

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
TESE DE DOUTORADO EM ECONOMIA

**O PAPEL DA FLEXIBILIDADE NA
INTEGRAÇÃO DOS MERCADOS AGRÍCOLA E
ENERGÉTICO**

CARLA MARIA DE SOUZA E SILVA
Matrícula nº: 101602987

ORIENTADOR: Prof. Edmar Luiz Fagundes de Almeida
Abril 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

O PAPEL DA FLEXIBILIDADE NA INTEGRAÇÃO DOS MERCADOS AGRÍCOLA E ENERGÉTICO

Carla Maria de Souza e Silva

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Economia

Banca Examinadora:

Prof. Edmar Luiz Fagundes de Almeida (orientador)
IE- UFRJ

Profa. Miriam Rumenos Piedade Bacchi
Profa. Esalq - USP

Prof. Helder Queiroz Pinto Junior
IE-UFRJ

Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira
Professor - Universidade Federal de Itajubá Unifei

Prof. Ronaldo Fiani
IE-UFRJ

Rio de Janeiro
Abril de 2008

INDICE

SUMMARY	4
INTRODUÇÃO.....	7
CAPÍTULO 1 A Flexibilidade Econômica e Energética	13
1.1 A Flexibilidade Econômica	13
1.2 Flexibilidade Energética	25
1.3 Flexibilidade Energética e Concorrência Interenergética.....	32
1.4 Conclusões.....	37
CAPÍTULO 2 Integração de Mercados: Conceitos e Metodologia de Análise	40
2.1 Definições de Mercado	40
2.2 Abordagem Metodológica: a co-integração	48
2.3 Análise da Integração de Mercados Energéticos.....	63
2.4 Conclusões: Flexibilidade, Substituição e Integração de mercados.....	67
CAPÍTULO 3 Características Técnico-Econômicas da Oferta de Etanol Combustível ..	69
3.1 Características técnico-econômicos da oferta de etanol.....	70
3.2 A Flexibilidade Produtiva.....	85
3.3 A intervenção Governamental: os incentivos fiscais e as barreiras de comércio ..	91
3.4 Barreiras de Comércio	94
3.5 Conclusões – Perspectivas sobre a Flexibilidade Produtiva.....	97
CAPÍTULO 4 Características Técnico-Econômicas da Demanda por Etanol	100
4.1 Características Químicas do etanol combustível	100
4.2 O Uso do etanol em motores de ciclo Otto.....	102
4.3 Intervenção Governamental: metas ou misturas obrigatórias.....	111
4.4 Flexibilidade energética: os veículos Flex-Fuel	116
CAPÍTULO 5 Integração dos mercados energético e agrícola: evidências empíricas...	141
5.1 Um panorama sobre o mercado mundial de combustíveis.....	142
5.1 Fonte de dados e metodologia	144
5.2 A Lei do Preço Único no Mercado de Etanol.....	148
5.3 Integração de Mercado pelo lado da Demanda - Etanol x Gasolina nos mercados norte-americano e brasileiro	153
5.4 Integração de Mercado pelo Lado da Oferta - Etanol x Gasolina nos mercados norte-americano e brasileiro	160
5.5 Integração dos Mercados Agrícola e Energético:.....	170
5.6 Conclusões.....	179
CAPÍTULO 6 Perspectivas sobre a Integração dos mercados Energético e Agrícola...	181
6.1 Perspectivas sobre o uso de etanol no mundo	182
6.2 Impactos sobre os mercados agrícolas	185
6.3 Perspectivas sobre a integração entre os mercados agrícola e energético	188
6.4 O Papel do Brasil e os impactos da flexibilidade	204
6.5 Perspectivas sobre a integração entre os dois mercados e o papel da 2a. Geração. 211	
6.6 Conclusões.....	216
CONCLUSÕES	217
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223

SUMMARY

The objective of this research was to analyze the role of flexibility in integrating energy and agriculture markets. The case study was the analysis of market integration provided by the use of ethanol in substitution of gasoline as a fuel in spark engines. Two or more markets are said to be integrated if we can find closely parallel price movements between them. Market integration can be analyzed in two dimensions: i) geographic – where arbitrage between different locations selling the same good is the force that guarantees the existence of an equilibrium price gap; ii) product dimension, where the substitution in the demand or in the supply side of two different goods in the same location is the force that ties together the prices of substitutes.

