gasolina revelou-se inelástica tanto ao seu preço quanto à sua renda no longo prazo (respectivamente -0,6344 e 0,1637). A elasticidade-preço cruzada (0,4019) apresentou o álcool como um substituto imperfeito da gasolina. Nas palavras da autora: “[...] a relação de substituíbilidade foi confirmada, porém, foi reduzida, indicando que no longo prazo a demanda por gasolina é relativamente inelástica em relação ao preço do álcool”. A justificativa para este resultado, ainda segundo a autora, é “que, apesar de no longo prazo haver a possibilidade de os consumidores trocarem de carro, adotando um modelo a álcool, há uma certa insegurança em relação à disponibilidade deste último nos postos, dado o fim inesperado (do ponto de vista dos consumidores) do Programa Proálcool, apesar do custo que esta atitude poderia acarretar”.

Para o curto prazo, as estimativas do modelo de correção de erro para a elasticidade-preço e renda da gasolina apresentaram os sinais esperados: negativo para a primeira e positivo para a segunda. Novamente, a gasolina apresentou-se inelástica tanto em relação à sua renda quanto ao seu preço (0,4718 e -0,0734, respectivamente). No entanto, somente a elasticidade-renda mostrou-se estatisticamente significativa, ao nível de 5%. A elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação ao álcool, por sua vez, revelou sinal contrário ao esperado (-0,1986). Todavia, esta variável, assim como a variável elasticidade-preço da gasolina, não é estatisticamente significativa.

Finalmente, é importante destacar que a autora aplicou a mesma metodologia econométrica para o período 1979-2003 e, “surpreendentemente”, encontrou resultados incoerentes com a teoria econômica. Com a exceção da variável elasticidade-renda da gasolina, os sinais encontrados para as elasticidades-preço e preço cruzada da gasolina em relação ao álcool, tanto para o longo quanto para o curto prazo, se mostraram contrários ao esperado. Além disso, com exceção da elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação ao álcool, no curto prazo, todos os demais resultados mostraram-se estatisticamente insignificantes.

Segundo a autora, o motivo de uma alteração tão significativa nos resultados, quando se consideram estes três anos adicionais no período analisado, “pode estar nos fatores que vêm tornando errônea a mensuração do consumo de gasolina”. Os fatores apontados são: (1) adulteração e fraude da gasolina e (2) a questão da sonegação fiscal,

advinda dos diferenciais de ICMS entre estados que permite que a distribuidora se aproprie deste diferencial de alíquota de ICMS e, conseqüentemente, consiga distribuir o combustível a um preço mais baixo. A intensificação destas práticas (ilegais) reduz artificialmente o preço da gasolina e, com isso, aumenta a quantidade vendida do produto.

## 4 O MODELO DE DEMANDA POR GASOLINA NO BRASIL

### 4.1 O Modelo Econométrico

Segundo a teoria econômica, a especificação da função de demanda de um bem qualquer requer pelo menos duas variáveis básicas: o preço do bem e a renda dos seus consumidores. Os estudos empíricos acerca da demanda por gasolina, de modo quase generalizado, baseiam-se somente nestas duas variáveis. A esse respeito, Dahl & Sterner (1991) concluíram, a partir da análise de diversos trabalhos sobre a demanda por gasolina, que os principais parâmetros utilizados neste tipo de análise têm sido o preço do combustível e a renda do consumidor. Para o Brasil, no entanto, é quase impensável um modelo de demanda por gasolina que ignore completamente a importância do álcool hidratado como uma variável relevante em sua especificação. A esse respeito, Roppa (2005) e Alves & Bueno (2003)<sup>14</sup> consideraram o preço do álcool hidratado na especificação de seus modelos de demanda de gasolina no país, com o objetivo de avaliar o grau de substituíbilidade do álcool combustível pela gasolina. Ambos concluíram, através do cálculo da elasticidade-cruzada da gasolina pelo álcool, que o álcool hidratado é tão somente um bem substituto imperfeito da gasolina.

Com o objetivo de examinar qual das abordagens acima melhor se adequa aos propósitos do estudo em questão, ou seja, analisar o impacto dos veículos *flex-fuel* sobre a demanda por gasolina no Brasil, utilizaremos duas especificações distintas da função de demanda por gasolina. A equação (1), que inclui o preço do álcool hidratado, além do preço da gasolina e da renda do consumidor, como variáveis explicativas e a equação (2), que utiliza o preço da gasolina, a renda do consumidor e uma variável binária<sup>15</sup> de inclinação associada ao preço da gasolina, incluída no modelo com o objetivo de capturar os impactos da entrada dos veículos *flex-fuel* sobre a curva de demanda por gasolina a partir de março de 2003.

Assim, a função demanda por gasolina no Brasil será estimada<sup>16</sup> a partir das seguintes especificações:

---

<sup>14</sup> Para mais detalhes, ver o item 3.2

<sup>15</sup> A utilização de variáveis binárias (*dummy*) neste caso é particularmente interessante, visto que o fato dos veículos serem ou não *flex-fuel* caracteriza uma informação de ordem qualitativa, cujo caráter binário recomenda o uso de variáveis binárias.

<sup>16</sup> A estimação do modelo e demais procedimentos econométricos foram efetuados a partir do pacote econométrico STATA 8.2.

$$lcons\_gas_t = \beta_0 + \beta_2 lp\_gas_t + \beta_3 lpib\_pc_t + \beta_4 lp\_alc_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$lcons\_gas_t = \beta_0 + \beta_2 lp\_gas_t + \beta_3 lpib\_pc_t + \beta_5 bin.lp\_gas_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

onde:  $lcons\_gas_t$ : consumo mensal nacional de gasolina (em litros)

$lp\_gas_t$ : preço real mensal da gasolina (em R\$/l de set/2006)

$lpib\_pc_t$ : renda real mensal per capita (PIB per capita em R\$ de set/2006)

$lp\_alc_t$ : preço real mensal do álcool hidratado (em R\$/l de set/2006)

$bin.lp\_gas_t$ : variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina

$\varepsilon_t$ : resíduo

As variáveis apresentadas acima foram transformadas em sua forma logarítmica<sup>17</sup>.

## 4.2 Fonte de Dados

Os dados utilizados nas estimativas compreendem valores mensais relativos ao período de agosto de 1994 a julho de 2006. Os dados de consumo mensal de gasolina no Brasil foram obtidos junto a Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural (ANP). As séries de preços são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e equivalem a valores médios mensais dos preços da gasolina e do álcool hidratado no mercado brasileiro, expressos em Reais de setembro de 2006. Estes valores foram deflacionados pelo IPCA de setembro de 2006. Os dados relativos ao PIB real per capita, utilizados para representar a variável renda na função demanda, foram construídos a partir dos valores mensais para o PIB e a população brasileira, ambos fornecidos pelo IBGE. Essa série também foi expressa em Reais de setembro de 2006, de forma semelhante à empregada para os preços da gasolina e do álcool hidratado.

