

**ANÁLISE ECONÔMICA DO MERCADO
BRASILEIRO DE COMBUSTÍVEIS**

ANDRÉ RIBEIRO DE OLIVEIRA

2009

ANDRÉ RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE ECONÔMICA DO MERCADO BRASILEIRO DE
COMBUSTÍVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Administração, área de concentração em Dinâmica e Gestão de Cadeias Produtivas, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora
Profª. Dra. Cristina Lélis Leal Calegário

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira, André Ribeiro de.

Análise econômica do mercado brasileiro de combustíveis
/ André Ribeiro de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2009.
72 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.
Orientador: Cristina Lélis Leal Calegário.
Bibliografia.

1. Biocombustível. 2. Etanol. 3. Petróleo. 4. Veículos flex fuel. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 332.645

ANDRÉ RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE ECONÔMICA DO MERCADO BRASILEIRO DE
COMBUSTÍVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Administração, área de concentração em Dinâmica e Gestão de Cadeias Produtivas, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 30 de março de 2009

Prof. Dr. Luiz Gonzaga de Castro Junior UFLA

Profa. Dra. Thelma Safadi UFLA

Profa. Dra. Cristina Lélis Leal Calegário
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A minha orientadora, Cristina Lélis Leal Calegário pela sua disponibilidade, apoio e contribuição na elaboração da presente dissertação.

Ao grande amigo Luiz Eduardo Gaio, pelos ensinamentos e ajuda na realização desta pesquisa, no que se refere à parte de econometria.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por colaborar com os recursos materiais para a realização desta pesquisa.

A minha família que muito me apoiou nesta caminhada e sempre esteve presente em todos os momentos de minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	03
2.1 Objetivo geral.....	03
2.2 Objetivos específicos.....	03
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	04
3.1 Breve histórico e panorama atual do setor energético.....	04
3.2 Petróleo.....	05
3.2.1 O petróleo no mundo.....	09
3.2.2 O petróleo no Brasil.....	13
3.3 Etanol.....	18
3.3.1 O etanol no Mundo.....	19
3.3.2 O etanol no Brasil.....	24
3.4 Análise das relações no mercado de combustível no Brasil.....	35
4 METODOLOGIA.....	38
4.1 Natureza da pesquisa.....	38
4.2 Dados da pesquisa.....	38
4.3 Análise dos dados.....	40
4.4 Teste de raiz unitária.....	42
4.5 Vetor autorregressivo (VAR).....	43
4.6 Teste causalidade.....	44
4.7 Elasticidade de transmissão de preço.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1 Teste de raiz unitária.....	49

5.2 Teste causalidade de Granger.....	52
5.3 Elasticidade de transmissão de preço.....	56
5.4 Impacto dos veículos <i>flex fuel</i> sobre a produção de álcool no Brasil.....	60
6 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1	Análise elementar do óleo cru típico (% em peso).....06
TABELA 2	Frações típicas do petróleo.....07
TABELA 3	Importação e exportação de petróleo pelo Brasil entre 2000 e 2008, em barris.....17
TABELA 4	Produção de etanol dos 15 maiores países produtores do mundo (em milhões de galões por ano).....22
TABELA 5	Outros números do setor sucroalcooleiro referentes à safra 2008/09.....26
TABELA 6	Teste de estacionariedade (testes de raiz unitária).....53
TABELA 7	Teste de causalidade entre os preços do petróleo, álcool anidro e álcool hidratado.....55
TABELA 8	Matriz de relações contemporâneas.....59
TABELA 9	Relação entre veículos <i>flex fuel</i> e a produção de álcool.....63

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1	Processo de desregulamentação do setor petrolífero no Brasil.....16
FIGURA 2	Importação x exportação de petróleo pelo Brasil entre 2000 e 2008, em barris.....18
FIGURA 3	Produção de etanol dos 5 maiores países produtores do mundo (em milhões de galões por ano).....23
FIGURA 4	Série de preço do petróleo em nível e primeira diferença.....50
FIGURA 5	Série de preços do álcool anidro em nível e primeira diferença.....51
FIGURA 6	Série de preços do álcool hidratado em nível e primeira diferença.....52

RESUMO

OLIVEIRA, André Ribeiro de. **Análise econômica do mercado brasileiro de combustíveis**. 2009. 72 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

O petróleo tem sido, há muito, a principal fonte de energia global. Porém, em razão da grande volatilidade dos preços desse combustível fóssil e da instabilidade política que prevalece nas regiões detentoras das maiores reservas mundiais, a procura por outras fontes de energia tem se tornado cada vez mais proeminente. Além disso, o aumento do efeito estufa e a perspectiva da diminuição das reservas mundiais de petróleo e gás natural também têm resultado no aumento dessa busca por novas formas de abastecimento energético. Neste contexto, os biocombustíveis, com destaque para o etanol, têm se destacado como fonte de energia alternativa. Percebe-se um aumento crescente na sua utilização em vários países, visando reduzir o efeito estufa e reduzir a dependência de hidrocarbonetos fósseis. Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o principal objetivo de analisar as relações entre os preços do etanol e do petróleo no mercado brasileiro, buscando informações referentes à intensidade de transmissão de preços e às relações existentes entre estes mercados, por meio de análises econométricas. Verificou-se, por meio das análises, que os preços de etanol são influenciados pelo preço do petróleo da semana anterior à observada, o que comprova a influência das oscilações do preço do petróleo mundial sobre os preços do etanol no mercado brasileiro. Também se evidenciou que a introdução dos veículos *flex fuel* no Brasil interferiu no aumento de produção de álcool.

Palavras-chave: biocombustíveis, etanol, petróleo, veículos *flex fuel*.

¹ Orientadora: Profª. Dra. Cristina Lélis Leal Calegário – UFLA.

ABSTRACT

OLIVEIRA, André Ribeiro de. **Economic analysis of brazilian fuel market.** 2009. 72 p. Dissertation (Master Science in Administration) – Universidade Federal de Lavras.²

Oil has long been the main source of global energy; however, due to the high volatility of fossil fuel prices and political instability that permeate the regions that hold most of the world reserves, the demand for other energy sources has become increasingly prominent. Moreover, the increasing effect of greenhouse and the prospect of falling world oil reserves and natural gas also have resulted in an increase of the search for new forms of energy supply. In this context, biofuels, with emphasis on ethanol, have been highlighted as a source of alternative energy. An increase in its use in several countries to reduce the greenhouse effect and dependence on fossil oil is observed. Thus, this work had as main objective to analyze the relationship between the prices of oil and ethanol in Brazil, seeking information related to the intensity of price transmission and the relationship between these markets, through econometrics analysis. It was verified through the analysis that the price of ethanol is influenced by the price of oil of the previous week, which shows the influence of oil prices fluctuations on world prices of ethanol in the Brazilian market. It was also verified that the introduction of flex fuel vehicles in Brazil has contributed to the increase of production of alcohol.

Key words: Biofuel, Ethanol, Oil, Flex Fuel Vehicles.

² Adviser: Profa. Dra. Cristina Lélis Leal Calegário – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, o petróleo tem sido a principal fonte de energia global. Contudo, em razão da grande volatilidade dos preços desse combustível e da instabilidade política que prevalece nas regiões detentoras das maiores reservas mundiais, a procura por fontes alternativas de energia tem se tornado cada vez mais relevante.

Além disso, o aumento sensível do efeito estufa, devido, principalmente, à queima de combustíveis fósseis e a perspectiva da diminuição das reservas mundiais de petróleo e gás natural nas próximas décadas também têm resultado no aumento das buscas por novas formas de abastecimento energético.

Neste cenário, os biocombustíveis, com destaque para o etanol, têm se destacado como fontes de energia alternativa. Percebe-se um aumento crescente na sua utilização em vários países, devido aos acordos internacionais, como o protocolo de Quioto e outros, visando uma alternativa promissora para a obtenção de energia complementar e independente de hidrocarbonetos fósseis.

Dado o contexto, o presente trabalho consiste em uma análise das relações entre os preços do etanol e do petróleo no mercado brasileiro, buscando informações referentes à intensidade de transmissão de preços e às relações existentes entre estes mercados, por meio de análises econométricas.

A relevância deste trabalho justifica-se pela importância do tema de combustíveis renováveis e não-renováveis no cenário atual, quando os países buscam cada vez mais obter independência energética e diminuir a emissão de gás carbônico para a redução do aquecimento global.

Além disso, informações sobre a transmissão de preços entre os mercados de petróleo e etanol são de fundamental importância para os agentes destes setores no que se refere à tomada de decisões, bem como para a definição de políticas públicas com vistas ao desenvolvimento do mercado nacional, dado

o grande volume de investimento público e privado, tanto no setor petrolífero quanto sucroalcooleiro.

O trabalho consiste de seis seções, incluindo esta introdução. Na segunda seção apresentam-se o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa. Na terceira, uma revisão bibliográfica sobre energia, petróleo e etanol. Na quarta seção, denominada Metodologia, são apresentados a classificação da pesquisa, o método adotado, os procedimentos para análise e avaliação dos resultados, as técnicas utilizadas e as possíveis limitações. Os resultados e discussões são apresentados na quinta seção e, finalmente, na última seção, são apresentadas as conclusões referentes às análises econométricas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi analisar as relações entre os preços do etanol e do petróleo no mercado brasileiro, buscando informações referentes à intensidade de transmissão de preços e às relações existentes entre estes mercados, por meio de análises econométricas.

2.2 Objetivos específicos

Especificamente, pretendeu-se:

- analisar a elasticidade de transmissão e a causalidade de preço entre os mercados do petróleo e do etanol brasileiro;
- analisar o impacto do advento dos carros *flex fuel* na produção do etanol no Brasil.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Breve histórico e panorama atual do setor energético

A energia sempre esteve presente na evolução da humanidade. As primeiras formas de energia a serem controladas pelo homem foram a térmica e a luminosa, liberadas pelo fogo, sendo a madeira o principal combustível na época. Em seguida, surgiram as carroças movidas por animais, os barcos a vela e a roda d'água, por volta de 3500 a.C. O carvão foi adotado em 1000 a.C. (Gonçalves, 2007).

Na era moderna, o setor energético foi marcado por dois fatores: a Revolução Industrial e a descoberta do petróleo. A Revolução Industrial caracterizou-se pela substituição das manufaturas pelas máquinas, nos séculos XVIII e XIX e baseou-se em uma sucessão de combustíveis fósseis: carvão, petróleo, gás natural e, no século XX, a conversão de combustíveis e energia hidráulica em eletricidade.

Estima-se que, nas primeiras décadas do século XX, mais energia foi consumida pela humanidade do que havia sido em todos os séculos anteriores de sua existência e, para cada período subsequente de 20 anos, foi utilizada mais energia do que na totalidade do passado (Baumol, 1989).

Em 2007, o consumo global de energia permaneceu robusto, devido a um crescimento econômico acima da média, apesar dos altos preços da energia. Os preços do óleo cru aumentaram pelo sexto ano consecutivo; já os preços do gás natural aumentaram modestamente, com exceção da Europa, onde houve redução. Os preços do carvão caíram na América do Norte, mas aumentaram em outras regiões (British Petroleum Company, 2008).

De acordo com dados da British Petroleum, em 2007, o consumo primário de energia mundial cresceu 2,4%, contra 2,7% em 2006, mantendo um crescimento acima da média dos últimos 10 anos pelo quinto ano consecutivo. A

região da Ásia-Pacífico foi responsável por dois terços do crescimento do consumo global de energia em 2007, mesmo apesar do crescimento no Japão ter diminuído 0,9%. Na América do Norte, o crescimento foi de 1,6% e o da China, de 7,7% (o menor crescimento chinês desde 2002). O crescimento indiano foi de 6,8%. O consumo de energia da União Europeia diminuiu 2,2% em 2007, com a Alemanha registrando o maior declínio (BP, 2008).

No Brasil, de acordo com dados da ANP, foram consumidos 105,9 bilhões de litros de combustível em 2008, 8,4% a mais do que os 97,7 bilhões de litros consumidos no ano anterior. O crescimento registrado na comparação entre 2006/2007 foi de 7,57%. A participação dos combustíveis renováveis – etanol e biodiesel – no total da matriz de combustíveis automotivos alcançou 18,6%. O consumo de óleo diesel aumentou 7,7%, o que reflete o aquecimento da economia no ano passado (Agência Nacional de Petróleo, 2009).

O consumo de biodiesel aumentou 332%, devido à obrigatoriedade da adição de 2% do produto ao diesel, no primeiro semestre de 2008, e de 3% no segundo trimestre do ano, o que gerou uma economia de US\$ 1 bilhão para a balança comercial brasileira com a redução da importação de diesel. Em 2008, foram consumidos cerca de 18,88 bilhões de litros de gasolina A³, significando um aumento de 2,2% em relação a 2007 e 19,58 bilhões de litros de etanol (anidro e hidratado), representando elevação de 28,8% no período comparado. Em 2008, o setor de distribuição e revenda de combustíveis manteve um total de cerca de 75 mil agentes econômicos (ANP, 2009).

3.2 Petróleo

O petróleo, do latim *petrus* (pedra) e *olum* (óleo), é um óleo natural fóssil, não renovável, resultado da decomposição de produto orgânico soterrado durante milhões de anos e submetido a pressão e temperatura elevadas. No

³ No Brasil, gasolina A refere-se à gasolina antes da mistura com álcool anidro.

estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho-claro (Thomas, 2004).

É constituído, basicamente, por hidrocarbonetos, que são moléculas formadas por átomos de carbono e hidrogênio. Os demais constituintes aparecem sob a forma de compostos orgânicos que contêm outros elementos, sendo os mais comuns o nitrogênio, o enxofre e o oxigênio. Metais também podem ocorrer, como sais de ácidos orgânicos (TABELA 1). Quando a mistura contém uma maior porcentagem de moléculas pequenas, o estado físico do petróleo é gasoso e, quando a mistura contém moléculas maiores, seu estado físico é líquido, nas condições normais de temperatura e pressão.

TABELA 1 Análise elementar do óleo cru típico (% em peso).

Hidrogênio	11%-14%
Carbono	83%-87%
Enxofre	0,06%-8%
Nitrogênio	0,11%-1,7%
Oxigênio	0,1%-2%
Metais	Até 0,3%

Fonte: Thomas (2004).

Segundo Thomas (2004), o petróleo contém centenas de compostos químicos e separá-los em componentes puros ou misturas de composição conhecida é praticamente impossível. O petróleo é, normalmente, separado em frações de acordo com a faixa de ebulição dos compostos. As frações típicas que são obtidas do petróleo são mostradas na TABELA 2.

TABELA 2 Frações típicas do petróleo.

Fração	Temperatura de ebulição (°C)	Composição aproximada	Usos
Gás residual Gás liquefeito de petróleo – GLP	– Até 40	C ₁ - C ₂ C ₃ - C ₄	Gás combustível, gás combustível engarrafado, uso doméstico e industrial.
Gasolina	40–175	C ₅ - C ₁₀	Combustível de automóveis, solvente.
Querosene	175–235	C ₁₁ - C ₁₂	Iluminação, combustível de aviões a jato.
Gasóleo leve	235–305	C ₁₃ - C ₁₇	Diesel, fornos.
Gasóleo pesado	305–400	C ₁₈ - C ₂₅	Combustível, matéria-prima para lubrificantes.
Lubrificantes	400–510	C ₂₆ - C ₃₈	Óleos lubrificantes.
Resíduo	Acima de 510	C ₃₈₊	Asfalto, piche, impermeabilizantes.