Ethanol chemical characteristics make it a close substitute to gasoline as a fuel, particularly when vehicle fleet is capable of running on high ethanol content blend in gasoline (the Flex-fuel vehicles). On the supply side, ethanol is currently produced out of agriculture commodities, mainly from sugar crops and from corn. As it is one of the alternative uses of these crops it should maintain a close price linkage with these markets. In a wide perspective, the linkages from the demand side with petroleum markets and in the supply with agriculture markets could lead to closer interaction between energy and agriculture markets. In this context the aim of this paper is to analyze these price linkages in order to access the degree of market integration in different dimensions: first between

different ethanol regional markets, on the demand side, on the supply side and at last the price linkages between agricultural markets (sugar and corn) and energy markets (gasoline).

Methods

The paper employs cointegration techniques in order to access the degree of market integration provided by the use of ethanol as a fuel in the two main markets: USA and Brazil. Traditional cointegration tests based on the Johansen methodology are employed as well as cointegration tests with structural breaks following the methodology proposed by Lutkepohl and Kratzig (2004). I test the hypothesis of market integration in two different dimensions: geography and product dimension. Empirical analysis is based on monthly data covering the period from January 2000 and July 2007 for the following variables: ethanol rack prices in US market, gasoline rack prices in US markets, ethanol anhydrous producer prices in Brazil, ethanol hydrous producer prices in Brazil, ethanol hydrous consumer prices in Brazil, gasoline consumer prices in Brazil, corn cash prices (Chicago), raw sugar prices (Nybot contract n. 11), sugar prices at Brazilian market, petroleum prices (WTI).

Results

Cointegration tests permit to accept the hypothesis of geographic integration between Brazilian and US ethanol markets when a structural break is taken into consideration. We can conclude that these markets have become integrated since the end of 2004. The link between them is the Caribbean region. On the demand side, we can see that ethanol is considered a perfect substitute to gasoline in both markets. The difference accounts for the quality premium. In US ethanol is consumed mostly as an additive to gasoline, and in this sense, its qualities as an octane booster offsets its minor energy content. In Brazil, on the

other hand, the price premium we can accept that the price premium is close to the relation in energy content between both fuels. On the supply side, the producer flexibility plays a major role in defining market integration. Cointegration tests do not allow for market integration between corn and ethanol in the considered period, while in Brazilian market the integration between sugar and ethanol markets is a clear pattern. Considering the most ambitious perspective, tests do not permit to conclude for market integration between oil and agriculture markets. This result is clear for the relation between oil and corn, and there are ambiguous results for the case of sugar and oil. Instead, we can see Granger causality from oil to agricultural markets.

Conclusions

Integration between agriculture and energy markets is not yet a stylized fact. We can expect further connections between these two markets. However, there will be not a uniform pattern of integration, but it will depend on the technical and economic structure of using and producing ethanol. We can see this from the differences in the American and Brazilian cases, in which flexibility plays a major role.

INTRODUÇÃO

O objetivo desta tese é analisar o papel da flexibilidade produtiva e energética na integração de dois tipos de mercados, os mercados energético e agrícola. O contexto econômico desta tese é o do crescimento do uso de combustíveis produzidos a partir de fontes agrícolas, os chamados bio-combustíveis, dentre os quais se destaca o etanol – combustível de origem principalmente agrícola usado essencialmente em motores de ciclo Otto. Estes combustíveis são uma alternativa ao uso de combustíveis de origem fóssil em um contexto de recrudescimento das preocupações ambientais, ameaça à segurança energética e elevação de preços da principal fonte de energia.

Em consequência deste contexto, a literatura na área de economia da energia tem contado com um volume crescente de trabalhos sobre as diversas questões que envolvem o uso, o comércio e a produção destes combustíveis. Em particular, as pesquisas econômicas têm focado temas como a avaliação de impactos ambientais e viabilidade técnico-econômica da produção destes combustíveis, com base em diferentes insumos e tecnologias de produção. Do universo de questões de pesquisa relativas a este tema, um de particular importância se refere às inter-relações estabelecidas entre os mercados agrícola e energético a partir da maior penetração destes combustíveis como fonte energética. Uma perspectiva mais ampla sobre o tema leva a hipótese de que o maior uso de biocombustíveis implicaria na integração entre os mercados energético e agrícola.