## 4.3 Análise de Séries Temporais

Para se calcular as elasticidades-preço e renda da gasolina, um problema típico na utilização do método de mínimos quadrados ordinários (MQO) em séries temporais é o

<sup>17</sup> A transformação logarítmica é vantajosa porque os coeficientes das variáveis explicativas podem ser interpretados como elasticidades e também porque esta transformação suaviza a variância das séries.

da regressão espúria<sup>18</sup>, na qual os valores tipicamente significantes de parâmetros estimados podem não refletir nenhuma relação econômica entre as variáveis envolvidas. Este problema surge principalmente em regressões envolvendo variáveis não-estacionárias<sup>19</sup> que, por sua vez, tendem a produzir resíduos não estacionários, violando assim um dos pressupostos básicos da estimação por MQO. Ao se negligenciar esse fato, o resultado da regressão geralmente subestima a variância dos erros, o que compromete os valores da *estatística t* e, por conseguinte, os testes de hipótese sobre a significância estatística dos parâmetros. Além disso, regressões espúrias costumam produzir coeficientes de determinação ( $R^2$ ) elevados que, contrariamente à interpretação usual, não refletem necessariamente uma forte associação entre as variáveis dependentes e independentes, mas sim a tendência geral, crescente ou decrescente, dos valores observados.

Um indício de não-estacionariedade é justamente a presença de tendência nas séries de tempo. A tendência existente em séries não estacionárias pode ser eliminada pela inclusão da variável tempo (variável de tendência) entre as variáveis independentes, quando se tratar de um processo de tendência determinista, ou por diferenciação<sup>20</sup>, quando se tratar de um processo de tendência estocástica.

Portanto, para a utilização do método MQO em séries temporais, sem se correr o risco de regressão espúria, é necessário primeiramente verificar se as séries de tempo em questão são estacionárias. Isto foi feito através da aplicação dos testes de raiz unitária, cujo objetivo é determinar o número de raízes sobre o círculo unitário, ou raízes unitárias, presentes no processo estocástico gerador da série. O número de raízes unitárias, neste caso, corresponde a ordem de integração da série e ao número de diferenças necessário para tornar uma série estacionária.

<sup>18</sup> A expressão “spurious regression”, utilizada para classificar uma regressão como desprovida de sentido econômico, foi primeiramente empregada por Granger e Newbold (1974).

<sup>19</sup> O processo estocástico, ou a série temporal  $\{y_t, t \in Z\}$ ,  $Z = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$  é estacionária se:

$$(a) E |y_t|^2 < \infty;$$

$$(b) E(y_t) = \mu, \text{ para todo } t \in Z; \text{ e}$$

$$(c) E(y_t - \mu)(y_{t-j} - \mu) = \gamma_j$$

A primeira condição afirma apenas que a variância deve ser finita, ainda que desigual em diferentes períodos. A segunda condição afirma que a média é igual para todo período, mesmo que a distribuição da variável aleatória vá-se alterando ao longo do tempo. A terceira condição estabelece que a variância é sempre igual para todo período de tempo e que a autocovariância não depende do tempo, mas apenas do intervalo de tempo (Fava, 2000).

<sup>20</sup> O processo de diferenciação para alcançar a estacionariedade está intrinsecamente relacionado ao conceito econométrico de integração, que pode ser assim entendido: uma variável de tendência estocástica  $x(t)$  é dita integrada de ordem  $n$ , com notação  $I(n)$ , caso sejam necessárias  $n$  diferenciações para que  $x(t)$  atinja estacionariedade. Assim, uma variável  $I(1)$  é não-estacionária, mas alcança estacionariedade após uma diferenciação. Já uma variável  $I(0)$ , é dita estacionária em nível, sem que seja necessária qualquer diferenciação (Enders, 2004).

Caso se conclua, no entanto, que as séries não são estacionárias, é possível ainda a utilização do método MQO, desde que as séries sejam cointegradas. Neste caso, será necessário promover a análise de cointegração entre as variáveis do modelo.

#### 4.3.1 Testes de Raiz Unitária

Para testar a condição de estacionariedade e determinar a ordem de integração das variáveis definidas neste estudo, utilizou-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado - ADF (Dickey & Fuller; 1979)<sup>21</sup>, que considera a hipótese de não-estacionariedade a partir da presença de uma raiz unitária, ou seja, testa a hipótese de que o processo é integrado de ordem um contra a hipótese alternativa de que o processo é estacionário em nível.

O teste Dickey-Fuller Aumentado - ADF considera três possíveis modelos autoregressivos que podem ser usados para testar a presença de raiz unitária:

$$\Delta y_t = a_0 + a_2 t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t \quad (i)$$

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t \quad (ii)$$

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t \quad (iii)$$

$$\text{onde : } \gamma = -(1 - \sum_{i=1}^p a_i) \quad ; \text{ sendo } p \text{ igual a ordem do modelo autoregressivo}$$

$$\beta = -\sum_{j=i}^p a_j$$

A diferença entre os três modelos consiste na presença ou não dos elementos determinísticos  $a_0$  e  $a_2 t$ . A equação (iii) acima representa um modelo do tipo “passeio aleatório” puro. Na equação (ii), por sua vez, é acrescentado um intercepto  $a_0$ , também chamado de constante, e na equação (i) é incluído, além do intercepto, um termo de tendência linear temporal  $a_2 t$ , constituindo o chamado modelo completo.

O parâmetro de interesse do teste é  $\gamma$ . Se  $\gamma = 0$ , então a sequência  $\{y_t\}$  tem uma raiz unitária. O procedimento consiste em estimar uma (ou mais) das equações acima

<sup>21</sup> O teste de Dickey-Fuller Aumentado – ADF apresenta-se mais adequado aos propósitos deste estudo pelo fato de permitir que  $y_t$  seja descrito por um processo estocástico  $AR(p)$ , enquanto que o teste Dickey-Fuller – DF aplica-se somente a processos  $AR(1)$ . Ambos os testes destinam-se a séries que têm no máximo, uma raiz unitária, ou seja, séries que são originalmente estacionárias ou são estacionarizadas com aplicação de uma diferença.

usando o processo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para obter as estimativas do valor de  $\gamma$  e os erros padrão a ele associados. Comparando o *t-estatístico* resultante da regressão com os valores críticos calculados por Dickey e Fuller, permite determinar se aceita-se ou rejeita-se a hipótese nula  $H_0: \gamma = 0$ . É importante ressaltar, no entanto, que os valores críticos da estatística *t* dependem da forma da equação e do tamanho da amostra, ou seja, esses valores dependem da inclusão ou não de intercepto e/ou termo de tendência linear temporal na equação que está sendo testada. Assim, as estatísticas apropriadas para serem usadas com as equações (i), (ii) e (iii) acima são, respectivamente, as estatísticas  $\tau_\tau$ ,  $\tau_\mu$  e  $\tau$ .