Fonte: Thomas (2004).

A geração e a acumulação comercial de petróleo dependem de uma conjugação de fatores da natureza. Segundo a Petrobras (2008), o petróleo é formado a partir da sedimentação de variadas matérias em depressões da crosta terrestre. Esses sedimentos, resultado da erosão de rochas antigas e de microorganismos de natureza animal ou vegetal, foram se acumulando durante milhões de anos em fundos de lagos ou mares pobres em oxigênio e se converteram em rochas. Essas camadas rochosas sobrepostas formaram as bacias sedimentares.

A ação de bactérias, do calor e da pressão causada por esse empilhamento de novas camadas transformou essa matéria orgânica em querogênio, composto químico a partir do qual são gerados todos os tipos de hidrocarbonetos. Ao serem submetidas a temperaturas da ordem de 80°C, as moléculas de querogênio se partem e dão origem ao óleo, com gás associado.

Acima de 130°C, forma-se apenas gás e, acima de 210°C, os hidrocarbonetos desaparecem totalmente, restando apenas vestígios de carbono (Petrobras, 2008).

Segundo a Petrobras (2008), o petróleo, formado por essas transformações termogênicas nas rochas geradoras, migra através de fraturas ou camadas permeáveis de rochas, acumulando-se nas rochas reservatório, que podem estar localizadas próximas à superfície ou em profundidades superiores a 5 mil metros. Uma acumulação de petróleo se forma somente quando o óleo ou gás encontra uma barreira a essa migração, denominada estrutura ou trapa (do inglês *trap*, armadilha). A presença de uma trapa pressupõe a existência de uma rocha selante, sobreposta à rocha-reservatório porosa, para que o petróleo seja aprisionado.

Assim, para que haja uma acumulação comercial de petróleo ou gás, são necessárias: rochas geradoras, migração, rochas-reservatório e rochas selantes. São necessários ainda dutos naturais (falhas, fraturas, rochas permeáveis, etc.) para que o petróleo possa migrar até os reservatórios. A quantidade de óleo gerado, o tamanho da estrutura que o armazena e as características de permeabilidade e porosidade da rocha-reservatório dimensionam a importância da acumulação. Numa jazida, o petróleo não se encontra sob a forma de bolsões ou lençóis subterrâneos, mas nos poros ou fraturas das rochas, o que pode ser comparado a uma esponja encharcada de água. O gás fica retido nas partes mais altas e o óleo, nas mais baixas.

Existem acumulações com menos de um milhão de barris (a unidade de volume “barril” corresponde a 159 litros), até outras com mais de 500 milhões de barris de reservas, os chamados campos gigantes. As ocorrências mais antigas de petróleo em rochas sedimentares estão associadas a formações geológicas de aproximadamente 800 milhões de anos. As mais jovens têm cerca de um milhão de anos (Petrobras, 2008).

O óleo bruto extraído dos poços não tem aplicação direta. Para ser transformado nos combustíveis vendidos aos consumidores, passa por uma refinaria, onde é submetido a vários processos físicos e químicos que dão origem a diversos produtos indispensáveis à sociedade moderna, como o gás liquefeito de petróleo (GLP) ou gás de cozinha, nafta, solventes, gasolina, querosenes de aviação e de iluminação, óleo diesel, lubrificantes, parafinas, combustíveis marítimos, óleos combustíveis, asfaltos e coque.

Nas últimas décadas, o petróleo vem se mantendo como o principal insumo energético da sociedade industrializada. A decisão de extraí-lo depende não só de análises econômicas, mas também dos interesses estratégicos de cada nação, considerando-se questões públicas, custos, preços internacionais e tempo estimado para a extinção das reservas.

3.2.1 O petróleo no mundo

O registro da participação do petróleo na vida do homem remonta a tempos longínquos. De acordo com Thomas (2004), na antiga Babilônia, os tijolos eram assentados com asfalto e o betume era largamente usado pelos fenícios na calafetação de embarcações. Os egípcios o utilizaram na pavimentação de estradas, para embalsamar os mortos e na construção de pirâmides, enquanto gregos e romanos o utilizaram para fins bélicos. No Novo Mundo, o petróleo era conhecido pelos índios pré-colombianos, que o utilizavam para decorar e impermeabilizar seus potes de cerâmica. Os incas, os maias e outras civilizações antigas também estavam familiarizados com o petróleo, dele se aproveitando para diversos fins. O petróleo era retirado de exsudações naturais encontradas em todos os continentes.

O início e a sustentação do processo de busca com crescente afirmação do produto na sociedade moderna datam de 1859, quando foi iniciada a exploração comercial nos Estados Unidos, logo após a famosa descoberta do

Coronel Drake, em Tittusville, Pensilvânia, com um poço de apenas 21 metros de profundidade perfurado com um sistema de percussão movido a vapor, que produziu 2m³/dia de óleo. Descobriu-se que a destilação do petróleo resultava em produtos que substituíam, com grande margem de lucro, o querosene obtido a partir do carvão e o óleo de baleia, que eram largamente utilizados para iluminação. Esses fatos marcaram o início da era do petróleo (Thomas, 2004).

Posteriormente, com a invenção dos motores a gasolina e a diesel, estes derivados até então desprezados adicionaram lucros expressivos à atividade.

Até o fim do século passado, os poços se multiplicaram e a perfuração com o método de percussão começou a ser substituído pelo processo rotativo de perfuração. Segundo Thomas (2004), em 1900, no Texas, o americano Anthony Lucas, utilizando o processo rotativo, encontrou óleo a uma profundidade de 354 metros. Este evento foi considerado um marco importante na perfuração rotativa e na história do petróleo. Nos anos seguintes, a melhoria dos projetos e da qualidade do aço, os novos projetos de brocas e as novas técnicas de perfuração possibilitariam a perfuração de poços com mais de 10.000 metros de profundidade.

De acordo com Thomas (2004), a busca por petróleo levou a importantes descobertas nos Estados Unidos, Venezuela, Trinidad, Argentina, Borneu e Oriente Médio. Até 1945, a maior parte do petróleo produzido era oriunda dos Estados Unidos, maior produtor mundial até então, seguido de Venezuela, México, Rússia, Irã e Iraque. A partir dos anos 1950, os Estados Unidos continuaram detendo metade da produção mundial, mas já começava a afirmação de um novo polo potencialmente mais pujante no hemisfério oriental. Essa década marcou também uma intensa atividade exploratória e começaram a se intensificar as incursões no mar, com o surgimento de novas técnicas exploratórias.

Na década de 1960, registrou-se a abundância de petróleo existente no mundo. O excesso de produção, aliado aos baixos preços praticados pelo mercado, estimulou o consumo desenfreado. Esta década revelou grande sucesso na exploração de petróleo no Oriente Médio e na então União Soviética, o primeiro com expressivas reservas de óleo e o segundo com abundantes reservas de gás.

Os anos 1970 foram marcados por grandes elevações nos preços do petróleo. A guerra árabe-israelense, ocorrida em 1973 e, posteriormente, a guerra Irã-Iraque, em 1979, evidenciaram o risco existente na dependência em relação ao petróleo do Oriente Médio. Segundo Melo & Fonseca (1981), na época do primeiro choque, o Brasil importava aproximadamente 77% do petróleo utilizado para suprir a demanda interna de combustíveis.

Por outro lado, a elevação de preços do petróleo tornou economicamente viáveis grandes descobertas no Mar do Norte e no México. Outras grandes descobertas ocorreram em territórios do Terceiro Mundo e dos países comunistas, enquanto os Estados Unidos começaram a enfrentar o esgotamento de suas grandes reservas de petróleo, o que os obrigou a aprimorar métodos de pesquisa para localizar as de menor porte e de revelação mais discreta.

Ainda na década de 1970, grandes avanços tecnológicos no aprimoramento de dispositivos de aquisição, processamento e interpretação de dados sísmicos, como também nos processos de recuperação de petróleo das jazidas já conhecidas impulsionaram a atividade. Além disso, nesta década ocorreram significativos avanços na geoquímica orgânica, com consequente aumento no entendimento das áreas de geração e migração de petróleo.

Nos anos 1980 e 90, os avanços tecnológicos reduziram os custos de exploração e de produção, criando um novo ciclo econômico para a indústria petrolífera. Em 1996, as reservas mundiais provadas eram 60% maiores que em

1980 e os custos médios de prospecção e produção caíram cerca de 60% no mesmo período (Thomas, 2004).

Assim, ao longo do tempo, o petróleo foi se impondo como fonte de energia. Hoje, com o advento da petroquímica, além da grande utilização dos seus derivados, centenas de novos compostos são produzidos, muitos deles diariamente utilizados, como plásticos, borrachas sintéticas, tintas, corantes, adesivos, solventes, detergentes, explosivos, produtos farmacêuticos, cosméticos, etc. Com isso, o petróleo, além de produzir combustível, passou a ser imprescindível às facilidades e comodidades da vida moderna.

No entanto, estudos sobre a produção mundial de petróleo e gás natural apontam para um rápido alcance do pico de produção e indicam uma inevitável queda de capacidade produtiva.

De acordo com as agências internacionais de energia e produtores de petróleo, as reservas mundiais de petróleo estão se esgotando. Reservas como as do México caíram consideravelmente nos últimos anos, assim como as reservas do Reino Unido e dos países nórdicos (Marcoccia, 2007). As expectativas de produção, caso não haja descobertas expressivas de novas áreas para exploração, variam de 11 a 40 anos para a maioria dos países, ficando a produção concentrada entre os países do Oriente Médio e a Rússia (BP, 2008).

Os efeitos na diminuição das reservas mundiais de petróleo convencional de fácil prospecção levam os produtores de petróleo a locais de difícil acesso, com utilização de tecnologia de alto custo para a extração em águas profundas, regiões geladas e areias oleosas.

Segundo Marcoccia (2007), os preços praticados nos mercados mundiais nem sempre refletem o verdadeiro custo de produção, uma vez que, em muitas regiões, a exemplo do Oriente Médio, o custo é bastante inferior ao praticado nas bolsas.

3.2.2 O petróleo no Brasil

De acordo com Thomas (2004), a história do petróleo no Brasil começou em 1858, quando o Marquês de Olinda assinou o Decreto nº 2.266, concedendo a José Barros Pimentel o direito de extrair mineral betuminoso para a fabricação de querosene, em terrenos situados às margens do rio Marau, na então província da Bahia. No ano seguinte, o inglês Samuel Allport, durante a construção da Estrada de Ferro Leste Brasileiro, observou o gotejamento de óleo em Lobato, no subúrbio de Salvador.

No entanto, as primeiras notícias sobre pesquisas diretamente relacionadas ao petróleo ocorreram em Alagoas, em 1891, em função da existência de sedimentos argilosos betuminosos no litoral. O primeiro poço brasileiro com o objetivo de encontrar petróleo, porém, foi perfurado somente em 1897, por Eugênio Ferreira Camargo, no município de Bofete, no estado de São Paulo. Este poço atingiu a profundidade final de 488 metros e, segundo relatos da época, produziu 0,5 m³ de óleo.

Em 1919, foi criado o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, que perfurou, sem sucesso, 63 poços nos estados do Pará, Alagoas, Bahia, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Thomas, 2004).

De acordo com Thomas (2004), em 1938, já sob a jurisdição do recém-criado Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), iniciou-se a perfuração do poço DNPM-163, em Lobato, BA, que viria a ser o descobridor de petróleo no Brasil, no dia 21 de janeiro de 1939. O poço foi perfurado com uma sonda rotativa e encontrou petróleo a uma profundidade de 210 metros. Apesar de ter sido considerado antieconômico, os resultados do poço foram de importância fundamental para o desenvolvimento das atividades petrolíferas no país.

Até o final de 1939, aproximadamente 80 poços haviam sido perfurados. O primeiro campo comercial, entretanto, foi descoberto somente em 1941, em

Candeias, BA. A partir de 1953, no governo Vargas, foi instituído o monopólio estatal do petróleo, com a criação da Petrobras, que deu a partida decisiva nas pesquisas do petróleo brasileiro (Thomas, 2004).

Desde a sua criação, a Petrobras já descobriu petróleo nos estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Paraná, São Paulo e Santa Catarina. Cada década na empresa tem sido marcada por fatos de grande relevância na exploração de petróleo no país.

De acordo com a Petrobras (2008), o Brasil possui 30 bacias sedimentares principais, que se distribuem por mais de 6,4 milhões de km² em terra e 1,5 milhão de km² na plataforma continental, até a lâmina d'água de 3 mil metros. São 14 bacias exclusivamente terrestres e seis exclusivamente marítimas. As dez restantes se estendem da terra para a plataforma continental, sendo denominadas bacias costeiras. Apesar dessa extensa área sedimentar e do grande número de bacias, 70% delas não registram descoberta de óleo ou gás em quantidades comerciais. As bacias sedimentares brasileiras são mais propícias à geração de óleo (86%) do que de gás (14%).

Segundo Petrobras (2008), as principais bacias brasileiras com petróleo e gás, por ordem de produção, são: Campos (Rio de Janeiro e Espírito Santo), Espírito Santo, Potiguar e Ceará (Rio Grande do Norte e Ceará), Sergipe e Alagoas, Solimões (Amazonas), Santos, e Paraná.

Quando a Petrobras iniciou as atividades exploratórias, a produção de petróleo no Brasil limitava-se ao estado da Bahia. Desde então, a Companhia explorou petróleo em praticamente todas as bacias sedimentares brasileiras, tendo estudado uma área equivalente a dois terços do território nacional e perfurado poços em terra e no mar, em lâminas d'água de até 3 mil metros.

A Petrobras registra um índice de sucesso acima da média mundial, em que, para cada cem poços exploratórios, vinte apresentam bons resultados. As

maiores acumulações de petróleo no Brasil estão na porção submersa da bacia de Campos, onde se destacam os campos gigantes de Albacora (Petrobras, 2008).

Em novembro de 2007, a Petrobras confirmou a existência de mais uma grande província petrolífera, abrangendo as bacias do Espírito Santo, Campos e Santos. Somente a acumulação de Tupi, na bacia de Santos, que representa uma pequena parte dessa nova fronteira, pode aumentar em mais de 50% as atuais reservas do país, que somam aproximadamente 15 bilhões de barris de óleo equivalente, pelo critério SPE (*Society of Petroleum*) (Petrobras, 2008).

A Petrobras é reconhecida internacionalmente por sua atuação na exploração e produção de petróleo em águas profundas e produz, atualmente, mais de um milhão e novecentos mil barris de petróleo por dia, volume que ultrapassa o consumo de derivados no País.

Com relação ao mercado interno, até 2002, o setor petrolífero brasileiro era caracterizado pelo elevado grau de intervenção do governo. Contudo, algumas mudanças começaram a ocorrer a partir da segunda metade da década de 1990. Em 1996, os preços da gasolina automotiva ao consumidor foram liberados, continuando sob controle os preços de realização (remuneração da Petrobras), de faturamento da gasolina A na refinaria (preço de venda às distribuidoras) e os preços do óleo diesel na bomba. Porém, a partir de 2002, todos os preços deixaram de ser controlados pelo governo (FIGURA 1) (Maistro-Marjotta, 2002).