Integração entre dois mercados é definida pela presença de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre os preços de dois bens substitutos. A hipótese de integração de mercados se baseia na possibilidade de substituição de um bem, seja através da arbitragem entre diferentes mercados geográficos e/ou, pela presença de substitutos próximos num mesmo mercado. Nos dois casos, a realização da substituição entre eles resulta em movimentos econômicos que atrelam os preços dos dois bens a uma relação de equilíbrio de longo prazo. A literatura sobre economia da energia tem apresentado crescente número de trabalhos voltados à investigação da integração de mercados de energéticos, tanto na dimensão geográfica quanto de produto. Desta maneira, o presente trabalho busca contribuir a esta literatura ao abordar as diferentes dimensões da integração de mercados possíveis a partir do maior uso do etanol combustível no mundo.

O objetivo desta tese é investigar qual seria o elemento estrutural que levaria a integração entre os mercados agrícola e energético. Grosso modo, a substituição (parcial) de um combustível mineral por um biocombustível pelo lado da demanda, bem como a possibilidade de substituição da produção de biocombustíveis por outros bens destinados a alimentação humana e/ou animal pelo lado dos insumos agrícolas, seriam os dois elementos que forneceriam as bases para as inter-relações de preços entre os mercados em questão. Todavia, diferentes tecnologias de produção e uso destes combustíveis, se refletem em diferentes formas de substituição tanto pelo lado da demanda, quanto pelo lado da oferta. Assim, diferentes formas de produção e uso podem resultar em diferentes formas de relação entre os mercados energético e agrícola.

A hipótese desta tese é a de que diferentes características técnico-econômicas de produção e uso de biocombustíveis levariam a distintas relações entre os mercados. Dentre

as diferentes características técnicas, o atributo estrutural que permitiria a integração entre os mercados energético e agrícola, seria a flexibilidade tecnológica na produção e no uso destes combustíveis. A hipótese é a de que a integração dos mercados agrícola e energética – por resultar numa relação de equilíbrio de preços dos bens nestes mercados de bases de funcionamento distantes - necessitaria de ligações físicas que permitam o ajuste das decisões dos agentes a variações de preços entre os mercados. Por um lado, a flexibilidade tecnológica pelo lado da produção, permitiria o ajuste dos agentes económicos à variações de preços, sem a necessidade de investimento em alteração de planta produtiva. Por outro a flexibilidade no uso do combustível, permite ao consumidor a substituição entre um combustível alternativo e outro fóssil, de maneira imediata em função também de variações nos preços relativos.

Para investigar esta questão, o presente trabalho está estruturado em seis capítulos, além desta introdução e da conclusão. O primeiro capítulo tem por objetivo definir a flexibilidade do ponto de vista produtivo e energético. Além de conceituar o elemento estrutural considerado como fundamental na resposta à questão deste trabalho, o capítulo retoma um tema que tem sido relegado ao segundo plano na literatura económica. Como será visto, diversas são as definições para a flexibilidade, mas as definições convergem no sentido de reconhecer a flexibilidade como a capacidade de se adaptar a um ambiente incerto. Ela é um atributo económico, que pode se concretizar no plano físico, em uma tecnologia de produção flexível do ponto de vista da quantidade produzida e dos insumos utilizados na produção, e/ou no plano das tomadas de decisões, isto é, na capacidade de tomar de decisões reversíveis. No primeiro caso, ela pode ser chamada de flexibilidade

produtiva. Tendo em vista esta revisão, apresenta-se o conceito de flexibilidade energética, bastante empregado na literatura sobre economia da energia.

O segundo capítulo é dedicado ao conceito chave desta tese: a integração de mercados. Este é apresentado em suas duas dimensões básicas: a dimensão geográfica e a dimensão de produto. Ambas as dimensões se baseiam na hipótese de substituição perfeita entre os bens. A partir dos conceitos levantados no primeiro capítulo, constrói-se o argumento fundamental deste trabalho: dado que a flexibilidade produtiva e energética implica em substituição – seja de bens a serem produzidos no primeiro caso, seja de bens a serem consumidos no segundo – e que a substituição é o elemento chave na conceituação de integração de mercados, tem-se que a flexibilidade leva a integração de mercados. Em termos de metodologia de análise, a base será a identificação de um movimento conjunto de preços, pois este é o elemento definidor da integração de mercados. Será visto que a técnica de co-integração é uma metodologia que tem sido utilizada correntemente nos estudos de integração de mercados. Ela se adequa a este fim, pois tem como objetivo a identificação de uma relação estacionária entre diferentes variáveis integradas de não estacionárias, a qual pode ser interpretada como uma relação de longo prazo. Apresenta-se ainda neste capítulo, a definição desta técnica de análise, bem como suas vantagens e desvantagens como método empírico aplicado a este tema e os desenvolvimentos recentes desta técnica.