A escolha da versão mais apropriada para realizar o teste, com relação a inclusão ou não de intercepto e/ou termo de tendência linear temporal, é feita a partir da especificação mais geral do modelo, incluindo constante e tendência, passando para modelos mais parcimoniosos se esses termos se apresentarem estatisticamente não significativos, segundo procedimento apresentado em Enders (2004).

Para a determinação do valor de  $p$  (a ordem do processo auto-regressivo) nos modelos expresso pelas equações (i), (ii) e (iii) foram utilizados os critérios de AIC (Akaike Information Criterion) e SBC (Schwarz Bayesian Criterion) para escolha da melhor defasagem, tendo em seguida se observado a significância estatística da última defasagem para confirmação do valor de  $p$ <sup>22</sup>.

Os resultados do teste Dickey-Fuller Aumentado - ADF para presença de raiz unitária são apresentados na *Tabela 1*. A fim de se obter um resultado mais conclusivo com relação a variável *lcons\_gas*, que no teste ADF rejeitou a existência de raiz unitária, foram efetuados, para esta variável, outros testes, como o KPSS<sup>23</sup> e o DF-GLS, para os quais a presença de uma raiz unitária não foi rejeitada. A partir dos resultados, concluiu-se que a um nível de significância estatística de 1%, a hipótese nula de existência de uma raiz unitária não é rejeitada para nenhuma das variáveis analisadas. Isto indica que todas as variáveis do

<sup>22</sup> Para se estimar de maneira apropriada o parâmetro  $\gamma$  e seu erro padrão, é necessário que todos os termos auto-regressivos estejam incluídos na equação que está sendo estimada. Caso o número de defasagens seja insuficientemente pequeno significa que os resíduos da regressão não se comportarão como ruído branco, o que levará o modelo a não capturar todo processo auto-regressivos dos erros, de modo que  $\gamma$  e seu erro padrão não sejam bem estimados. Por outro lado, a inclusão de mais defasagens que o necessário reduz o poder do teste em rejeitar a hipótese nula de uma raiz unitária, devido ao fato de que o aumento de defasagens exige a estimação de parâmetros adicionais, o que leva a perda de graus de liberdade. Para avaliação dos resíduos, em termos de se comportarem ou não como ruído branco, foi utilizado o teste Q de Portmanteau, o qual não rejeitou a hipótese nula de presença de resíduos ruído branco para todas as séries apresentadas.

<sup>23</sup> A sigla KPSS é referência à primeira letra dos últimos nomes dos autores do teste: Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin (1992). O teste KPSS testa a hipótese nula de que a variável não possui raiz unitária, ou seja, de que a série é estacionária em nível, contra a hipótese de que o processo possui uma raiz unitária.

modelo são integradas de ordem  $I(1)$ , portanto, cada uma deve ser tomada em sua primeira diferença para tornar-se estacionária.

**Tabela 1** - Teste Dickey-Fuller Aumentado - ADF para testar a presença de uma raiz unitária

Variáveis	equação (1) Modelo completo				equação (2) Modelo com constante			equação (3) Modelo sem tendência e constante	
	$p$	$\tau_\tau$	$\tau_{\beta\tau}$	$\tau_{\alpha\tau}$	$p$	$\tau_\mu$	$\tau_{\alpha\mu}$	$p$	$\tau$
<b><i>lcons_gas</i></b>	12	-3,319	-0,26	3,34	12	-3,825	3,83	13	0,948
Valor crítico*		-4,030	3,53	3,78		-3,500	3,22		-2,596
<b><i>lp_gas</i></b>	15	-1,572	1,11	1,93	7	-1,070	1,60	4	0,815
Valor crítico*		-4,030	3,53	3,78		-3,497	3,22		-2,594
<b><i>lp_alc</i></b>	9	-3,624	3,07	-0,51	1	-2,254	1,95	7	-0,238
Valor crítico*		-4,028	3,53	3,78		-3,495	3,22		-2,595
<b><i>lpib_pc</i></b>	12	-2,502	-2,16	2,50	12	-1,267	1,27	12	-0,157
Valor crítico*		-4,029	3,53	3,78		-3,499	3,22		-2,596

\* Os valores críticos das estatísticas referem-se ao nível de significância de 1%

**Obs.** - Os valores críticos para o teste de constante e tendência utilizam os valores calculados por Dickey e Fuller.

- O valor da estatística  $\tau$  para teste de raiz unitária refere-se aos valores calculados por MacKinnon.

Deve-se observar, no entanto, que regressões efetuadas a partir de variáveis em diferenças podem conduzir a estimativas inconsistentes dos parâmetros se forem ignoradas possíveis relações de cointegração entre as variáveis do modelo (Burnquist & Bacchi, 2002). Para evitar problemas dessa natureza, foram conduzidos testes de cointegração entre as variáveis, que são apresentados na seção seguinte.

Desde que as variáveis sejam cointegradas, é possível, ainda, a utilização do método MQO sem que haja o risco de regressão espúria.

#### 4.3.2 Análise de Cointegração

Qualquer relação de equilíbrio entre um conjunto de variáveis não-estacionárias implica que suas tendências estocásticas estejam relacionadas de alguma maneira, de modo que essas variáveis não podem mover-se independentemente umas das outras. Na medida em que esta relação entre as tendências estocásticas de variáveis não-estacionárias ocorre de forma consistente ao longo do tempo, dizemos que estas variáveis são cointegradas e que existe uma relação de equilíbrio de longo prazo entre elas.

Uma definição formal de cointegração, conforme Engle e Granger (1987), é a seguinte:

Seja  $x_t$  um vetor ( $N \times 1$ ). Os componentes de  $x_t$  são ditos cointegrados de ordem  $(d,b)$ , denotado por  $x_t \sim CI(d,b)$ , se:

- 1) todos os componentes de  $x_t$  são  $I(d)$ ; e
- 2) existe um vetor  $\beta \neq 0$  tal que  $z_t = \beta' x_t \sim I(d-b)$ ,  $b > 0$ .

O vetor  $\beta$  é chamado vetor de cointegração

Assim, a definição de cointegração requer, em primeiro lugar, que todas as variáveis do modelo sejam integradas de mesma ordem. A segunda condição é que a combinação linear das variáveis do modelo resulte em uma série cuja ordem de integração seja menor que a das séries originais (Hendry & Juselius, 1999).