Em 2002, o preço da gasolina A nas refinarias deixou de ser fixado pelo governo e a importação de derivados de petróleo passou a ser permitida, incluindo a gasolina A e o óleo diesel. Dessa forma, o monopólio estatal da Petrobras foi flexibilizado e o mercado de combustíveis tornou-se livre, apesar do controle da Agência Nacional do Petróleo (ANP).

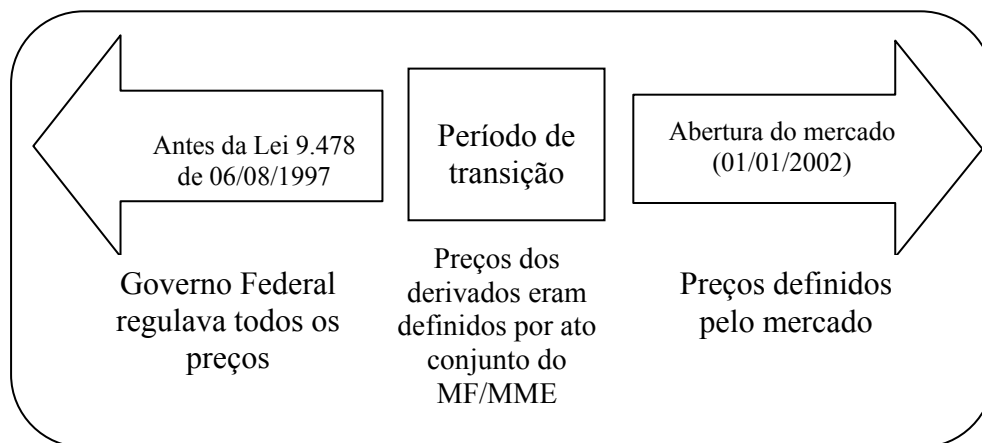


FIGURA 1 Processo de desregulamentação do setor petrolífero no Brasil.

No contexto atual, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é o órgão que regula as atividades que integram a indústria do petróleo e gás natural e a dos biocombustíveis no Brasil. A ANP foi criada pelo Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998 e é uma autarquia integrante da Administração Pública Federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, sendo responsável pela execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis, de acordo com a Lei do Petróleo (Lei nº 9.478/1997). Além de outras atribuições, a ANP estabelece regras por meio de portarias, instruções normativas e resoluções; promove licitações e celebra contratos em nome da União com os concessionários em atividades de exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural e fiscaliza as atividades das indústrias reguladas, diretamente ou mediante convênios com outros órgãos públicos (ANP, 2009).

Uma vez que os preços praticados pelas refinarias eram regulados por decretos do governo até 2002, os preços de venda das distribuidoras e de revenda dos postos ao consumidor final já estavam liberados desde 1996 (o óleo diesel foi o último a ter seu preço liberado, em 2002) e os preços do álcool

hidratado e anidro, utilizados como combustível e como aditivo, respectivamente, foram liberados ao produtor no final da década de 1990, o mercado de combustíveis operava em uma estrutura de formação de preços mista, com uma parte sendo ditada pelo governo e outra, formada pelo mercado.

Com relação à importação e à exportação de petróleo pelo Brasil, verifica-se, a partir da TABELA 3 e da FIGURA 2, que, até 2005, o país importava mais do que exportava. Esta tendência começou a se reverter a partir de 2006, quando o saldo entre importação e exportação passou a se equilibrar.

TABELA 3 Importação e exportação de petróleo pelo Brasil entre 2000 e 2008, em barris.

	Importação de petróleo	Exportação de petróleo
2000	145.300.794	6.818.662
2001	152.182.046	40.433.997
2002	138.725.789	85.760.604
2003	125.535.296	88.246.396
2004	169.275.492	84.251.682
2005	138.213.440	100.190.450
2006	131.508.359	134.336.184
2007	159.633.574	153.812.509
2008	135.239.995	132.604.085

Fonte: ANP (2009).

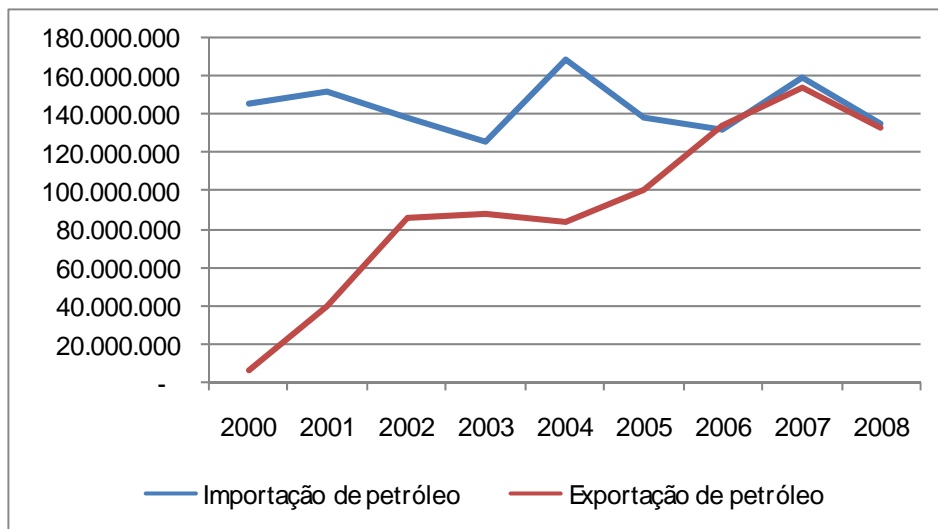


FIGURA 2 Importação x exportação de petróleo pelo Brasil entre 2000 e 2008, em barris.
 Fonte: ANP (2009).

3.3 Etanol

A composição química do etanol, cuja fórmula é C_2H_5OH , foi determinada, no século XIX, pelo suíço Nicolas-Theodore de Sausarre. Também chamado álcool etílico e, na linguagem popular, simplesmente álcool, é uma substância incolor, inflamável e de odor característico. É miscível em água e em outros compostos orgânicos. Seu ponto de fusão é $-114,0^{\circ}C$ e o de ebulição, $78,4^{\circ}C$. O seu teor é medido em graus Gay Lussac ($^{\circ}GL$), referente à quantidade de água incorporada ao álcool.

O etanol pode ser obtido por meio da fermentação de açúcares. Este é o método mais comum no Brasil, que utiliza a cana para obter os açúcares que dão origem ao etanol que é encontrado em todas as bebidas alcoólicas, assim como no álcool combustível e como aditivo na gasolina. O etanol pode ser obtido também pela fermentação de cereais.

3.3.1 O etanol no mundo

As técnicas de produção de etanol, na Antiguidade restritas à fermentação natural ou espontânea de alguns produtos vegetais, começaram a se expandir a partir da descoberta da destilação – procedimento que se deve aos árabes. Mais tarde, já no século XIX, fenômenos como a industrialização expandiram ainda mais este mercado (Wikipédia, 2008).

Henry Ford chegou a utilizar o etanol como combustível em motores de combustão interna no início do século XX, mas, devido ao baixo custo da gasolina na época, ele viu-se obrigado a adaptar seus motores (Marras, 2007).

De acordo com Carvalho (2001), durante a Segunda Guerra Mundial, o exército alemão, frente à impossibilidade de abastecer seus veículos com gasolina, utilizava o etanol proveniente do processamento de batatas para abastecer motores de combustão interna. A sua utilização, atualmente, é vasta: em bebidas alcoólicas, na indústria farmacêutica, como solvente químico e combustível, dentre outros.

O Brasil foi pioneiro na utilização do álcool como combustível em larga escala. No ano de 1975, o país implementou o Programa Nacional do Álcool, com o objetivo de reduzir a importação de petróleo. Em 1980, os EUA também adotaram um programa de utilização do etanol como combustível.

No final da década de 1990 e início de 2000, outros países desenvolvidos e em desenvolvimento passaram a analisar a possibilidade de implantação de programas de biocombustíveis, tendo como motivadores a questão ambiental, a redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa e a estratégia de diversificação da matriz energética, diminuindo a dependência em relação ao petróleo.

Atualmente, um dos grandes motivadores da adoção de biocombustíveis é o Protocolo de Quioto. Esse protocolo foi assinado por 141 países e entrou em

vigor em 16 de fevereiro de 2005, estabelecendo metas de controle de emissões em países industrializados. O objetivo é reduzir, até o ano de 2012, os níveis de dióxido de carbono em pelo menos 5% em relação aos praticados em 1990. Esta meta varia entre os signatários. Os Estados Unidos não aderiram ao protocolo, alegando que as metas especificadas prejudicariam sua economia (Protocolo..., 2005).

Para o cumprimento das metas, alguns países precisam encontrar alternativas para sua efetivação. Uma das possíveis soluções é a adição de etanol à gasolina. Algumas nações estão seguindo o exemplo brasileiro de produção e utilização do etanol misturado à gasolina. São eles: Estados Unidos, Índia, Suécia, Paraguai, China, Venezuela, Colômbia, Austrália, Tailândia, Canadá e Peru (Marcoccia, 2007).

Atualmente, no Brasil, a mistura de etanol à gasolina ocorre na proporção de 20% a 25%. A Colômbia exige a mistura de 10% nas cidades com mais de 500.000 habitantes; a Índia, 5%; a China, 10% em cinco províncias e a Tailândia, 10% na cidade de Bangkok. No Japão, a mistura é voluntária (3%) e, na União Europeia, a mistura deverá ser de 5,75%, no final de 2010. Além das misturas, alguns países projetam quotas de energias renováveis em suas matrizes energéticas, como, por exemplo, 20%, em 2020, no caso da União Européia; 28 bilhões de litros de biocombustíveis, para 2012, nos Estados Unidos e 3,1 bilhões de litros, para 2010, no Canadá (Puerto Rico, 2007).

Esta busca pela utilização da mistura de etanol à gasolina pode favorecer o mercado brasileiro no sentido de aumento de exportação de etanol para outros países. Alguns negócios já estão sendo acordados nesse sentido, como, por exemplo, a *Brazil Japan Ethanol* (BJE), *joint venture* formada entre a Petrobras e a empresa japonesa de álcool *Japan Alcohol Trading*, inaugurou, em março de 2009, no Japão, sua primeira unidade para produção de E3 – combustível formado pela mistura de gasolina com 3% de etanol (Oliveira, 2009).

O consumo de etanol como combustível restringe a emissão de poluentes da crescente frota de veículos. Isso ocorre especialmente em relação ao monóxido de carbono, aos óxidos de enxofre, aos compostos orgânicos tóxicos, como o benzeno e compostos de chumbo. De acordo com Castro (2007), além do aspecto ambiental, o etanol gera impactos econômicos e sociais consideráveis, como melhoria da renda rural, geração de empregos em larga escala, redução da dependência externa do petróleo e benefícios para a balança comercial.

Graças ao seu clima, à sua geografia, às vastas terras disponíveis para o cultivo de grãos e de cana-de-açúcar e, ainda, à tecnologia desenvolvida internamente, o Brasil se transformou, nos últimos anos, num dos maiores produtores de biocombustíveis, em termos globais, com um potencial de crescimento considerável. Hoje, nove em cada dez carros vendidos no país têm motores *flex fuel*, ou seja, são movidos a gasolina e a álcool. Já há em circulação frotas de ônibus, trens e caminhões movidos a biodiesel e a tendência é que este mercado se amplie muito nos próximos anos (Petrobras, 2007).

Além do Brasil, os Estados Unidos também são grandes produtores mundiais de etanol. Seguindo o exemplo do Brasil, os Estados Unidos também decidiram reduzir sua dependência em relação ao petróleo, por meio de políticas de subsídio aos produtores e de apoio ao aumento da quantidade de combustíveis alternativos misturada à gasolina (Martinez-Gonzales et al., 2007).

O Brasil foi o maior produtor em 2004 e 2005, mas, em 2006, os Estados Unidos começaram a capturar uma maior parcela de mercado, produzindo 36% do total mundial de etanol, enquanto o Brasil produziu 33,3% no mesmo ano. Bem atrás estão o terceiro e o quarto lugares, representados pela China e a Índia, com produção de 7,5% e 3,7%, respectivamente, em relação à produção mundial em 2006 (TABELA 4 e FIGURA 3) (Martinez-Gonzales et al., 2007).

TABELA 4 Produção de etanol dos 15 maiores países produtores do mundo (em milhões de galões por ano).

País	2004	2005	2006
Brasil	3.989	4.227	4.491
Estados Unidos	3.535	4.264	4.855
China	964	1.004	1.017
Índia	462	449	502
França	219	240	251
Rússia	198	198	171
África do Sul	110	103	102
Reino Unido	106	92	74
Arábia Saudita	79	32	52
Espanha	79	93	122
Tailândia	74	79	93
Alemanha	71	114	202
Ucrânia	66	65	71
Canadá	61	61	153
Polônia	53	58	66

Fonte: Shapouri & Salassi (2006); Renewable Fuels Association (2008).

Nota: 1 galão = 3,78541178 litros.

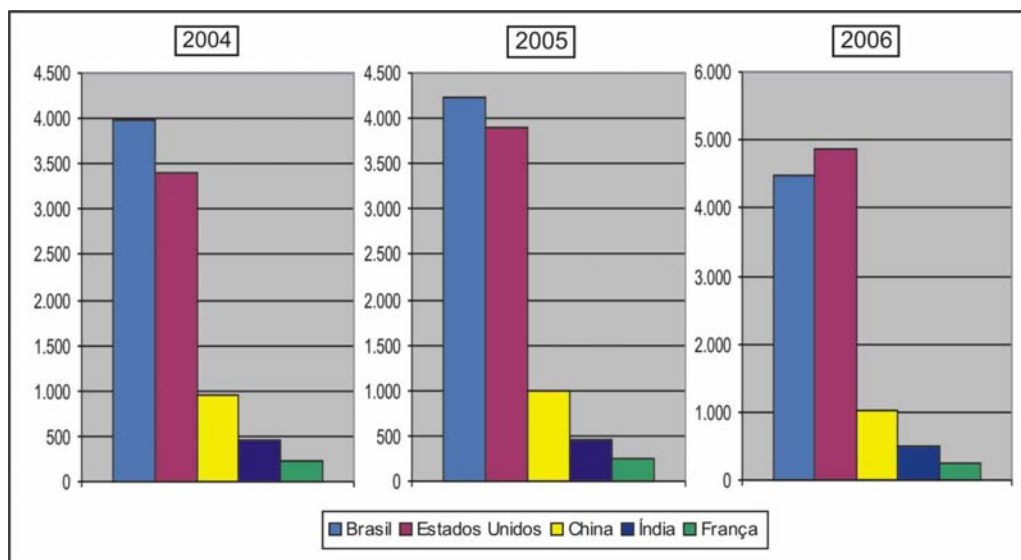


FIGURA 3 Produção de etanol dos cinco maiores países produtores do mundo (em milhões de galões por ano).

Fonte: Shapouri & Salassi (2006) e RFA (2008).

O Brasil desenvolveu sua agroindústria de álcool combustível com base na cana-de-açúcar e os Estados Unidos, com base no milho. No caso do Brasil, esses investimentos estratégicos foram realizados por empresas brasileiras e pelo Estado, por meio de uma política setorial. No caso dos Estados Unidos, foram realizados pelas empresas norte-americanas, com subsídios e reservas de mercado. De acordo com Martinez-Gonzales (2007), o programa de etanol norte-americano foi implantado com o objetivo de estabilizar o preço do milho, além de introduzir uma fonte alternativa de combustível.

Segundo Martinez-Gonzales (2007), é mais barato produzir o etanol da cana-de-açúcar do que a partir do milho; o balanço energético também é maior para o etanol de cana.

A União Europeia também está desenvolvendo seu programa de biocombustíveis, porém, diferentemente do que acontece no Brasil e nos Estados Unidos, naquela região, o biodiesel é o biocombustível predominante.

Por meio do *European Union Biofuels Directive*, a União Europeia decidiu que 5,75% do mercado líquido de combustíveis até 2010 seja composto por biocombustíveis. A Alemanha é o maior produtor de biodiesel da União Europeia, sendo responsável por quase 54% da produção do grupo em 2006, seguida por França (15%), Itália (9%), Reino Unido (4%), Áustria (2,5%), Polônia (2,4%), República Tcheca (2,2%), Espanha (2%) e outros (9%), de acordo com dados do *European Biodiesel Board*, citados por Birur et al. (2007). O grande crescimento da produção alemã de biodiesel é resultado de uma legislação favorável que garante isenção total aos biocombustíveis, o que é de grande relevância, uma vez que os impostos cobrados para os combustíveis são extremamente altos na União Europeia (Birur et al., 2007).

3.3.2 O etanol no Brasil

A previsão da produção de cana-de-açúcar para safra 2008/09 indica que o total dessa matéria-prima que será processada pelo setor sucroalcooleiro deverá atingir um montante de 571,4 milhões de toneladas, correspondendo a 13,9% a mais do que os 501,5 milhões de toneladas processadas na safra anterior. Ou seja, a nova colheita será aumentada com um volume adicional de cana da ordem de 69,9 milhões de toneladas. A produção total de açúcar está estimada em 32,1 milhões de toneladas e representa um acréscimo, em relação à última safra, de 2,6%. Para a produção de álcool, os números indicam um volume de produção da ordem de 26,6 bilhões de litros, com um expressivo aumento na produção nacional de 15,7% (Companhia Nacional de Abastecimento, 2008).

Os números confirmam a tendência de aumento na produção de álcool muito acima do observado para o açúcar. Este fato responde ao comportamento de ambos os mercados, pois, por um lado, o consumo do açúcar tem um padrão estável e modesto de crescimento, enquanto o álcool etílico, por suas notáveis

qualidades como combustível automotor, ocupa espaços crescentes como um produto de fonte limpa e renovável, capaz de substituir seu congênere de origem fóssil, a gasolina. Tal crescimento, tanto no mercado doméstico como no internacional, vem transformando este produto em um novo combustível de padrão universal.

Como consequência dessa tendência, a destinação da cana-de-açúcar para a fabricação de álcool está em crescimento nas unidades de produção. Na safra 2007/2008, a participação da cana destinada à produção de álcool foi de 54,03% (45,97% para o açúcar) e, na safra 2008/2009, esta proporção está estimada em 56,9% (43,1% para o açúcar). Da mesma forma, a crescente participação dos veículos *flex fuel* na frota automotiva brasileira de veículos leves, que já tem mais de 7 milhões de unidades em circulação, está impulsionando o consumo do álcool etílico hidratado, em substituição à gasolina e ao álcool anidro (Conab, 2008).

Em 2006, o Brasil produziu 17,7 bilhões de litros de etanol (hidratado e anidro) e exportou 3,3 bilhões de litros. Do volume que permaneceu no país, cerca de um bilhão de litros foi utilizado para fins industriais e alimentícios; pouco mais de 13 bilhões de litros foram utilizados efetivamente como combustível automotivo (Petrobras, 2007).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, citado em Petrobras (2007), o Brasil deverá atingir uma produção de cerca de 37 milhões de metros cúbicos em 2015, mais do que duplicando a atual produção.

De acordo com Messias (2009), até o fim de 2008 existiam 373 usinas e destilarias de etanol em operação no Brasil e os investimentos em novas plantas e ampliação de usinas, nos próximos cinco anos, somarão mais de R\$ 17 bilhões. Petrobras (2007) prevê que, até a safra 2012/2013, serão mais de 410 usinas em operação. Outros números do setor sucroalcooleiro podem ser observados na TABELA 5.

TABELA 5 Outros dados do setor sucroalcooleiro referentes à safra 2008/09.

Movimentou	R\$ 51 bilhões (Produção)
Representou	1,76 % do PIB
Gerou	4,5 milhões de empregos diretos e indiretos
Envolveu	72.000 agricultores
Moeu	560 milhões de toneladas de cana
Produziu	32 milhões de toneladas de Açúcar
Produziu	27 bilhões de litros de Álcool
Exportou	20 milhões de toneladas de açúcar / US\$ 9 bilhões
Exportou	5 bilhões de litros de Álcool / US\$ 2,2 bilhões
Recolheu	R\$ 13 bilhões em impostos e taxas
Investiu	R\$ 6 bilhões/ano
Utilizou	7,7 milhões de hectares – 3,5% área agricultável
Compõe-se de	373 Usinas e Destilarias em operação

Fonte: Adaptado de Messias (2009).

Assim, é possível afirmar que a produção brasileira de etanol está perfeitamente consolidada, podendo crescer ainda na substituição da gasolina, caso a volatilidade dos preços do petróleo continue. O Brasil é, atualmente, autossuficiente em petróleo, graças, em parte, à utilização de etanol. Com tudo isso, o Brasil poderá vir a ser um grande exportador de etanol e gasolina. Em 2010, segundo estimativas do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, citado em Petrobras (2007), o Brasil deverá exportar cerca de sete bilhões de litros do combustível.

Macedo (2006) argumenta que a tecnologia de produção de etanol no Brasil está totalmente madura, permitindo, ainda, alguns ganhos de produtividade na área agrícola e pouca coisa na área industrial; existem variedades de cana geneticamente modificadas que permitiriam grandes reduções nos custos de produção, embora não possam ser utilizadas pela morosidade do processo de liberação.

No Brasil, o etanol é utilizado como combustível automotivo de duas formas: álcool hidratado, para carros a álcool ou *flex fuel* e álcool anidro, que é adicionado à gasolina, atualmente na proporção de 25%. A diferença entre os

dois é o teor de água presente no produto: o álcool hidratado possui cerca de 7% de água, enquanto o álcool anidro possui apenas 0,7%, no máximo (Petrobras, 2007).

A história da utilização do etanol no Brasil data do início do século XX, quando as primeiras tentativas para uso de álcool em veículos foram realizadas pela Sociedade Nacional de Agricultura (SNA). A ocorrência do desabastecimento de combustível, ocasionado pela Primeira Guerra Mundial em território europeu, trouxe motivação para a realização, a partir de 1920, de várias experiências por usinas nordestinas por meio de misturas de combustíveis com álcool, prática que se tornou comum no Nordeste (Menezes, 1980). O uso obrigatório de 5% de álcool misturado com a gasolina importada tornou-se realidade com o decreto nº 9.717, de 2 de fevereiro de 1931.

Em 1933, foi criado o Instituto do Açúcar e Álcool (IAA), possibilitando a organização dos produtores, meios e recursos para financiamento das lavouras e usinas. O Decreto nº 737, de 23 de setembro de 1938, estendeu a mistura de 5% de álcool à gasolina produzida em território nacional, pela primeira refinaria brasileira de petróleo, a Destilaria Rio-Grandense de Petróleo.

Durante a Segunda Guerra Mundial, os problemas de abastecimento de petróleo se agravaram. A mistura chegou a ter 42% de álcool à gasolina. Mas, com o fim do conflito mundial e a busca por petróleo em território nacional, a utilização do etanol ficou restrito ao uso industrial e farmacêutico (Menezes, 1980).

Um novo conflito no Oriente Médio se iniciou entre árabes e judeus e a Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP)⁴ lançou, em 1973, um

⁴ A Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) é uma organização composta por países que retêm algumas das maiores reservas de petróleo do mundo, como é o caso da Arábia Saudita. A OPEP é o exemplo mais conhecido de cartel: seu objetivo é coordenar e unificar a política petrolífera dos países membros, centralizando a administração da atividade, o que inclui um controle de preços e do volume de produção,

embargo ao fornecimento de petróleo aos Estados Unidos e na Europa, o que provocou um aumento de preço a níveis nunca antes atingidos. De acordo com Poole (1979), no início da década de 1970, como resultado do primeiro choque do petróleo, vários países iniciaram pesquisas de desenvolvimento de fontes alternativas de energia, como por exemplo, eólica, solar, etc.

Em 14 de novembro de 1975, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), maior programa comercial de uso de biomassa para fins energéticos no mundo. Segundo Brandão (1985), devido à existência de uma indústria açucareira desde a época colonial, a cana-de-açúcar foi a matéria-prima que mais se adaptou ao programa. De 1975 a 1985, a produção de cana sofreu uma expansão, alcançando níveis altíssimos de produtividade e quase toda a frota de veículos carburados era abastecida com etanol.

O Brasil tornou-se o primeiro país a desenvolver a utilização em massa de um combustível renovável. Obtiveram-se progressos grandiosos no manejo da terra, no desenvolvimento de novas variedades de plantas e aumento de produtividade. Criou-se uma rede de distribuição para o etanol que contemplava todo o território nacional.

Diante da ameaça dos crescentes preços do petróleo no mercado internacional, um dos objetivos do governo ao lançar este programa foi reduzir o peso do petróleo na balança de pagamentos do país. Segundo Leite & Leal (2007), o Brasil importava, na época mais de 80% do petróleo que consumia. Outros objetivos do Proálcool foram os seguintes: redução da dependência de energia importada e de fonte não renovável, redução de disparidades regionais

estabelecendo pressões no mercado. Foi criada em 14 de Setembro de 1960, pelo Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela. Posteriormente, outros nove países se juntaram aos cinco membros fundadores: Qatar (1961), Indonésia (1962) – desfiliação em janeiro de 2009, Líbia (1962), Emirados Árabes Unidos (1967), Argélia (1969), Nigéria (1971), Equador (1973) - desfiliação de dezembro de 1992 a outubro de 2007 e Gabão (1975-1994).

de renda, redução de problemas ambientais e desenvolvimento de tecnologia nacional na área de alternativos energéticos, entre outros.

Na época do lançamento do programa, a produção anual de etanol no Brasil estava em torno de 600 milhões de litros, mas, em menos de dez anos, aumentou rapidamente e ultrapassou a meta do programa, de 10,6 bilhões de litros anuais (Leite & Leal, 2007). Os mecanismos de coordenação utilizados pelo governo foram os créditos e as subvenções aos produtores rurais e agroindustriais e o incentivo à produção e à compra de carros movidos a álcool, para criar o mercado de álcool hidratado.

Um efeito direto importante do programa foi a criação de uma grande demanda doméstica para o mercado de cana-de-açúcar. A criação do Proálcool resultou em melhorias aos produtores de açúcar que antes enfrentavam problemas de excesso de produção e altas flutuações de preços. Com a segunda crise do petróleo em 1979, o governo decidiu ampliar o programa, fornecendo maior apoio aos grandes produtores de etanol hidratado para suprir o mercado de combustíveis (Koizumi, 2003).

Dois institutos tiveram papéis vitais na implantação do Proálcool. O Instituto de Açúcar e Álcool (IAA) controlava a produção e as exportações de açúcar e etanol por meio do estabelecimento de uma quota de produção e fixação do preço de compra do etanol. A Petrobras controlava a distribuição e as vendas domésticas de etanol. O governo estabelecia o preço da cana-de-açúcar para os produtores independentes. Foram criados vários programas de investimento e apoio governamental na década de 1980. A capacidade nacional de produção expandiu-se para além de 16 bilhões de litros de etanol por ano (Koizumi, 2003).

Estudos recentes, como o de Moraes & Shikida (2002), têm confirmado o acerto dessa política pública. O Proálcool trouxe muitos benefícios ao país, tanto do ponto de vista macroeconômico, ao gerar economia de divisas como

consequência da menor importação de petróleo, quanto social, ao gerar volume expressivo de empregos e, finalmente, ambiental, ao gerar energia limpa, que não contribui para aumentar o efeito estufa.

Contudo, com o aumento da produção interna de petróleo e com o declínio dos seus preços internacionais, que se iniciou em 1986, o governo perdeu o interesse pelo programa. Mudanças nas condições macroeconômicas também resultaram em dificuldades para o Proálcool. A crise da dívida brasileira de 1982 esgotou as fontes de financiamento. De acordo com Koizumi (2003), uma distorção entre a demanda e a oferta de etanol ocasionou sérios problemas de mercado, no início da década de 1990, o que resultou na perda de credibilidade do etanol como combustível por parte dos consumidores. A produção de carros movidos a etanol começou a diminuir a partir de então. Leite & Leal (2007) argumentam que um ponto vital para a sobrevivência do programa foi a manutenção da infraestrutura de abastecimento — o etanol estava disponível em mais de 90% dos 30 mil postos de combustível instalados no país.

Com o objetivo de preservar o parque industrial do setor sucroalcooleiro, o governo brasileiro estabeleceu a mistura de 20% a 25% de álcool anidro à gasolina, com uma variação de mais ou menos 1% como uma forma de equilibrar a relação entre a oferta e a demanda de açúcar e etanol. A produção de veículos movidos a combustível renovável caiu para 2% do total fabricado.

O início do processo de abertura do setor sucroalcooleiro ocorreu a partir da extinção do Instituto do Açúcar e do Álcool, em 1990 e da liberação gradativa dos preços dos produtos do setor. Segundo Maistro-Marjotta (2002), o primeiro a ser liberado foi o preço do açúcar (1990), seguido pelo álcool anidro (1997), pela cana (1998) e, depois, pelo álcool hidratado (1999).

Também ocorreu a abolição do monopólio de distribuição da Petrobras, além da redução do subsídio aos produtores de etanol para ser misturado à

gasolina. Atualmente, não há restrições à produção de etanol; o governo estabelece apenas a quantidade de etanol a ser misturada à gasolina (Koizumi, 2003). Dessa forma, as atividades referentes à produção e à comercialização deixaram de ser orientadas pelo governo e passaram a fazer parte da administração privada.

A presença do governo federal na comercialização do álcool foi mantida por meio da realização de leilões para a compra e venda do produto e pela responsabilidade nas tomadas de decisão referentes aos percentuais de mistura do álcool anidro na gasolina. O governo também participa no acompanhamento da estrutura de comercialização adotada pelo setor privado para evitar a formação de cartéis.

De acordo com Castro (2007), o incentivo dado ao álcool combustível era o pagamento de subsídios de preço ao produtor e de transporte. Porém, a alta de preços dos derivados do petróleo, associada à desvalorização do real, fez com que esse combustível se tornasse competitivo em relação à gasolina, eliminando, assim, a necessidade do subsídio.

Uma das principais características do setor sucroalcooleiro do Brasil é a flexibilidade existente na produção, ou seja, ora pode produzir mais açúcar, ora mais álcool. Essa flexibilidade possibilita aos produtores redirecionarem as atividades como resposta ao mercado frente a possíveis ganhos com a produção de álcool ou açúcar. De acordo com Maistro-Marjotta (2002), as decisões relativas a quanto produzir de açúcar e de álcool em cada safra são tomadas com certa antecedência, tendo em vista a operacionalização da produção. No processo de tomada de decisão, os agentes econômicos formam expectativas em relação tanto ao preço quanto às quantidades demandadas de açúcar e de álcool, externa e internamente.