Ainda sobre a definição acima, há três pontos importantes a destacar:

- i. Da definição original de Engle e Granger, cointegração refere-se a variáveis que são integradas de mesma ordem. No entanto, isto não implica que todas as variáveis integradas de mesma ordem sejam cointegradas. Frequentemente um conjunto de variáveis  $I(d)$  não é cointegrado, o que, naturalmente, implica que não há entre estas variáveis uma relação estável de equilíbrio de longo prazo. Também se duas variáveis são integradas de diferentes ordens, elas não podem ser cointegradas.
- ii. Se o vetor  $x_t$  tem  $n$  componentes não-estacionários, podem existir no máximo  $n-1$  vetores de cointegração linearmente independentes. O número de vetores de cointegração é chamado de *rank* de cointegração de  $x_t$ .
- iii. A maior parte da literatura sobre cointegração refere-se ao caso no qual cada variável tem uma única raiz unitária. A razão disso decorre do fato de que a análise tradicional de séries temporais se aplica quase que em sua totalidade à variáveis que são  $I(0)$ , ou seja, variáveis estacionárias. Além disso, poucas variáveis econômicas são integradas de ordem maior que um. A esse respeito, Nelson e Plosser (1982) conduziram um estudo com cerca de treze

importantes variáveis macroeconômicas, demonstrando que elas são integradas de ordem um.

De modo geral, há duas importantes metodologias para se testar cointegração: a metodologia de Engle-Granger (1987), que procura determinar se os resíduos da regressão da equação de equilíbrio de longo prazo são estacionários, isto é,  $I(0)$ ; e a metodologia de Johansen (1988), que baseia-se na determinação do *rank* (ou posto) da matriz  $\pi$ <sup>24</sup>. No presente estudo, para a análise de cointegração entre as variáveis do modelo de demanda por gasolina no Brasil, será utilizado o procedimento de Johansen (1988).

#### 4.3.3 Metodologia de Johansen para Análise de Cointegração

Segundo Enders (2004), a metodologia de Johansen pode ser vista como uma generalização multivariada do teste de Dickey-Fuller Aumentado – ADF. Esta comparação torna-se mais evidente a partir da observação da equação geral do teste, expressa abaixo:

$$\Delta X_t = \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (iv)$$

$$\text{onde : } \pi = -(I - \sum_{i=1}^p A_i)$$

$$\pi_i = - \sum_{j=i+1}^p A_j$$

$x_t$  e  $e_t$  são vetores ( $n \times 1$ )

$A_1$  é uma matriz de parâmetros ( $n \times n$ )

$I$  é uma matrix identidade ( $n \times n$ )

A metodologia de Johansen para determinação de estacionariedade está fortemente baseada na relação existente entre o *rank* de uma matriz e o seu número de raízes características que diferem de zero. Na verdade, o *rank* de uma matriz é sempre igual ao número de raízes características que diferem de zero nesta matriz. Deste modo, o objetivo principal do teste é determinar o *rank* da matriz  $\pi$ . A determinação do *rank* da matriz  $\pi$  permite inferir quantos vetores de cointegração independentes a matriz possui, sendo que quatro situações podem ocorrer:

<sup>24</sup> A matriz  $\pi$  será definida mais adiante, quando falarmos da Metodologia de Johansen para Análise de Cointegração.

- i. Se  $\text{rank}(\pi) = 0$ , a matriz é nula e a equação (iv) é um modelo de Vetores Auto-regressivos – VAR em primeira diferença, o que significa que não há cointegração.
- ii. Se  $\text{rank}(\pi) = n$ , a matriz possui  $n$  vetores de cointegração, indicando que o processo vetorial é estacionário.
- iii. Se  $\text{rank}(\pi) = 1$ , há um único vetor de cointegração e, portanto, as variáveis do modelo são cointegradas.
- iv. Se  $1 < \text{rank}(\pi) < n$ , há múltiplos vetores de cointegração.

O teste para determinar o número de raízes características (e, conseqüentemente, o  $\text{rank}$  da matriz  $\pi$ ) que são significativamente diferentes de um é realizado utilizando-se as seguintes estatísticas:

$$\lambda_{\text{traço}}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i)$$

$$\lambda_{\text{max}}(r, r+1) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1})$$

onde :  $\hat{\lambda}_i$  = valor estimado das raízes características (também chamado eigenvalues) obtidos da matriz  $\pi$  estimada

$T$  = número de observações usadas

A estatística  $\lambda_{\text{traço}}$  testa a hipótese nula de que o número de vetores de cointegração é menor do que ou igual a  $r$  contra uma alternativa geral. O valor de  $\lambda_{\text{traço}}$  é igual a zero quando  $\lambda_i = 0$ , de modo que quanto mais longe de zero estiverem os valores das raízes características, maior será o valor da estatística  $\lambda_{\text{traço}}$ .

A estatística  $\lambda_{\text{max}}$  testa a hipótese nula de que o número de vetores de cointegração é igual a  $r$  contra uma alternativa de  $r+1$  vetores de cointegração. Se o valor estimado da raiz característica é próximo de zero,  $\lambda_{\text{max}}$  será pequeno.

Para a determinação do número de defasagens da equação (iv), caracterizado pelo valor de  $p$ , foram utilizados os critérios de AIC (Akaike Information Criterion) e SBC (Schwarz Bayesian Criterion), adequados a um contexto multi-equacional.

Os resultados apresentados na *Tabela 2* (para os testes  $\lambda_{traço}$  e  $\lambda_{max}$ ) permitem concluir que existe apenas um vetor de cointegração entre as variáveis do modelo, a um nível de significância de 1%. Isto quer dizer que essas variáveis cointegram e, portanto, que existe uma relação de equilíbrio de longo prazo entre o preço da gasolina, o preço do álcool hidratado, a renda (expressa pelo PIB per capita) e o consumo de gasolina no Brasil. Deste modo, podemos regredir as variáveis no nível, pelo método MQO, sem correr o risco de regressões espúrias.

**Tabela 2** - Teste Johansen para Análise de Cointegração

Hipótese nula	eigenvalue	$\lambda_{traço}$	Valor Crítico 5%	Valor Crítico 1%
$r = 0$		95,251	68,52	76,07
$r = 1$	0,28596	49,107*	47,21	54,46
$r = 2$	0,18024	21,880	29,68	35,65
$r = 3$	0,09404	8,350	15,41	20,04
$r = 4$	0,05374	0,782	3,76	6,65
$r = 5$	0,00569			

\* Denota não rejeição da hipótese nula a um nível de significância de 1%.