Atualmente, as relações comerciais de compra e venda de álcool se dão por meio de diferentes participantes do setor sucroalcooleiro. As negociações se

caracterizam, principalmente, por operações no mercado à vista de combustíveis. Maistro-Marjotta (2002) observou que a utilização de contratos com quantidades fixas e preços corrigidos por indexadores, como os Indicadores de Preço de Álcool Anidro e Hidratado – CEPEA/ESALQ, tem evoluído rapidamente.

O uso do etanol como combustível implica aumento de consumo devido ao menor poder calorífico, quando comparado ao da gasolina, o que significa que é necessária maior quantidade de combustível para a realização do mesmo trabalho. Na década de 1980, os usuários tinham de enfrentar alguns inconvenientes, como a dificuldade de dar partida no motor nos dias frios, o alto consumo e a corrosão das peças metálicas. Atualmente, a injeção eletrônica acabou com os problemas na partida, os tanques de combustível foram revestidos com materiais inoxidáveis e as peças metálicas receberam ligas resistentes à corrosão. O resultado é um veículo mais potente, devido ao maior poder energético do álcool, e mais econômico (Castro, 2007).

A partir de 2002, acontecimentos marcantes, como a queda das torres gêmeas de Nova York, conflitos no Afeganistão e Iraque e aumento dos níveis de consumo de petróleo de países em rápido crescimento (China e Índia), pressionaram o preço do petróleo a patamares elevados, resultando em aumento de preço da gasolina, o que trouxe de volta o interesse do consumidor pelo carro a álcool.

Dessa forma, as montadoras de veículos passaram a trabalhar no desenvolvimento do motor flexível ao combustível (FFV — *flex fuel vehicle*), que pode operar com gasolina, etanol ou qualquer mistura desses dois combustíveis. O uso de gasolina ou etanol nesses veículos depende do preço relativo entre eles, considerando que a equivalência em quilometragem é de 0,7 litros de gasolina por litro de etanol, segundo Leite & Leal (2007).

A criação do carro *flex fuel* contribuiu para eliminar o risco de desabastecimento nos períodos de alta do preço do açúcar no mercado mundial.

Entretanto, o crescimento previsto da produção de carros *flex fuel* pressupõe que o consumo de álcool hidratado se expandirá apenas se o seu preço continuar competitivo.

De acordo com Luiz (2006), em 2006, a frota de carros *flex fuel* estava em torno de 300 mil unidades e, em 2008, segundo a Conab (2008), este número chegou a 7 milhões. Segundo ANP (2009), em 2008, a produção de veículos *flex fuel* foi de 2.254.533 unidades, o que representa 70% do total de veículo produzidos no Brasil no referido ano. Segundo projeção do grupo de estudos da Câmara Setorial da Cana-de-Açúcar, citado por Luiz (2006), a frota nacional de carros *flex fuel*, somada a 16,1 milhões de carros a gasolina e a 560 mil carros a álcool, deverão consumir, em 2010, no total, 16,9 bilhões de litros de álcool carburante. Se considerada a demanda internacional do combustível, de álcool industrial e o volume do combustível da cana a ser adicionado no diesel ou usado na produção de biodiesel, a demanda saltaria de 13 bilhões de litros, em 2004, para 20 bilhões de litros, em 2010, ou seja, um crescimento de 53,85% (Luiz, 2006).

Outro aspecto importante a ser considerado são as exigências ambientais do Protocolo de Quioto, que entraram em vigor no início de 2005. Para os países industrializados comprometidos com as metas do Protocolo de Quioto, o uso de biocombustíveis representa uma das formas mais efetivas de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa associadas ao consumo energético no setor de transporte.

De acordo com Macedo (2006), desenvolvimentos nos últimos anos mostram claramente uma diferença muito grande na capacidade de redução de emissões entre os diversos biocombustíveis, indicando grande vantagem para o etanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil. Países como Japão, China, Tailândia e Índia passaram a adicionar álcool anidro à gasolina, a exemplo do que já faz o Brasil. A retomada da produção de álcool em escala no Brasil

ganhou importância com as perspectivas de novas divisas com exportações para mercados como Japão, China e Índia.

As transações internacionais no setor de etanol ainda são pequenas, sendo representadas, principalmente, pelas exportações brasileiras. Este cenário tende a se modificar com a inserção de novos países na indústria do álcool automotivo, o que elevará o volume negociado, fortalecendo o mercado internacional.

Todavia, o desenvolvimento dessa indústria em novos países depara-se com alguns entraves, como a dificuldade de obtenção de financiamentos, os riscos inerentes à indústria nascente e a baixa competitividade do álcool frente à gasolina devido aos altos custos de produção, dentre outros. De modo geral, para que as energias alternativas obtenham um desenvolvimento pleno, o apoio governamental se faz necessário; caso contrário, dificilmente competem com os combustíveis fósseis que, além dos menores custos de produção, já possuem um mercado consumidor consolidado.

Souza (2006) afirma que o mercado internacional do álcool automotivo crescerá bastante nos próximos anos, com a entrada de novos produtores e consumidores. O aumento da produção mundial fortalecerá o mercado internacional, incentivando, assim, uma maior utilização do álcool automotivo devido à garantia de oferta. O álcool hidratado deve adentrar no mercado internacional em um segundo momento, com a possibilidade de exportações dos veículos *flex fuel* produzidos no Brasil ou até mesmo a partir da produção destes veículos em outros países.

3.4 Análise das relações no mercado de combustível no Brasil

Estudos que buscam analisar as relações no mercado de combustíveis são relativamente escassos na literatura. Assis & Lopes (1980) avaliaram o comportamento do consumo de gasolina e óleo diesel entre 1970 e 1977,

obtendo estimativas de preço de curto e longo prazos para o Brasil. Os autores utilizaram a técnica *pooled regressions*, em conjunto com observações de séries temporais e estimaram a equação de consumo de gasolina e óleo diesel por mínimos quadrados ordinários, com variáveis *dummies*. Os resultados obtidos indicaram baixas elasticidades preço da demanda de gasolina e óleo diesel, além de baixa sensibilidade a variações na renda para o consumo de gasolina. O consumo mostrou-se sensível à variação na renda para o óleo diesel, com exceções da região norte.

Brown (1980) analisou a utilização de álcool como substituto para os derivados de petróleo. Ele partiu de hipóteses, como crescimento econômico, produção de etanol, produção nacional de petróleo e preço por barril de petróleo. O autor concluiu que o álcool pode ser útil para a diminuição da importação de petróleo, desde que combinado a uma política de substituição adequada.

Motta (1989) avaliou o desempenho do Proálcool e sua inserção no setor brasileiro de energia, analisando seu impacto no mercado de combustíveis. Segundo este autor, em 1984, 95% dos automóveis novos vendidos eram movidos a álcool, o que estaria resultando em uma crescente substituição da gasolina pelo álcool hidratado, o que afetaria o mercado doméstico de combustíveis. Fatores como as variações no preço do petróleo não foram analisados pelo autor.

Maciel (1991) analisou os aspectos relacionados à oferta e à demanda dos produtos envolvidos no Proálcool e desenvolveu um modelo constituído por um conjunto de equações de comportamento e identidades para cada produto: álcool, gasolina e açúcar. Os resultados obtidos mostraram que, se as tendências dos últimos anos persistissem, seria verificado um déficit cada vez mais elevado no abastecimento de álcool, evidenciando a divergência existente na estrutura que vem determinando a oferta e a demanda do produto.

Maistro-Marjotta (2002) procurou analisar e caracterizar o mercado de combustíveis, relacionando os efeitos de mudanças em variáveis associadas à oferta e à demanda sobre o comportamento dos agentes, num mercado parcialmente liberado, entre os anos de 1995 e 2000. Esta autora estimou dois modelos: modelo de ajuste pelo preço e modelo de ajuste pela quantidade. A partir dos resultados do primeiro modelo, a autora concluiu que os ajustes via preços foram pouco eficazes para influenciar alterações nas quantidades dos combustíveis; além disso, ela verificou a existência de certa inércia nos movimentos de preços, típica dos sistemas de controle de preços, como os que vinham prevalecendo na década de 1990.

Com os resultados do segundo modelo, as principais conclusões da autora foram: (a) as variações de demanda tendiam a ser atendidas sem grandes alterações nos preços da gasolina e dos seus componentes; (b) os ajustes de preços ao atacado da gasolina C e da gasolina A, ainda que moderados, eram repassados ao varejo parcialmente; (c) o governo tendia a absorver os choques externos de preços, não os repassando imediatamente ao varejo e o varejo não repassava, na mesma proporção, ao consumidor final. Assim, os resultados da pesquisa refletiram setores ainda operando sob a influência do Estado, que controlava suas operações sem necessariamente atender à lógica econômica (Maistro-Marjotta, 2002).

Burquinst & Bacchi (2002) apresentaram estimativas de elasticidades preço e renda da demanda por gasolina no Brasil, referentes ao período de 1973 a 1998. No curto prazo, os resultados indicam que a demanda por gasolina no país é inelástica a mudanças na renda real, dado que um aumento da ordem de 1% nessa variável resulta em incremento pouco expressivo, da ordem de 0,6% no consumo de gasolina. No longo prazo, a elasticidade renda apresentou-se um pouco mais elevada, da ordem de 0,959. Com relação à elasticidade preço da

demanda, os resultados indicaram que o consumo de gasolina é pouco sensível a mudanças nos preços desse combustível, tanto no curto quanto no longo prazo.

Gonçalves (2007) realizou modelagens univariadas e multivariadas das principais séries que compõem o setor energético brasileiro, constituído por fontes renováveis e não renováveis de energia, utilizando técnicas de séries temporais. A autora observou relações de dependência nas séries de produção de óleo diesel e de gasolina e que a série de produção de álcool depende apenas de seus valores passados.

No presente trabalho, pretende-se analisar as relações entre os preços do etanol e do petróleo no mercado brasileiro, buscando informações referentes à intensidade de transmissão de preços e às relações existentes entre estes mercados, por meio de análises de elasticidade de transmissão e causalidade de preço, e do impacto do advento dos carros *flex fuel* na produção do etanol no Brasil.

4 METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados a classificação da pesquisa, o método adotado, os procedimentos para análise e avaliação dos resultados, as técnicas utilizadas e as possíveis limitações.

4.1 Natureza da pesquisa

A metodologia empregada neste trabalho utiliza-se da concepção conclusiva de pesquisa. As pesquisas conclusivas podem ser causais ou descritivas (Malhotra, 2001). No presente estudo, fez-se uso da pesquisa conclusiva causal longitudinal, pois, segundo o autor, um estudo longitudinal trabalha com quadros que dão uma visão em profundidade da situação e, principalmente, das mudanças que ocorrem com o passar do tempo.

Dentre os tipos de pesquisa científica, a presente pode ser classificada como: descritiva, devido ao objetivo da pesquisa, fazer a descrição ou análise dos dados; quantitativa, por se tratar de uma análise quantitativa, com métodos matemáticos e econométricos; bibliográfica, devido ao estudo e à busca na literatura por trabalhos e livros que abordam o assunto referente à pesquisa e, por fim, experimental, pela utilização de métodos estatísticos.

4.2 Dados da pesquisa

Foi utilizada na pesquisa uma base de dados quantitativos, composta por um grupo de variáveis, conforme segue:

- preço do petróleo – preço FOB, em dólar (US\$), estilo exportação, semanal, do barril de petróleo do mercado físico – amostra de janeiro de 2001 a dezembro de 2008;

- preço do álcool anidro – preço do álcool anidro combustível, em reais (R\$) por metro cúbico – amostra de janeiro de 2001 a dezembro de 2008;
- preço do álcool hidratado – preço do álcool hidratado combustível, em reais (R\$) – amostra de janeiro de 2001 a dezembro de 2008;
- *dummy* veículos *flex fuel* – composta por uma forma binária, assumindo o valor 0 para os anos em que não existia venda de veículos *flex fuel*, em específico para os anos entre 1990 a 2002 e o valor 1 para os anos que houve venda de carros *flex fuel*, de 2003 a 2008;
- vendas de veículos *flex fuel* – valores referentes à quantidade vendida de veículos *flex fuel*, no Brasil, entre 1990 a 2008;
- preço da gasolina – referente ao preço médio anual do metro cúbico de gasolina, em reais, no Brasil;
- vendas de veículos a álcool – composta pela quantidade de veículos a álcool vendidos anualmente, no Brasil, no período de 1990 a 2003;
- vendas de veículos a gasolina – composta pela quantidade de veículos a gasolina vendidos anualmente, no Brasil, no período de 1990 a 2003;
- tendência – variável composta pelos números unitários crescentes de 0 a 13.

Os dados foram tratados pelo programa Excel. Para a utilização de métodos estatísticos utilizou-se o software Eviews®.

4.3 Análise dos dados

O primeiro passo da análise é a verificação da ordem de integração das séries, pois, segundo o que estabelecem as metodologias de análises de séries temporais, para evitar o problema de regressão espúria, as séries estudadas devem possuir o mesmo nível de integração. Utilizam-se dois testes de estacionariedade: o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller aumentado (ADF) (Dickey & Fuller, 1979) e o teste PP (Phillips & Perron, 1988) para as séries em nível e nas diferenças. O resultado dos testes de estacionariedade é acompanhado de seu p-valor, ou seja, a probabilidade de a série apresentar uma raiz unitária.

Para cada série de preço serão realizados os testes ADF e PP, para 20 níveis diferentes de defasagens, levando em consideração os fatores, a tendência e o parâmetro da constante se necessários. A escolha do nível ótimo de defasagem (lag) ocorreu conforme os menores valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e bayesiano (BIC).

O segundo passo consiste na análise empírica da relação de causalidade e elasticidade entre o preço do petróleo com o preço do álcool anidro e hidratado. Utilizou-se a metodologia de causalidade proposta por Granger (1969), com os níveis de defasagem iguais a 1, 2, 4, 5 e 10, buscando verificar se existe relação entre os preços do petróleo, álcool anidro e álcool hidratado.

Para a estimação dos coeficientes de elasticidade, utiliza-se o modelo de autorregressão vetorial (VAR), uma vez que se trata de dados defasados. A fim de que os coeficientes do modelo VAR expressem as elasticidades diretas, os dados devem ser logaritmizados antes do ajuste.

O terceiro e último passo refere-se à análise do impacto das vendas de carros *flex fuel* sobre a produção de álcool no Brasil.

Para tanto, foram utilizados três grupos de variáveis: a variável dependente referente à produção brasileira de álcool, que servirá como

parâmetro de análise; as variáveis independentes, *dummy* veículos *flex fuel* e a venda de veículos *flex fuel* e as variáveis de controle, preço do álcool, preço da gasolina e venda de veículos a gasolina.

A variável *dummy* tem o objetivo de medir o impacto causado na produção logo após a incorporação dos carros *flex fuel* no mercado.

A variável venda de carros *flex fuel* visa verificar qual a relação existente entre a produção de álcool e o aumento na produção de veículos *flex fuel*.

A utilização das variáveis de controle teve por objetivo a melhoria do modelo e a melhor qualidade de ajuste da reta de regressão.

A estimação dos parâmetros da regressão se deu por meio do método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), levando em consideração todos os pressupostos econométricos de correção e ajuste, tais como multicolinearidade, heteroscedasticidade e autocorrelação serial.

O efeito heteroscedástico foi evitado utilizando-se o logaritmo natural nas séries mais voláteis, como, por exemplo, as séries de preço, evitando a dispersão exagerada dos dados.