**Obs.** - Valores críticos para o teste de hipóteses em Osterwald-Lenum (1992).

- Foi utilizado um modelo com constante e 6 defasagens.

#### 4.4 Resultados da Regressão pelo Método MQO

Conforme proposto no item 4.1 deste trabalho, estimou-se a função demanda por gasolina no Brasil considerando inicialmente a equação (1), cujas variáveis explicativas são o preço da gasolina, o preço do álcool hidratado e a renda (expressa pelo PIB per capita). Nota-se a partir da *Tabela 3*, que a variável preço do álcool hidratado mostrou-se não significativa estatisticamente. Este resultado, aparentemente inusitado dada a importância do álcool (anidro e hidratado) no mercado de combustíveis brasileiro, pode ser explicado a partir de um problema de multicolinearidade<sup>25</sup> entre o preço da gasolina e do álcool hidratado, provavelmente resultado das determinações legais que regiam os preços de combustíveis no Brasil até o final do ano de 2001.

<sup>25</sup> Termo que se refere à correlação entre as variáveis independentes em um modelo de regressão múltipla (Wooldridge, 2003: 840).

**Tabela 3 - Resultados da Estimação - Regressão Cochrane-Orcutt AR(1)<sup>26</sup>**

Icons_gas	Coeficientes	Erro Padrão	t-estat.	P>  t	[95% Interval. Conf.]	
<i>lp_gas</i>	0,3561854	0,0802306	4,44	0,000	0,1975651	0,5148057
<i>lp_alc</i>	-0,1059273	0,1015367	-1,04	0,299	-0,3066708	0,0948161
<i>lpib_pc</i>	0,6979233	0,1330665	5,24	0,000	0,4348437	0,961003
<i>const.</i>	16,34432	0,9277393	17,62	0,000	14,51013	18,17851

Estatística Durbin-Watson (original) = 0,779097  
 Estatística Durbin-Watson (transformada) = 2,468229

Número de observações = 144  
 F( 3, 140 ) = 14,00  
 Prob > F = 0,0000  
 R<sup>2</sup> = 0,2308  
 R<sup>2</sup> ajust. = 0,2143

A desregulamentação dos preços de combustíveis no país ocorreu de forma gradual entre os anos de 1999 e 2001. O mercado de álcool hidratado foi desregulamentado a partir da Portaria MF nº 275, de 16 de outubro de 1998, que liberou os preços do álcool etílico hidratado combustível - AEHC nas unidades produtoras, a partir de 1º de fevereiro de 1999. Já a liberação dos preços de derivados de petróleo nas unidades produtoras ocorreu com a Lei nº 9.990, de 21 de julho de 2000 (que alterava a redação da Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997, chamada Lei do Petróleo). A Lei nº. 9.990 determinou que os preços de faturamento dos derivados de petróleo, que até 31 de dezembro de 2001 eram determinados em conjunto pelos Ministérios da Fazenda e de Minas e Energia por meio de Portarias Interministeriais, estariam liberados a partir de 1º de janeiro de 2002.

Assim, os reajustes de preços ocorridos até janeiro de 1999 para o álcool hidratado e final de 2001, para a gasolina, se deram por imposição governamental, desconsiderando a competitividade relativa entre estes dois combustíveis. De modo geral, o

<sup>26</sup> A transformação de Cochrane-Orcutt AR(1) é utilizada para corrigir problemas de correlação serial dos resíduos, do tipo AR(1), utilizando variáveis “quase-diferenciadas” para estimação dos coeficientes por MQO. Segundo Wooldridge (2003), para o caso com apenas uma variável explicativa, a transformação Cochrane-Orcutt é a seguinte:

$$\text{Seja: } y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + u_t, \text{ para todo } t = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

$$\text{e } y_{t-1} = \beta_0 + \beta_1 x_{t-1} + u_{t-1} \quad (2)$$

Se multiplicarmos a equação (2) por  $\rho$  e a subtraímos da equação (1), obtemos

$$y_t - \rho y_{t-1} = (1 - \rho)\beta_0 + \beta_1(x_t - \rho x_{t-1}) + e_t, \text{ onde } |\rho| < 1, t \geq 2 \text{ e } e_t = u_t - \rho u_{t-1} \quad (3)$$

que pode ser escrita como:

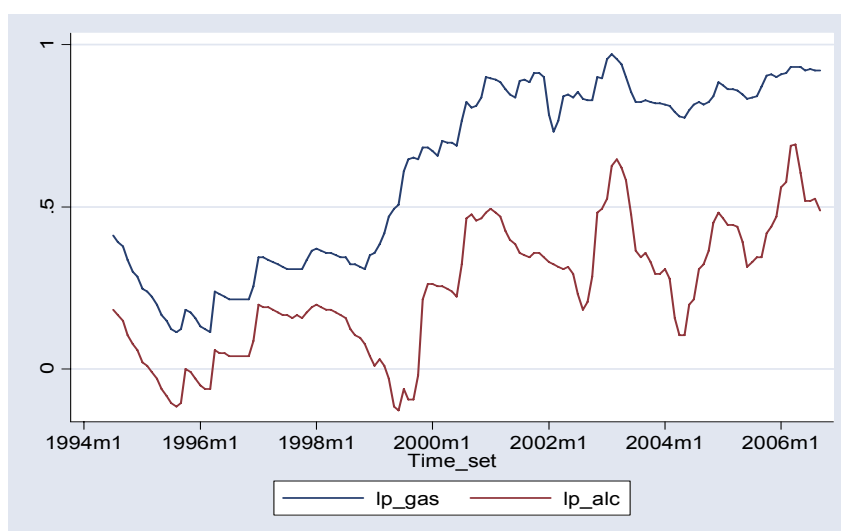
$$y_t^* = (1 - \rho)\beta_0 + \beta_1 x_t^* + e_t \quad (4)$$

$$\text{onde } t \geq 2 \text{ e } y_t^* = y_t - \rho y_{t-1}, x_t^* = x_t - \rho x_{t-1} \text{ são chamadas de variáveis “quase-diferenciadas”}$$

A equação (4), cujos termos de erro  $e_t$  são não-correlacionados, é conhecida como transformação Cochrane-Orcutt AR(1).

preço do álcool hidratado sempre esteve atrelado ao preço da gasolina, segundo uma regra de proporcionalidade estabelecida pelo governo, através da qual se repassavam os aumentos de preço da gasolina ao álcool. Conforme o *Gráfico 11* abaixo, mesmo após a desregulamentação do mercado de álcool em 1999, as trajetórias de preços dos dois combustíveis continuaram bastante semelhantes, com o preço do álcool hidratado, de certa maneira, acompanhando o preço da gasolina. A maior volatilidade dos preços do álcool, naturalmente, se deve a sazonalidade de sua oferta, regida pelo ciclo de produção agrícola da cana-de-açúcar.