Para corrigir possíveis problemas de quebra estrutural e tendência estocástica, foram ajustados diversos modelos para diferentes tipos de variáveis de controle, como variáveis de tendência, parâmetro constante e variáveis *dummy* para quebras estruturais. Porém, tais variáveis não foram significativas para este caso, não havendo a necessidade de incorporá-las.

A escolha das variáveis que pertenceriam ao grupo de controle foi selecionada após o ajustamento de diversos modelos distintos e escolhido aquele que apresentasse o melhor valor segundo o critério de informação de Akaike (AIC) e bayesiano (BIC).

4.4 Teste de raiz unitária

O teste de raiz unitária tornou-se amplamente popular nos últimos anos e tem como principal finalidade verificar se uma série temporal é estacionária em nível ou se torna estacionária nas diferenças. Dos diversos tipos de testes encontrados na literatura, optou-se pela utilização dos de Dickey e Fuller aumentado (ADF) (Dickey & Fuller, 1979) e Phillips & Perron (1988) (PP), visto que estes são os mais utilizados na literatura.

O teste de Dickey & Fuller (DF) envolve a estimação da equação (01) pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e, posteriormente, testa a hipótese (02) de presença de raiz unitária. A hipótese nula é a de que a série apresenta uma raiz unitária, ou seja, a série não é estacionária. É interessante ressaltar que a utilização do teste DF será válida quando as séries que são geradas por um processo autorregressivo forem de ordem 1 e seus termos aleatórios seguirem um ruído branco. Portanto, caso o processo gerador de série temporal seja um processo autorregressivo de ordem superior a um [AR(p), em que (p>1)], o teste a ser utilizado corresponde ao Dickey & Fuller aumentado (ADF), que consiste em estimar a equação (01) pelo método MQO e testar a hipótese (02):

Teste Dickey & Fuller (DF)

$$\Delta R_t = \alpha R_{t-1} + x_t' \delta + \varepsilon_t \quad (01)$$

em que $\alpha = \rho - 1$. As hipóteses nula e alternativa são dadas por:

$$H_0 : \alpha = 0 \quad (02)$$

$$H_a : \alpha < 0$$

geralmente, é convencional utilizar a razão de t do α :

$$t_\alpha = \hat{\alpha} / (se(\hat{\alpha})) \quad (03)$$

em que $\hat{\alpha}$ é estimado de α e $se(\alpha)$ é o coeficiente de erro padrão.

Teste Dickey & Fuller aumentado (ADF)

$$\Delta R_t = \alpha R_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \omega_i \Delta R_{t-1} + \gamma T + u_t \quad (04)$$

em que $\omega = -\sum_{j=i+1}^p \rho_j$ t é tendência determinista e u_t é um ruído branco.

Phillips & Perron (1988) propuseram uma alternativa não paramétrica do teste de raiz unitária. O método PP é um avanço do proposto por Dickey & Fuller (1979), pois ele consegue controlar o efeito de correlação serial nos dados. A partir da estimação de (01), a estatística de teste é dado conforme expressão:

$$\tilde{t}_\alpha = t_\alpha \left(\frac{\gamma_0}{f_0} \right)^{1/2} - \frac{T(f_0 - \gamma_0)(se(\hat{\alpha}))}{2f_0^{1/2}s} \quad (05)$$

em que $\hat{\alpha}$ é o estimador, t_α é a razão de t do α , $se(\hat{\alpha})$ é o coeficiente de erro padrão e s é o erro padrão da regressão de teste, γ_0 é um estimador consistente da variância da equação (01) do teste ADF e f_0 é um estimador dos resíduos espectrais de frequência zero.

4.5 Vetor autorregressivo (VAR)

Conforme descrito por Alexander (2005), qualquer série de tempo univariada estacionária pode ser modelada por um modelo autorregressivo, dado que ele contém defasagens suficientes para capturar todas as dinâmicas.

Dessa forma, um vetor autorregressivo (VAR) de ordem 1 trata-se de um sistema bivariado dado por:

$$y_{1,t} = \alpha_{10} + \alpha_{11}y_{1,t-1} + \alpha_{12}y_{2,t-1} + \varepsilon_{1,t} \quad (06)$$

$$y_{2,t} = \alpha_{20} + \alpha_{21}y_{1,t-1} + \alpha_{22}y_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t}$$

ou na forma matricial:

$$Y_t = \alpha_0 + AY_{t-1} + E_t \quad (07)$$

em que $Y_t = (y_{1,t}, y_{2,t})'$, $\alpha_0 = (\alpha_{10}, \alpha_{20})'$, $E_t = (\varepsilon_{1,t}, \varepsilon_{2,t})$ e

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix}.$$

Geralmente, o modelo VAR(1) de um sistema de n variáveis é dado pela equação (06), em que y_t , α_0 e ε_t são vetores $n \times 1$ e A é a matriz $n \times n$ dos coeficientes.

O modelo VAR(p) é dado conforme expressão:

$$Y_t = \alpha_0 + A_1Y_{t-1} + \dots + A_pY_{t-p} + E_t \quad (08)$$

A estimação dos parâmetros dos modelos VAR é simples, assumindo-se que os erros sigam um processo i.i.d. Cada uma das n equações (08) pode ser estimada separadamente por MQO, para se obter estimadores assintoticamente consistentes.

4.6 Teste causalidade

Com base nos conceitos de Granger (1969); Sims (1972) desenvolveu um teste de causalidade que consiste em estimar as equações (09) e (10). A

ideia básica do teste é que se x causa y , então, mudanças em x precedem mudanças em y .

Neste contexto, em uma regressão de y , em função de seus valores defasados e de valores defasados de x , os valores de x deverão ser importantes para prever y . Diz-se, então, que y possui uma causalidade no sentido de Granger de x , se x ajuda a prever y , ou seja, se os coeficientes defasados de x são estatisticamente significativos. Entretanto, y deve ser útil na previsão de x .

É importante salientar que o fato de x causar y não quer dizer que y é efeito ou resultado de x . A causalidade de Granger mede a precedência da variável, as informações nelas contidas, não tendo, portanto, o sentido estrito de causalidade. Como a teoria é baseada em termos da importância das informações passadas, aconselha-se utilizar um número maior de defasagens (*lags*). As regressões bivariadas para esse teste são expressas desta forma:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \beta_i x_{t-i} \quad (09)$$

$$x_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \beta_i x_{t-i} \quad (10)$$

em que:

$y_t \rightarrow$ variável dependente;

$x_t \rightarrow$ variável independente;

α e $\beta \rightarrow$ parâmetros estimados para as equações.

Após estimarem-se as equações (09) e (10) para a realização do teste de causalidade, alguns cuidados devem ser tomados. Os principais deles são: a eliminação da autocorrelação entre os resíduos das regressões e a definição dos

números de defasagens (k2) e os valores futuros (k1) da variável explicativa que devem ser usados nas equações.

As hipóteses a serem testadas são as seguintes:

a) os coeficientes dos valores futuros da variável independente da equação (09) são zero;

b) os coeficientes dos valores futuros da variável independente da equação (10) são zero.

Se as duas hipóteses forem rejeitadas, ter-se-á relação bi-causal e, se ambas não forem rejeitadas, ter-se-á ausência de causalidade. Se a primeira hipótese for rejeitada e a segunda não, a causalidade será de y para x e, caso a primeira não seja rejeitada e a segunda seja, a causalidade será de x para y .

É importante detectar a presença de autocorrelação entre os resíduos por causa dos efeitos que essa pode causar, no caso de se utilizarem os estimadores convencionais dos parâmetros das equações (mínimos quadrados ordinários).

O teste de causalidade é feito com base na estatística F , a um nível de significância preestabelecido (de 1%). Para calcular essa estatística, utilizou-se a fórmula abaixo:

$$F = \frac{(SQR_r - SQR_u)}{\frac{SQR_u}{(n - q)}} \quad (11)$$

em que:

SQR_r → soma dos quadrados dos resíduos da equação com restrição;

SQR_u → soma dos quadrados dos resíduos da equação sem restrição;

q → número de parâmetros estimados na equação sem restrição;
p → número de parâmetros estimados na equação com restrição;
n → número de observações.

4.7 Elasticidade de transmissão de preço

Informações a respeito de elasticidade de transmissão de preço têm extrema importância para os processos de tomada de decisão, tanto para os agentes de mercado como para a iniciativa privada, proporcionando melhores condições e maiores conhecimentos para atuarem no mercado.

De acordo com Barros & Burnquist (1987), a elasticidade de transmissão de preços refere-se à variação relativa no preço a um nível de mercado em relação à variação no preço a outro nível, mantidos em equilíbrio os dois níveis de mercado após o choque inicial em um deles. A elasticidade de transmissão de preços entre dois mercados verticalmente integrados pode ser definida como a mudança percentual de preços de certo bem em um mercado, decorrente da variação de 1% do preço deste bem no outro mercado.

A elasticidade de transmissão dos preços pode ser expressa por meio da equação (08) do modelo autorregressivo vetorial (VAR), a partir de seus coeficientes α , que dará o valor da elasticidade de transmissão de preço entre os mercados.

A fim de se obter boa estimação dos coeficientes, realizam-se testes de diagnósticos e qualidade do ajuste para as equações, como o teste de normalidade de Bera & Jarque (1981), que busca verificar se as séries analisadas se comportam como uma distribuição normal, e o teste ARCH-LM (Engle, 1982), que testa a hipótese nula de homocedasticidade do modelo. Verifica-se também a ocorrência de quebra estrutural na série com o teste Chow (1960) e o teste RESET (Ramsey, 1969), que examina a possibilidade de erro de especificação da regressão. Realiza-se também o teste de Durbin-Watson

(Durbin & Watson, 1951) para verificar a ocorrência de autocorrelação dos resíduos, que ocorre com frequência em regressões que envolvem variações no tempo. Segundo Aguiar et al. (1996), a demora na transmissão de preço é um sintoma de funcionamento inadequado do mercado, principalmente no que se refere à fluidez de informações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados dos testes de raiz unitária, visando observar a ordem de integração e a presença de raiz unitária das séries de petróleo, álcool anidro e álcool hidratado; o teste de causalidade de Granger, para verificar a existência de relação causal entre os preços, petróleo e álcool, para diversos níveis de defasagem no tempo, bem como a modelagem estatística de autorregressão vetorial (VAR) nas séries, em busca de captar os possíveis impactos desta relação causal. Por fim, serão avaliados os impactos dos veículos *flex fuel* na produção de álcool no Brasil.

5.1 Teste de raiz unitária

O primeiro passo da avaliação empírica corresponde ao teste de raiz unitária (teste de estacionariedade) aplicado às séries dos preços do petróleo, álcool anidro e álcool hidratado. Nas FIGURAS 4, 5 e 6 apresentam-se os comportamentos das séries em nível (linha azul) e na sua primeira diferença (linha vermelha).

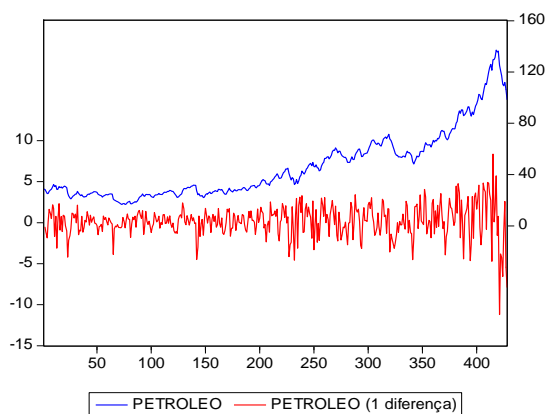


FIGURA 4 Série de preço do petróleo em nível e primeira diferença.

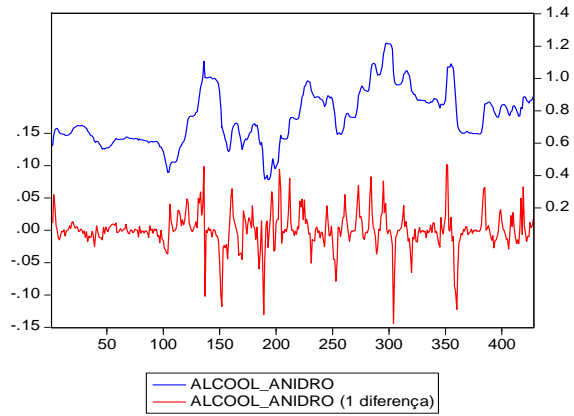


FIGURA 5 Série de preços do álcool anidro em nível e primeira diferença.

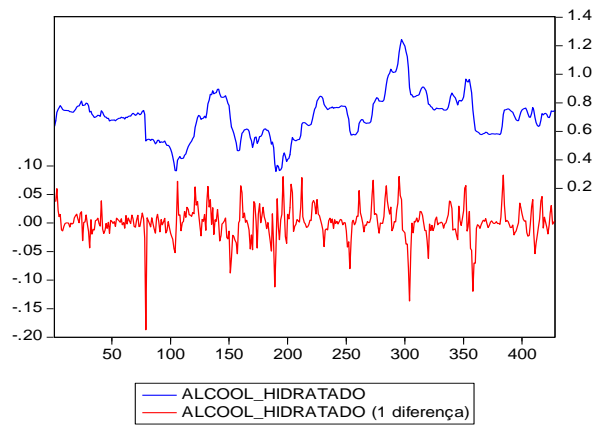


FIGURA 6 Série de preços do álcool hidratado em nível e primeira diferença.

Na TABELA 6 estão expressos os resultados dos testes de raiz unitária de Dickey-Fuller e Phillips-Perron aplicados aos preços do petróleo, álcool anidro e álcool hidratado.

TABELA 6 Teste de estacionariedade (testes de raiz unitária)

<i>Em Nível</i>	ADF		PP	
	Estatística t	p-valor	Estatística t	p-valor
Preço petróleo	-0,21	0,93	-0,12	0,95
Preço álcool anidro	-3,29	0,02	-2,73	0,07
Preço álcool hidratado	-3,33	0,01	-2,86	0,05
<i>Primeira diferença</i>				
Preço petróleo	-15,46	0,00	-15,75	0,00
Preço álcool anidro	-10,86	0,00	-10,86	0,00
Preço álcool hidratado	-11,73	0,00	-11,65	0,00

Analisando-se a TABELA 6, pode-se observar que os p-valores dos testes de ADF e PP para as séries em nível do preço do álcool anidro e hidratado são menores do que 0,05, o que os coloca na área de rejeição da hipótese nula – rejeita-se a hipótese de não estacionariedade -, evidenciando a estacionariedade destas séries em nível, a 5% de significância.

Dessa forma, pode-se afirmar que os preços do álcool anidro e hidratado não possuem qualquer tipo de tendência, se comportando em um mesmo nível, com média constante ao longo do tempo, confirmando os resultados apresentados na inspeção visual das FIGURAS 5 e 6.

A série de preço do petróleo em nível foi a única não estacionária, se tornando apenas quando se aplica a primeira diferença, uma vez que o p-valor

dos testes ADF e PP estão na área de aceitação da hipótese nula, sendo ele igual a 0,93 (ADF) e 0,95 (PP), o que não ocorre para o preço na primeira diferença.

Uma vez observado que os preços do álcool anidro e hidratado já são estacionários, então se considera que eles são integrados de ordem 0, ou seja, $I(0)$. Para o caso do preço do petróleo, seu nível de integração é de ordem 1, $I(1)$.

Em se tratando de séries com níveis de integração diferenciados, não é necessária a realização de testes de cointegração. Conforme exposto por Maddala & Kim (1998), um dos pressupostos do teste de cointegração é a necessidade de que as séries sejam integradas de mesma ordem e acima de $I(1)$. Dessa forma, não é necessária a utilização de modelos de correção de erros podendo, então, utilizar o modelo VAR na sua forma simplificada.

5.2 Teste causalidade de Granger

Na TABELA 7 é apresentada uma súmula dos resultados dos testes de causalidade entre os preços dos combustíveis. Os valores do p-valor menores que 0,10 indicam a rejeição da hipótese nula de ausência de causalidade ao nível de significância de 10%, enquanto os valores acima de 0,10 indicam a aceitação da hipótese. Em outras palavras, os p-valores baixo marcados com asterisco indicam a existência da relação de causalidade entre preços.

Foi realizado o teste de causalidade de Granger para cinco níveis de defasagens, com o objetivo de verificar até que ponto pode existir algum tipo de relação entre os preços. Os níveis de defasagem no tempo utilizados foram 1, 2, 4, 5 e 10. A escolha destes níveis de *lag* deve-se à quantidade de semanas passadas, testando a relação causal para 1, 2, 4, 5 e 10 semanas de defasagem.

TABELA 7 Teste de causalidade entre os preços do petróleo, álcool anidro e álcool hidratado.

Relação	Estatística F	p-valor
<i>1 defasagem</i>		
Preço petróleo -> preço álcool anidro	3,69	0,06***
Preço petróleo -> preço álcool hidratado	2,45	0,12
Preço álcool anidro -> preço petróleo	1,51	0,22
Preço álcool anidro -> preço álcool hidratado	0,00	0,95
Preço álcool hidratado -> preço álcool anidro	0,68	0,41
Preço álcool hidratado -> preço petróleo	3,21	0,07***
<i>2 defasagens</i>		
Preço petróleo -> preço álcool anidro	3,41	0,03**
Preço petróleo -> preço álcool hidratado	1,55	0,21
Preço álcool anidro -> preço petróleo	0,36	0,69
Preço álcool anidro -> preço álcool hidratado	8,12	0,00*
Preço álcool hidratado -> preço álcool anidro	5,15	0,01*
Preço álcool hidratado -> preço petróleo	0,76	0,47
<i>4 defasagens</i>		
Preço petróleo -> preço álcool anidro	3,30	0,01*
Preço petróleo -> preço álcool hidratado	1,31	0,27
Preço álcool anidro -> preço petróleo	1,44	0,22
Preço álcool anidro -> preço álcool hidratado	8,32	0,00*
Preço álcool hidratado -> preço álcool anidro	3,55	0,01*
Preço álcool hidratado -> preço petróleo	0,45	0,77
<i>5 defasagens</i>		
Preço petróleo -> preço álcool anidro	2,93	0,01*
Preço petróleo -> preço álcool hidratado	1,49	0,19
Preço álcool anidro -> preço petróleo	1,02	0,41
...continua...		

TABELA 7, Cont.

Preço álcool anidro -> preço álcool hidratado	6,63	0,00*
Preço álcool hidratado -> preço álcool anidro	2,73	0,02**
Preço álcool hidratado -> preço petróleo	0,45	0,81
<i>10 defasagens</i>		
Preço petróleo -> preço álcool anidro	2,10	0,02**
Preço petróleo -> preço álcool hidratado	1,19	0,29
Preço álcool anidro -> preço petróleo	0,85	0,58
Preço álcool anidro -> preço álcool hidratado	4,07	0,00*
Preço álcool hidratado -> preço álcool anidro	1,86	0,05**
Preço álcool hidratado -> preço petróleo	0,65	0,77

Nota: (*) Existe causalidade, a 1% de significância.
 (**) Existe causalidade, a 5% de significância.
 (***) Existe causalidade, a 10% de significância.

Analisando-se a TABELA 7, com 1 defasagem, observa-se que o preço do petróleo possui alguma relação de causalidade com o preço do álcool anidro, uma vez que a estatística t encontra-se na área de rejeição da hipótese nula de ausência de causalidade, o que é facilmente observado pelo p-valor menor que 0,1, a 10% de significância. Como só existe esta relação de causalidade, denomina-se que existe uma causalidade unidirecional no sentido de Granger do petróleo sobre o álcool anidro. Isto posto, em se tratando de dados semanais, verifica-se que os preços do álcool anidro de uma determinada semana são influenciados pelo preço do petróleo da semana anterior à observada.

Outra causalidade também observada na TABELA 7, na 1ª defasagem, refere-se à relação entre o álcool hidratado e o preço do petróleo. Conforme visto pelos altos valores da estatística t, estando elas na área de rejeição de H0, verifica-se que os preços do álcool hidratado começam a causar alguma interferência, no sentido de Granger, sobre o preço do petróleo. Porém, tal

evidência vai contra os pressupostos macroeconômicos, uma vez que o mercado brasileiro de álcool representa uma parcela pequena no mercado global de combustíveis, principalmente se comparado com o mercado mundial de petróleo.

A partir de duas defasagens, o resultado observado (TABELA 7) difere do anterior, pois se obtiveram três p-valores baixos, estando na área de rejeição da hipótese nula. Verifica-se que o petróleo ainda mantém uma relação causal com o preço do álcool anidro, para um prazo de duas semanas.

Um fato curioso observado no segundo nível de defasagem é com relação à causalidade entre os mercados nacionais de álcool anidro e hidratado. Tal efeito pode ser explicado pelo fato de os mercados nacionais de combustíveis, principalmente dos alcoóis, possuírem a mesma característica de oferta e demanda, resultando em um comportamento semelhante nas flutuações dos preços. Trata-se de mercados semelhantes, em que os agentes atuantes são, em sua maioria, os mesmos.

Em se tratando de duas defasagens no tempo de análise, a realidade do mercado começa a mudar o foco. Onde antes não existia causalidade, agora há uma causalidade bidirecional no sentido de Granger para os preços do álcool anidro e hidratado, mostrando que as flutuações de mercado podem interferir em ambos os preços, em um prazo de duas semanas.

Tal evidência demonstra que as usinas sucroalcooleiras devem ficar atentas ao comportamento do mercado do álcool combustível concorrente em um intervalo de duas semanas.

Para os outros níveis de defasagem, 4, 5 e 10, os resultados da TABELA 7 mostram que a causalidade se mantém igual ao nível de defasagem de 2.

Dessa forma, pode-se dizer que, nestas condições, o mercado já assimilou todas as informações necessárias para o comportamento de oferta e

demanda do preço, dando um sentido semelhante ao comportamento para diferentes períodos de tempo.

Tais resultados demonstram a ligação forte, em ambos os lados, dos preços dos alcoóis nacionais, o que serve de referência para previsões ou, quem sabe, para a tomada de decisão sobre o comportamento futuro dos preços dos combustíveis nacionais.

A interferência do preço do petróleo sobre o mercado nacional de álcool anidro, para todos os níveis de defasagem, é uma realidade já esperada pelos agentes pertencentes à cadeia produtiva do álcool. É importante que a utilização do preço do petróleo como referência para projeções futuras de oferta e demanda de álcool seja uma ferramenta utilizada no cotidiano dos investidores do setor sucroalcooleiro.

5.3 Elasticidade de transmissão de preço

Nesta seção são apresentados os resultados do ajuste dos modelos de autorregressão vetorial aplicados às séries de preço do petróleo, álcool anidro e álcool hidratado.

A ideia inicial desta aplicação é estimar o coeficiente de elasticidade da série, visando medir os impactos de transmissão de preço e causalidade entre os mercados de combustíveis. Dessa forma, ajustou-se um modelo autorregressivo vetorial (VAR) na sua forma simplificada.

Na TABELA 8 é apresentado o resultado da estimação do modelo VAR, considerando os cinco níveis de defasagem, 1, 2, 4, 5 e 10, respectivamente.

Em se tratando de dados logaritmizados, os coeficientes apresentados representam as estimativas de elasticidades das relações entre os preços, para os diferentes períodos de defasagens.

TABELA 8 Matriz de relações contemporâneas.

Influência		Coefficientes (elasticidades)	p-valor
Do	Sobre		
<i>0 defasagens</i>			
Preço petróleo	Preço álcool anidro	0,23	0.000
Preço petróleo	Preço álcool hidratado	0,15	0.000
Preço álcool anidro	Preço petróleo	1,17	0.000
Preço álcool hidratado	Preço petróleo	0,75	0.000
Preço álcool anidro	Preço álcool hidratado	0,90	0.000
Preço álcool hidratado	Preço álcool anidro	0,87	0.000
<i>1 defasagem</i>			
Preço petróleo	Preço álcool anidro	0,23	0,000
Preço petróleo	Preço álcool hidratado	0,15	0,000
Preço álcool anidro	Preço petróleo	1,16	0,000
Preço álcool hidratado	Preço petróleo	0,73	0,000
Preço álcool anidro	Preço álcool hidratado	0,89	0,000
Preço álcool hidratado	Preço álcool anidro	0,86	0,000
<i>2 defasagens</i>			
Preço petróleo	Preço álcool anidro	0,23	0,000
Preço petróleo	Preço álcool hidratado	0,16	0,000
Preço álcool anidro	Preço petróleo	1,15	0,000
Preço álcool hidratado	Preço petróleo	0,72	0,000
Preço álcool anidro	Preço álcool hidratado	0,85	0,000
Preço álcool hidratado	Preço álcool anidro	0,83	0,000
<i>4 defasagens</i>			
Preço petróleo	Preço álcool anidro	0,24	0,000

...continua...

TABELA 8, Cont.

Preço petróleo	Preço álcool hidratado	0,16	0,000
Preço álcool anidro	Preço petróleo	1,12	0,000
Preço álcool hidratado	Preço petróleo	0,69	0,000
Preço álcool anidro	Preço álcool hidratado	0,78	0,000
Preço álcool hidratado	Preço álcool anidro	0,76	0,000
5 defasagens			
Preço petróleo	Preço álcool anidro	0,24	0,000
Preço petróleo	Preço álcool hidratado	0,17	0,000
Preço álcool anidro	Preço petróleo	1,11	0,000
Preço álcool hidratado	Preço petróleo	0,68	0,000
Preço álcool anidro	Preço álcool hidratado	0,74	0,000
Preço álcool hidratado	Preço álcool anidro	0,72	0,000
10 defasagens			
Preço petróleo	Preço álcool anidro	0,25	0,000
Preço petróleo	Preço álcool hidratado	0,19	0,000
Preço álcool anidro	Preço petróleo	1,08	0,000
Preço álcool hidratado	Preço petróleo	0,64	0,000
Preço álcool anidro	Preço álcool hidratado	0,57	0,000
Preço álcool hidratado	Preço álcool anidro	0,54	0,000

Conforme resultados apresentados na TABELA 8, com 0 defasagem, percebe-se que as oscilações dos logaritmos dos preços do petróleo geram certo impacto sobre o logaritmo dos preços do álcool anidro, uma vez que seus coeficientes foram significativos, a 1%, 5% e 10%. Seu coeficiente de 0,23 demonstra que a oscilação de 10% no valor do preço do petróleo irá causar uma oscilação de 2,3%, menos que proporcional no preço do álcool anidro, no mesmo instante de tempo.

A diferença entre as análises da causalidade de Granger e do vetor autorregressivo condiz com o já esperado pela teoria econométrica, uma vez que, na causalidade de Granger, é avaliada a interferência entre somente duas séries de preços, o que não ocorre com o VAR, que utiliza um vetor de relação contemporânea, incorporando todas as séries, em diferentes níveis de defasagem, em uma só análise.

Comparando-se os resultados apresentados na análise de causalidade de Granger com os apresentados na TABELA 8, ao nível de 1 defasagem, percebe-se que, apesar de o álcool hidratado apresentar certa relação com o preço do petróleo, a elasticidade de impacto não é elevada, uma vez que o coeficiente de elasticidade calculado é menor do que 1. Um aumento de 10% do preço do álcool hidratado proporciona uma alta de 7,5% – coeficiente igual a 0,75 e p-valor significativo a 1%, ou seja, uma variação menos que proporcional.

A relação causal do preço do petróleo sobre o preço do álcool anidro, para duas semanas de defasagem, demonstra que existe um impacto moderado sobre os preços. O coeficiente de elasticidade menor do que 1 retrata a inelasticidade do mercado. Toda alta no preço do petróleo mundial irá gerar, após duas semanas, uma alta do preço do álcool anidro. Esta relação fica em torno de 10% para 2,3%.

O impacto das oscilações dos preços do petróleo sobre o preço do álcool anidro é um efeito não apenas nos níveis recentes de defasagem. Por meio das TABELAS 7 e 8, pode-se verificar que, para todos os níveis estudados, esta relação acontece. Isso demonstra que todos os agentes pertencentes à cadeia produtiva do álcool anidro devem levar sempre em consideração as oscilações do preço do petróleo mundial para a tomada de decisão sobre a produção e consumo do Álcool.

Em termos numéricos, percebe-se que uma alta de 10% do preço do petróleo proporciona uma alta de, aproximadamente, 2,4% no preço do álcool

anidro. Uma vez que os coeficientes de elasticidade nos períodos de defasagem ficaram em torno de 0,24, em média - 0,23, 0,23, 0,24, 0,24, 0,25 para 1, 2, 4, 5 e 10 defasagens, respectivamente.

5.4 Impacto dos veículos *flex fuel* sobre a produção de álcool no Brasil

Nesta seção são apresentados os valores do ajuste da regressão referente à análise do impacto dos carros *flex fuel* sobre a produção de álcool nacional.

Na TABELA 9 é apresentado o resultado da estimação da regressão da produção nacional de álcool e a venda dos veículos *flex fuel*, juntamente com suas variáveis de controle, preço do álcool, preço da gasolina, vendas de veículos a álcool e vendas de veículos a gasolina.

TABELA 9 Relação entre veículos *flex fuel* e a produção de álcool.

Variáveis	Coefficiente	Estatística t	p-valor
<i>Variáveis independentes</i>			
Constante	11799,17	6,40	0,00*
<i>Dummy</i> veículos <i>flex fuel</i>	3040,75	3,09	0,01**
Vendas veículos <i>flex fuel</i>	0,01	3,41	0,00*
<i>Variáveis de controle</i>			
Preço álcool	3,40	2,60	0,02**
Preço gasolina	3,38	2,30	0,04**
Vendas veículos gasolina	0,01	2,20	0,04*
Preço açúcar	-91,70	4,50	0,00*
R quadrado	0,93	Estat-F	27,53
R quadrado ajustado	0,89	p-valor	0,00
Erro padrão da regressão	909,49	Nº obs.	19
Estatística de Durbin-Watson	1,85		

Nota: (*) Existe relação, a 1% de significância.

(**) Existe relação, a 5% de significância.

Analisando-se a TABELA 9, pode-se perceber que as variáveis testadas para incorporar o modelo obtiveram um bom ajustamento. Este fator pode ser observado pelo valor de R quadrado igual a 0,93, o que indica que a produção ajustada explica 93% da produção real. A estatística F também é um bom parâmetro para se verificar a qualidade de ajuste. O valor de 27,53 o coloca na região de rejeição da hipótese nula – todos os coeficientes são iguais a zero. A estatística de Durbin Waltson é significativa, indicando a ausência de autocorrelação serial de primeira ordem.