**Gráfico 11 – Preços da Gasolina e Álcool Hidratado**  
**Preços Médios Mensais (R\$ de set/2006 - forma logarítmica)**



Fonte: IBGE

Outra indicação desta relação entre o preço da gasolina e do álcool hidratado é o fato de que a variável álcool hidratado continuou estatisticamente não significativa mesmo quando a equação (1) foi estimada com dados a partir de 1999.

Portanto, as evidências indicam que o preço da gasolina não é influenciado pelo preço do álcool, mas sim o contrário, o que explicaria a não significância estatística desta variável na equação (1) estimada para demanda por gasolina. Neste sentido, efetuou-se um teste de causalidade de Granger<sup>27</sup> para determinar com mais clareza a direção desta causalidade entre o preço da gasolina e do álcool hidratado. O teste revelou que o preço da

<sup>27</sup> Testa a hipótese de causalidade entre variáveis, a partir da noção de quanto os valores passados de uma série ( $x_t$ ) são úteis para prever os valores futuros de uma outra série ( $y_t$ ), depois dos valores passados de  $y_t$  terem sido descontados (Wooldridge, 2003: 836).

gasolina Granger-cause o preço do álcool hidratado, mas o preço do álcool hidratado não Granger-cause o preço da gasolina. Os resultados do teste estão na *Tabela 4* abaixo.

**Tabela 4** - Teste de Causalidade de Granger

H <sub>0</sub> : lp_alc não Granger-cause lp_gas		Amostra: 1995m1 a 2006m9	
F( 6, 128) = 0,95	chi <sup>2</sup> (6) = 6,28	obs = 141	
Prob > F = 0,4615	Prob > chi <sup>2</sup> = 0,3922		
H <sub>0</sub> : lp_gas não Granger-cause lp_alc		Amostra: 1995m1 a 2006m9	
F( 6, 128) = 2,44	chi <sup>2</sup> (6) = 16,16	obs = 141	
Prob > F = 0,0285	Prob > chi <sup>2</sup> = 0,0129		

**Obs.** - Foi utilizado um modelo com 6 defasagens.

Em face da não significância estatística da variável preço do álcool hidratado na equação (1), não foi possível a estimação da elasticidade-preço cruzada da demanda por gasolina em relação ao álcool. O cálculo da elasticidade-preço cruzada seria utilizado para promover uma avaliação, ainda que preliminar<sup>28</sup>, do impacto dos carros flexíveis sobre a demanda por gasolina, através da comparação de seus valores antes e depois da entrada dos veículos *flex-fuel* no mercado. Assim, passou-se a estimação da equação (2).

Na equação (2), foi utilizada (ao invés do preço do álcool hidratado) uma variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina, que passa a ter valores não nulos a partir de março de 2003 (quando se inicia a venda de carros *flex-fuel* no país). A utilização desta variável de interação no modelo tem como objetivo capturar os desvios de inclinação da curva de demanda por gasolina, particularmente após a entrada do *flex-fuel* no mercado. Alterações na inclinação ao longo da curva de demanda representam mudanças em suas elasticidades.

Deste modo, a função demanda por gasolina no Brasil passa a ser estimada a partir da seguinte especificação:

$$lcons\_gas_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 lp\_gas_t + \beta_3 pib\_pc_t + \beta_5 bin.lp\_gas_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

onde  $t$  é a variável de tendência estocástica incorporada a equação (2) original.

<sup>28</sup> A análise pode ser qualificada de preliminar, visto que a introdução dos carros flexíveis ainda é muito recente (março de 2003) e principalmente pelo fato de sua participação na frota nacional de veículos leves ainda ser relativamente pequena.

Os resultados da estimação da equação (3) são apresentados na *Tabela 5*. Esses resultados indicam que as elasticidades-preço e renda de longo prazo da demanda por gasolina no Brasil são de -0,197 e 0,685, respectivamente. Ambas as estimativas são estatisticamente significantes e com os sinais corretos, ou seja, estão de acordo com a teoria econômica. A elasticidade-preço de longo prazo implica que um aumento de 10% no preço da gasolina resulta em uma diminuição de aproximadamente 2% no seu consumo, caracterizando a demanda por gasolina no Brasil, para o período pós-Plano Real, como bastante inelástica a preços. A elasticidade-renda de longo prazo implica que um aumento de 10% na renda real dos consumidores resulta em um aumento de aproximadamente 6,9% no consumo de gasolina. A constante  $\beta_0$  e a variável de tendência estocástica  $t$  também se mostraram estatisticamente significantes.

A variável binária de inclinação (*bin.lp\_gas*) apresentou-se com o sinal esperado e estatisticamente significativa, com um coeficiente de aproximadamente -0,137. Isto significa que a partir de março de 2003 há uma significativa mudança na elasticidade-preço da demanda por gasolina, que se torna mais elástica, saindo de -0,197 para -0,334<sup>29</sup>. Este resultado, portanto, indica que o mercado nacional de combustíveis de ciclo Otto pode estar passando por mudanças estruturais, para as quais a entrada dos veículos flex-fuel é a causa mais provável.

Além disso, embora não tenha sido possível o cálculo da elasticidade-preço cruzada da demanda por gasolina em relação ao álcool, é possível afirmar que com a entrada dos carros bicombustível o álcool hidratado tem se tornado um substituto menos imperfeito da gasolina. Esta afirmação decorre tanto do aumento na elasticidade-preço da demanda por gasolina após março de 2003 – visto que a elasticidade da demanda de um bem depende, em grande parte, de quantos substitutos próximos esse bem tiver (VARIAN, 2003: p. 291) – ou seja, no caso da gasolina esta afirmação refere-se ao álcool hidratado, quanto das características intrínsecas da tecnologia *flex-fuel*, que permite ampla liberdade de escolha do consumidor quanto ao tipo de combustível que pretende usar, baseado somente nos preços relativos de álcool e gasolina na bomba.

---

<sup>29</sup> Este valor decorre da interação da variável binária de inclinação (que passa a ter valores não nulos a partir de março de 2003) com a variável preço da gasolina, cujos coeficientes são somados.