A estatística *t* da variável *dummy* possui um valor considerável, dando significância ao parâmetro estimado, a 1%. O valor 6,40 (estatística *t*) se encontra na região de rejeição da hipótese nula – coeficiente igual a zero –, o que demonstra a influência da produção de carros *flex fuel* sobre a produção de álcool nacional.

Em termos numéricos, pode-se dizer que, após o ano de 2003, a produção de álcool, no Brasil, teve um acréscimo de 3,04 milhões de metros cúbicos, em média, devido à implantação dos carros bicombustíveis.

O consumidor só tem a ganhar com os carros *flex fuel*. A demanda por gasolina se tornou muito mais vulnerável, pois qualquer pequena oscilação nos preços já é um motivo para os consumidores optarem pelo bem substituto (álcool combustível).

Outro valor também importante na análise corresponde à variável venda de veículos *flex fuel*. Conforme se observa na TABELA 9, o p-valor menor do que 0,01 indica que esta variável é significativa a 1%, pois sua estatística *t* entra na área de rejeição da hipótese nula, ou seja, o coeficiente é diferente de zero.

Tal evidência é uma confirmação de que a produção dos veículos *flex fuel* interferiu no aumento na produção de álcool, conforme verificado pela variável *dummy*. Porém, seu coeficiente próximo de zero indica que, após a implantação dos carros *flex fuel*, o setor sucroalcooleiro já havia assimilado as

informações do mercado, aumentando a produção, conseguindo manter um controle das imperfeições causadas pela oferta e demanda de álcool. Em outras palavras, já havendo um número grande de veículos bicombustíveis no mercado, o aumento de um carro *flex fuel* na frota nacional não gera grandes efeitos na produção de álcool, uma vez que o setor, prevendo o aumento da produção de carros *flex fuel*, se preparou, em termos de capacidade instalada, para atender a essa nova demanda.

Com relação às variáveis de controle, percebe-se que todas foram significativas, a 5% de confiança. A variável preço de álcool possui boa influência na produção do álcool. O aumento de R\$1,00 no preço de álcool produz um aumento de 3,4 milhões de metros cúbicos na produção de álcool. Tal evidência está de acordo com os pressupostos microeconômicos: quanto maior o preço maior será a produção de álcool, devido ao incentivo para esse aumento.

O preço do bem substituto – preço da gasolina – é uma importante variável a ser considerada. Conforme dados da TABELA 9, um aumento de R\$1,00 no preço da gasolina proporciona um aumento de 3,38 milhões de metros cúbicos na produção de álcool. Com o aumento do preço da gasolina, consumidores deixam de abastecer seus veículos com gasolina e optam por um combustível alternativo (álcool). O simples fato de os consumidores mudarem de atitude na hora do consumo proporciona um aumento significativo na demanda por álcool, elevando consideravelmente sua produção.

As vendas de veículos a gasolina também exercem influência na produção de álcool, uma vez que seu coeficiente é significativo a 1%. O coeficiente 0,01 das vendas de veículo a gasolina indica que, para um aumento de 1 veículo a gasolina, tem-se um aumento de 1 mil metros cúbicos na produção de álcool.

O preço do açúcar é um importante fator na hora de se verificar a produção de álcool. O coeficiente -91,7, significativo a 1%, indica que um aumento de US\$ 1,00 na cotação do açúcar irá promover uma queda de 91,7 mil metros cúbicos na produção de álcool. Com o aumento do preço, a produção de açúcar fica mais atraente para as usinas sucroalcooleiras e, dessa forma, a produção de álcool é reduzida para dar lugar à produção de açúcar.

6 CONCLUSÕES

Em um cenário como o atual em que os países buscam cada vez mais obter independência energética e diminuir a emissão de gás carbônico para a redução do aquecimento global, estudos relacionados aos mercados de combustíveis renováveis e não-renováveis no cenário atual, são de extrema importância.

Além disso, informações sobre a transmissão de preços entre os mercados de petróleo e etanol são de fundamental importância para os agentes destes setores no que se refere à tomada de decisões, bem como para a definição de políticas públicas com vistas ao desenvolvimento do mercado nacional, dado o grande volume de investimento público e privado, tanto no setor petrolífero quanto sucroalcooleiro.

Com este trabalho pretendeu-se analisar as relações entre os preços do etanol e do petróleo no mercado brasileiro, buscando informações referentes à intensidade de transmissão de preços e às relações existentes entre estes mercados, por meio de análises econométricas. Especificamente, buscou-se analisar a elasticidade de transmissão e a causalidade de preço entre os mercados do petróleo e do etanol brasileiro e analisar o impacto da introdução dos veículos *flex fuel* na produção de etanol no Brasil.

O teste causalidade de Granger evidenciou que existe uma causalidade unidirecional no sentido de Granger do petróleo sobre o álcool anidro com um nível de defasagem, ou seja, os preços do álcool anidro de uma determinada semana são influenciados pelo preço do petróleo da semana anterior à observada.

É importante que a utilização do preço do petróleo como referência para projeções futuras de oferta e demanda de álcool seja uma ferramenta utilizada no cotidiano dos investidores do setor sucroalcooleiro.

Em se tratando de duas defasagens no tempo de análise, verificou-se uma causalidade bidirecional no sentido de Granger para os preços do álcool anidro e hidratado. Dessa forma, em um prazo de duas semanas, as flutuações de mercado podem interferir em ambos os preços. Assim, é importante que as usinas sucroalcooleiras fiquem atentas ao comportamento do mercado do álcool combustível concorrente, em um intervalo de duas semanas.

Como, para os demais níveis de defasagem utilizados, a causalidade se manteve igual ao nível 2, pode-se dizer que, nestas condições, o mercado já assimilou todas as informações necessárias para o comportamento de oferta e demanda do preço, dando um sentido semelhante ao comportamento para diferentes períodos de tempo.

As análises de elasticidade de transmissão de preço revelaram que uma alta de 10% do preço do petróleo proporciona uma alta de, aproximadamente, 2,4% no preço do álcool anidro. Assim, é importante que todos os agentes pertencentes à cadeia produtiva do álcool anidro levem em consideração as oscilações do preço do petróleo mundial para a tomada de decisão sobre a produção e consumo do álcool.

Os valores do ajuste da regressão referente à análise do impacto dos veículos *flex fuel* sobre a produção de álcool nacional demonstraram a influência da produção de carros bicombustíveis sobre a produção de álcool no Brasil. Após o ano de 2003, a produção de álcool teve um acréscimo de 3,04 milhões de metros cúbicos, em média, devido à implantação desse tipo de veículo.

Verificou-se, ainda, que, após a implantação dos carros *flex fuel*, o setor sucroalcooleiro já havia assimilado as informações do mercado, aumentando a produção, conseguindo assim manter um controle das imperfeições causadas pela oferta e demanda de álcool. Em outras palavras, pode-se dizer que, prevendo o aumento da produção de veículos bicombustíveis, o setor

sucroalcooleiro se preparou, em termos de capacidade instalada, para atender a essa nova demanda.

Com relação às variáveis de controle, constatou-se que:

- Quanto maior o preço, maior será a produção de álcool, devido ao incentivo para esse aumento;
- Uma elevação no preço da gasolina proporciona um aumento na produção de álcool. A elevação do preço de um combustível (gasolina) leva os consumidores a optarem por um combustível alternativo (álcool);
- Um aumento na cotação do açúcar irá promover uma queda na produção de álcool, pois, com o aumento do preço, a produção de açúcar torna-se mais atraente para as usinas sucroalcooleiras.

É importante ressaltar, como limitação deste trabalho, a utilização de apenas séries históricas de preços (petróleo, álcool anidro, álcool hidratado, gasolina e açúcar) e de vendas de veículos (*flex fuel*, a álcool e a gasolina). Como sugestão para trabalhos futuros, é interessante que se considerem outras variáveis para a composição dos modelos, como por exemplo, séries de produção e variáveis macroeconômicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Consumo de combustíveis cresceu 8,4% na comparação entre 2007 e 2008**. 2009. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/noticias_int.asp?intCodNoticia=321>. Acesso em: 1 mar. 2009.

AGUIAR, D. R. D.; BARROS, G. S. A. C.; BURNQUIST, H. L.; FERREIRA, L. R. Análise da eficiência e competitividade no sistema de comercialização de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 31., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: [s.n.], 1996. p. 54-67.

ALEXANDER, C. **Modelos de mercado**: um guia para a análise de informações financeiras. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2005. 522p.

ASSIS, A. N.; LOPES, L. B. R. A ineficiência da política de preços para conter o consumo de derivados de petróleo. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 417-428, jul./set. 1980.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2008/indice.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

BARROS, G. S. A. C.; BURNQUIST, H. L. Causalidade e transmissão de preços agrícolas entre níveis de atacado e varejo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DA ECONOMETRIC SOCIETY, 7., 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 1987. p. 175-190.

BAUMOL, W. J.; BLACKMAN, S. A. B.; WOLFF, A. N. **Productivity and american leadership**: the long view. Cambridge: Mit, 1989.

BERA, A. K.; JARQUE, C. M. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residual. **Economics Letters**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 255-259, 1980.

BIOCOMBUSTÍVEIS: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado. Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. 44 p. Cartilha.

BIRUR, D. K.; HERTEL, T. W.; TYNER, W. E. **The biofuels boom:** implications for world food markets. West Lafayette: Purdue University, 2008. (GTAP Working Paper, n. 51). Disponível em: <<http://www.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2009/03763.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2009.

BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar:** álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil. Brasília: Horizonte, 1985. 269 p.

BRITISH PETROLEUM COMPANY. **Statistical review of world energy 2008.** Londres, 2008. 48 p. Cartilha. Disponível em: <www.bp.com/statisticalreview>. Acesso em: 15 dez. 2008.

BROWN, R. I. Um esquema para avaliar os impactos de estratégias diversas para etanol, outras substituições e a racionalização na demanda de derivados de petróleo em 1985. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 32, n. 8, p. 1032-1040, ago. 1980.

BURQUINST, H. L.; BACCHI, M. R. P. A demanda por gasolina no Brasil: uma análise utilizando técnicas de co-integração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 40., 2002, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EDIUPF, 2002. p. 1-13.

CARVALHO, L. C. C. Álcool do Brasil: energia limpa e renovável. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 21, n. 9, p. 18-27, set. 2001.

CASTRO, R. C. F. **Análise da preferência dos consumidores por álcool e gasolina segundo dados da POF 2002-2003.** 2007. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHOW, G. C. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. **Econometrica**, Chicago, v. 28, n. 3, p. 591-605, July 1960.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-Açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2008.** Brasília: Conab, 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3_levantamento2008_dez2008.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2009.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 74, n. 366, p. 427-431, June 1979.

DURBIN, J.; WATSON, G. S. Testing for serial correlation in least-squared regression. **Biometrika**, London, v. 38, n. 1/2, p. 159-178, June 1951.

ENGLE, R. F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. **Econometrica**, Chicago, v. 50, n. 4, p. 987-1007, July 1982.

GONÇALVES, L. R. **Modelagem de séries representativas do setor energético brasileiro**. 2007. 106 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GRANGER, C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods. **Econometrica**, Chicago, v. 37, n. 3, p. 424-438, July 1969.

INTERNATIONAL ENERGY FORUM. **Statistical review of world energy June 2008**: preservaton. Disponível em: <<http://www2.iefs.org.sa/whatsnew/Pages/BPStatisticalReview.aspx>>. Acesso em: 17 jan. 2009.

KOIZUMI, T. The brazilian ethanol programme: impacts on world ethanol and sugar markets. **Fao Commodity and Trade Policy Research Working Paper**, [S.l.], n. 1, p. 1-21, June 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/006/AD430E/AD430E00.HTM>>. Acesso em: 18 jan. 2009.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 78, jul. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000200003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 3 mar. 2008.

LUIZ, L. O. Indústria global do álcool combustível e a participação brasileira: oportunidades econômicas e questão ambiental. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 44., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: [s.n.], 2006. p. 118-120.

MACEDO, I. C. **Feasibility of biomass derived ethanol as fuel for transportation in Mexico**: potentials in relation to sustainability criteria. México: SENER/BID, 2006.

MACIEL, T. J. L. **Análise do setor alcooleiro do Brasil**: perspectivas do proálcool. 1991. 83 p. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

- MADDALA, G. S.; KIM, I. M. **Unit roots, cointegration, and structural change**. Cambridge: Cambridge University, 1998. 528 p.
- MAISTRO-MARJOTTA, M. C. **Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação**. 2002. 197 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 734 p.
- MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MARTINEZ-GONZALES, A.; SHELDON, I.; THOMPSON, S. Estimating the effects of U.S. distortions in the ethanol market using a partial equilibrium trade model. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, Lincoln, v. 5, n. 2, p. 1-30, 2007. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/ags/aaea07/9802.html>>. Acesso em: 10 jan. 2009.
- MELO, F. H.; FONSECA, E. G. **Proálcool, energia e transportes**. São Paulo: FIPE/Pioneira, 1981. 163 p.
- MENEZES, T. J. B. **Etano, o combustível do Brasil**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 223 p.
- MESSIAS, J. Atuação do profissional de SSMA em momento de crises. In: ENCONTRO TÉCNICO GSO 2009 – INTERCÂMBIO DE PRÁTICAS E EXPERIÊNCIAS EM SSMA DO SETOR SUCROALCOOLEIRO, 1., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2009. p. 01-20. Disponível em: <www.gso.org.br/downloads/palestrafeicana.ppt>. Acesso em: 10 abr. 2009.
- MORAES, M. A. F. D.; SHIKIDA, P. F. A. (Org.). **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002. 368 p.
- MOTTA, R. S. O Programa nacional do álcool: realizações e reformulações. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 63-74, jan./abr. 1989.

OLIVEIRA, N. **Petrobras começa a produzir gasolina com 3% de etanol no Japão**. Brasília: Agência Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2009/03/03/materia.2009-03-03.6222025374/view>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

PETROBRAS: energia & vida. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008. 25 p. Cartilha.

PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, Great Britain, v. 75, n. 2, p. 335-346, 1988.

POOLE, A. **Estudo sobre o etanol como alternativas para a substituição do petróleo no Brasil**. 1979. 105 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

PROTOCOLO de Kyoto entra em vigor sem ratificação dos EUA. **Folha Online**, 16 fev. 2005. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u12926.shtml>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

PUERTO RICO, J. A. **Programa de biocombustíveis no Brasil e na Colômbia: uma análise da implantação, resultados e perspectivas**. 2007. 210 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

RAMSEY, J. B. Tests for specification errors in classical linear least squares regression analysis. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 31, n. 2, p. 350-371, 1969.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Statistics: ethanol industry statistics**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/>>. Acesso em: 3 mar. 2008.

SHAPOURI, H.; SALASSI, M. **The economic feasibility of ethanol production from sugar in the United States**. Washington: Department of Agriculture, 2006. 27 p.

SIMS, C. A. Money, income and causality. **American Economic Review**, Illinois, v. 62, n. 4, p. 540-552, Sept. 1972.

SOUZA, R. R. de. **Panorama, oportunidades e desafios para o mercado mundial de álcool automotivo**. 2006. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 271 p.

WIKIPÉDIA. **Etanol**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Etanol>>. Acesso em: 17 jan. 2009.

ZEN, S. de. **Integração entre os mercados de boi gordo e de carne bovina nas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil**. 1997. 81 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.