**Tabela 5** - Resultados da Estimação - Regressão Cochrane-Orcutt AR(1)

<b>lcons_gas</b>	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t-estat.</b>	<b>P&gt;  t  </b>	<b>[95% Interval. Conf.]</b>	
<b><i>lp_gas</i></b>	-0,1967349	0,0792285	-2,48	0,014	-0,3533837	-0,0400862
<b><i>lpib_pc</i></b>	0,6849769	0,1074856	6,37	0,000	0,4724588	0,8974950
<b><i>bin.lp_gas</i></b>	-0,1372058	0,0388380	-3,53	0,001	-0,2139955	-0,0604161
<b><i>t</i></b>	0,0046469	0,0006805	6,83	0,000	0,0033014	0,0059924
<b><i>const.</i></b>	16,4326100	0,7472082	21,99	0,000	14,95524	17,90997

Estatística Durbin-Watson (original) = 1,413887	Número de observações = 144
Estatística Durbin-Watson (transformada) = 2,135629	F( 4, 139 ) = 43,21
	Prob > F = 0,0000
	R <sup>2</sup> = 0,5543
	R <sup>2</sup> ajust. = 0,5415

#### 4.5 Uma Análise Comparativa

Os resultados do presente estudo podem ser comparados com aqueles reportados em trabalhos anteriores sobre a demanda por gasolina no Brasil. A *Tabela 6* sumariza os principais resultados destes trabalhos. Uma primeira diferença é com relação a período de análise coberto por cada um deles. Com exceção do presente estudo, que concentra a análise no período pós-Plano Real (1994) até os dias atuais, os demais trabalhos concentraram-se no período que vai do início da mistura álcool anidro-gasolina no Brasil (1º choque do petróleo em 1973) ou do início do Proálcool em 1979, até o final dos anos de 1990. Portanto, há nítidas e marcantes diferenças entre os períodos analisados. Entre essas diferenças, uma das mais importante é a questão inflacionária, presente principalmente durante a década de 1980 e início dos anos de 1990. Na medida em que o controle de preços dos combustíveis pelo Governo foi um dos principais instrumentos de controle da inflação nas décadas passadas, os preços da gasolina e do álcool nestes períodos dificilmente refletiram a condição real de preços relativos com o restante da economia, o que de alguma maneira pode ter efeito sobre o valor das elasticidades.

Outro ponto relevante diz respeito ao número de observações empregado. Os três trabalhos anteriores ao presente estudo (que contou com séries mensais) utilizaram séries anuais, que compreendiam pouco mais que 20 observações (descontados os graus de liberdade). Inúmeros fatores levaram esses autores a trabalhar com amostras tão

restritas, principalmente a ausência de dados sobre preço e consumo de combustíveis (em séries mensais) para os períodos por eles analisados.

A comparação das elasticidades, a partir da *Tabela 6*, mostra uma grande variação entre os valores reportados nos diversos estudos. O trabalho de Roppa (2005) foi o que apresentou o maior valor para a elasticidade-preço da demanda por gasolina (-0,634), enquanto que o presente estudo reportou o menor valor para esta estatística (-0,197) quando tomada isoladamente, sem considerar a variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina. Com relação à elasticidade-renda, o estudo de Burnquist & Bacchi (2002) encontrou o maior valor (0,959), ao passo que Alves & Bueno (2003) apresentam o menor coeficiente para elasticidade-renda (0,122). De modo geral, todos os trabalhos consideraram a demanda por gasolina no Brasil inelástica no longo prazo com relação à preço e renda.

Apesar das diferenças apontadas, acreditamos que os resultados encontrados no presente estudo mostram-se bastante consistentes estatisticamente e adequados economicamente. Isto se deve, principalmente, à quantidade significativa de observações a partir das quais foram gerados os coeficientes e à utilização de um período de análise (pós-Plano Real) que, além de recente, caracteriza-se pela estabilidade econômica e previsibilidade dos agentes.

**Tabela 6 - Uma Comparação das Elasticidades da Gasolina no Brasil**

Estudo	Período de Estimação	Elasticidades de Longo Prazo			
		Preço	Renda	Cruzada	Binária
<b>1- Presente estudo</b>	1994-2006 (mensal)	-0,197	0,685	**	-0,137*
<b>2- Roppa (2005)</b>	1979-2000 (anual)	-0,634	0,164	0,402	**
<b>3- Alves &amp; Bueno (2003)</b>	1974-1999 (anual)	-0,465	0,122	0,480	**
<b>4- Burnquist &amp; Bacchi (2002)</b>	1973-1998 (anual)	-0,227	0,959	**	**

\* Coeficiente da variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina

\*\* Não consta

## 5 CONCLUSÃO

A questão central que buscou-se responder no presente estudo foi: qual o impacto dos veículos flex-fuel sobre a demanda por gasolina no Brasil? Para tentar responder esta questão foi estimada a função demanda por gasolina no Brasil e suas elasticidades-preço e renda, para o período de agosto de 1994 a julho de 2006 (era pós-Plano Real), utilizando-se técnicas de cointegração para avaliar a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre variáveis do modelo.

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que o álcool hidratado, apesar de sua reconhecida importância no mercado de combustíveis brasileiro, não é uma variável relevante para explicar a demanda por gasolina no Brasil para o período estudado (agosto de 1994 a julho de 2006). Durante o processo de estimação, esta variável (que constava de uma das especificações da função demanda por gasolina no Brasil) mostrou-se não significativa estatisticamente. Este resultado pode ser explicado a partir de um problema de multicolinearidade entre o preço da gasolina e do álcool hidratado, provavelmente resultado das determinações legais que regiam os preços de combustíveis no Brasil até o final do ano de 2001. A inclusão do álcool hidratado como variável explicativa no modelo tinha como objetivo o cálculo da elasticidade-preço cruzada da demanda por gasolina em relação ao álcool, a fim de se avaliar o grau de substituíbilidade entre estes dois combustíveis, particularmente após o lançamento dos veículos *flex-fuel*.

As evidências também indicam que o preço da gasolina não é influenciado pelo preço do álcool, mas sim o contrário. O teste de causalidade de Granger revelou que o preço da gasolina Granger-cause o preço do álcool hidratado, mas o preço do álcool hidratado não Granger-cause o preço da gasolina.

A partir de uma segunda especificação da função demanda por gasolina no Brasil, que utilizou o preço da gasolina, a renda do consumidor e uma variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina (em substituição ao preço do álcool hidratado) como variáveis explicativas, verificou-se que a demanda por gasolina no Brasil é inelástica no longo prazo, tanto em relação a variações nos preços deste combustível, quanto a alterações na renda dos consumidores. A elasticidade-preço da demanda mostrou-se baixa (-0,197), caracterizando a demanda por gasolina no país, para o período pós-Plano Real, como bastante inelástica a preços. O valor obtido para elasticidade-renda (0,685) indica que o consumo de gasolina, apesar de também inelástico à renda, é mais sensível a alterações

nessa variável do que nos preços. Além disso, dado que a elasticidade-renda estimada apresentou-se menor que a unidade, pode-se caracterizar a gasolina como um bem normal.

A variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina, incluída no modelo com o objetivo de capturar os desvios de inclinação da curva de demanda por gasolina após a entrada dos veículos *flex-fuel* no mercado, apresentou-se com o sinal esperado e estatisticamente significativa, com um coeficiente de aproximadamente -0,137. Isto significa que a partir de março de 2003 (quando se inicia a venda de carros *flex-fuel* no país) há uma significativa mudança na elasticidade-preço da demanda por gasolina, que se torna mais elástica, saindo de -0,197 para -0,334. Este resultado, portanto, indica que o mercado nacional de combustíveis de ciclo Otto pode estar passando por mudanças estruturais, para as quais a entrada dos veículos *flex-fuel* é a causa mais provável. Além disso, embora não tenha sido possível o cálculo da elasticidade-preço cruzada da demanda por gasolina em relação ao álcool, é possível afirmar que com a entrada dos carros bicomcombustível o álcool hidratado tem se tornado um substituto menos imperfeito da gasolina.

Neste sentido, alguns especialistas acreditam que o aumento da participação dos veículos *flex-fuel* na frota automotiva nacional vai limitar a capacidade de reajuste dos preços da gasolina no país. Caso o preço da gasolina sofra um forte reajuste (que não seja acompanhado pelo álcool hidratado), a tendência é que o álcool hidratado passe a ser mais usado pelos motoristas de veículos *flex-fuel*, reduzindo assim a demanda pela gasolina. O atual presidente da Petrobras, José Sérgio Gabrielli, recentemente se manifestou sobre esta questão<sup>30</sup>: "O carro bicomcombustível vai ser um regulador de mercado porque vai limitar a capacidade de reajuste". Ele também admitiu que a estatal já analisa o impacto desses veículos no mercado de derivados de petróleo no país, visto que o deslocamento do consumo de gasolina pelo álcool hidratado deve levar a excedentes crescentes de gasolina no Brasil.

Assim, com a renovação da frota automotiva centrada cada vez mais nos veículos *flex-fuel*, é razoável supor que as mudanças trazidas por esta nova tecnologia tendam a se acentuar, promovendo novas alterações no comportamento da demanda por gasolina no Brasil, particularmente no aumento da elasticidade-preço da demanda por gasolina.

---

<sup>30</sup> Matéria publicada na Folha (de São Paulo) Online, em 21/09/2005.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D.C.O.; BUENO, R.D.L.S. *Short-run, long-run and cross elasticities of gasoline demand in Brazil*. São Paulo. Ed. Elsevier Science B.V., 2003. *Energy Economics* 25 (2003): 191-199.

ANFAVEA. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira – 2005*.

BENTZEN, J. *An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques*. *Energy Economics*, 16(2) (1994) pp. 139-143.

BURNQUIST, H. L.; BACCHI, M. R. P. *A Demanda por Gasolina no Brasil: Uma Análise Utilizando Técnicas de Co-integração*. In: XL Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 2002, Passo Fundo, RS. *Equidade e Eficiência na Agricultura Brasileira*, 2002.

BEZERRA, C. C.; SANDES, I. R. F.; MARINHO, K. *A História da Indústria do Petróleo no Brasil: Suas Diferentes Nuances* (2002).

DAHL, D.; STERNER, T. *Analysing gasoline demand elasticities: a survey*. *Energy Economics*, (13) 3 (1991) pp. 201-210.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. *Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root*. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 74, no. 366, pp. 427-31, 1979.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, *Balanco Energético Nacional 2005*. <http://www.mme.gov.br>

ENDERS, W. *Applied Econometric Time Series*, 2<sup>nd</sup>. ed. New York: Wiley, 2004.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. *Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing*. *Econometrica*, vol. 55, no. 2, pp. 251-76, 1987.

ESPEY, M. *Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of elasticities*. *Energy Economics*, (20) 3 (1998) pp. 273-295.

FAVA, V. L. *“Teste de Raiz Unitária e Co-Integração” in Manual de Econometria*. São Paulo: Atlas, 2000.

GLASURE, Y. U.; LEE, A. *Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy: The case of South Korea and Singapore*. *Resource and Energy Economics*. (20) 1 (1998) pp. 17-25.

GOLDEMBERG, J.; MACEDO, I. *The Brazilian Alcohol Program - An Overview*. Energy for Sustainable Development, Vol. 1, no. 1, pp. 17-22, 1994.

GRANGER, C. W. J.; NEWBOLD, P. *Spurious regression in econometrics*. Journal of Econometrics, v. 2, pp. 111-120, 1974.

HENDRY, D.; JUSELIUS, K. *Explaining cointegration analysis: Part I and II*. (<http://www.econ.ku.dk/okokj/>). September 1999.

JOHANSEN, S. *Statistical analysis on cointegration vectors*. Journal of Economic Dynamics and Control, v. 12, pp. 231-254, 1988.

KAYSER, H. A. *Gasoline demand and car choice estimating gasoline demand using household information*. Energy Economics, 22 (2000) pp. 331-348.

LEI Nº. 9.478/97. <http://www.anp.gov.br>

LUCCHESI, C. F. *"Petróleo"*. Estudos Avançados 12 (33), 1998.

MASIH, M. M.; MASIH, R. *On the temporal causal relationship between energy consumption, real income, and prices: some new evidence from Asian-energy dependent NICS based on a multivariate cointegrated vector error-correction approach*. Journal of Policy Modelling, 19 (1997) pp. 417-440.

NELSON, C. R.; PLOSSER, C. I. *Trends and random walks in macroeconomic time series: some evidence and implications*. Journal of Monetary Economics, v. 10, 1982.

NOTA TÉCNICA ANP 011/2001, *Combustíveis no Brasil: Políticas de Preço e Estrutura Tributária*, 2001.

OLIVEIRA, A. *Reassessing the Brazilian alcohol programme*. Energy Policy. [s.l.] Butterworth-Heinemann Ltd, january/february, pp. 47-55, 1991.

PINTO Jr, H. Q. *Comércio externo de petróleo e derivados: a estratégia pós-choque*. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético I, 1989, Campinas. Anais. Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, 1989. 37-53.

RAMANATHAN, R. *Short- and long-run elasticities of gasoline demand in India: An empirical analysis using cointegration techniques*. Energy Economics, (21) 4 (1999) pp. 321-330.

ROPPIA, B. F. *Evolução do Consumo de Gasolina no Brasil e suas Elasticidades: 1973 a 2003*, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Economia, 2005.

TEIXEIRA, F. C. *A geopolítica mundial do petróleo*, 2005, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Leituras cotidianas nº 199, 10 de outubro de 2005.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – UNICA, [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)

VARIAN, H. R. *Microeconomia: princípios básicos*. 6ª edição. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2003.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introductory Econometrics. A Modern Approach*, 2 E., 2003.