O terceiro e o quarto capítulos apresentam o objeto empírico deste trabalho de pesquisa: as características técnico-econômicas do mercado de etanol combustível. O terceiro capítulo apresenta o lado da oferta, enquanto o quarto capítulo se dedica às características técnico-econômicas da demanda. Estes capítulos têm o objetivo comum de ressaltar o papel da flexibilidade nas tecnologias de produção e uso de etanol. Do ponto de

vista da oferta, será enfatizada a flexibilidade produtiva como uma particularidade da produção de etanol a partir da cana de açúcar. Este atributo permite o ajuste da produção de etanol em função dos preços relativos pelo lado da oferta. Do ponto de vista da demanda, a flexibilidade energética está presente nos veículos flex-fuel. Estes veículos, que podem rodar com gasolina ou etanol ou qualquer mistura dos dois combustíveis em diferentes proporções, permitem ao consumidor ajustar imediatamente as suas decisões de consumo a variações de preços relativos nos preços dos combustíveis.

O quinto capítulo se refere à análise empírica das relações entre os mercados energético e agrícola. Serão estudados os mercados de etanol norte-americano e brasileiro, no período entre janeiro de 2000 a julho de 2007. O objetivo é identificar em que medida, a flexibilidade produtiva e energética do caso brasileiro se reflete em relações de preços distintas daquelas ocorridas no mercado norte-americano. Desta maneira são estudadas as diferentes dimensões da integração de mercados possíveis em torno do etanol, quais sejam: i) a dimensão geográfica, isto é a integração dos mercados norte-americano e brasileiro; ii) a dimensão produto pelo lado da demanda, isto é a integração entre os mercados de gasolina e etanol, tanto nos EUA, quanto no Brasil; iii) a dimensão produto pelo lado da oferta; isto é, entre o etanol e a sua principal matéria prima; e iv) por último, a integração entre os mercados energético e agrícola. Ao fim deste capítulo, tem-se um esquema gráfico que resume os níveis de integração de mercados encontrados a partir dos testes efetuados.

No sexto e último capítulo são sintetizadas as conclusões obtidas no capítulo anterior e são traçadas as perspectivas sobre os padrões de integração de mercado identificados no capítulo anterior. Além disso, será ressaltado o papel da flexibilidade produtiva e energética nos possíveis rumos da integração delineados a partir da inclusão do

etanol na matriz energética do setor de transporte mundial. As perspectivas sobre a integração de mercado são baseadas nas estimativas de evolução do papel do etanol na matriz energética mundial.

Por fim, seguem-se as conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO 1

A FLEXIBILIDADE ECONÔMICA E ENERGÉTICA

Este capítulo apresenta o elemento estrutural considerado como elo de integração entre os mercados estudados neste trabalho, os mercados energético e agrícola. Este capítulo faz uma revisão bibliográfica deste conceito na literatura econômica. Com base nesta revisão, define-se aquele que será considerado como base de análise no decorrer do trabalho. Este é um capítulo introdutório que está estruturado de modo a se partir da compreensão de um conceito mais geral – o da flexibilidade econômica – até o âmbito mais específico da flexibilidade energética de uma tecnologia particular.

1.1 A Flexibilidade Econômica

Flexibilidade pode ser definida como a aptidão para variadas coisas ou aptidões (Michaelis, 2007) ou também como a capacidade de se acomodar facilmente às circunstâncias¹ (Houaiss, 2007). No âmbito econômico, flexibilidade é um conceito complexo, que envolve múltiplas dimensões e seu significado depende do contexto em que

¹ Flexibilidade é a “qualidade de ser flexível” enquanto flexível é o que se acomoda facilmente às circunstâncias. (Houaiss, 2007)

é empregado (Wadhwa e Rao, 2002). Por conta disso, o conceito de flexibilidade, tem assumido diferentes acepções na literatura econômica. A primeira distinção do conceito de flexibilidade no âmbito econômico se refere a sua dimensão macro ou microeconômica.

A flexibilidade em sua dimensão macroeconômica está relacionada aos mecanismos de ajustes dos diferentes mercados aos seus pontos de equilíbrio. Na verdade, a flexibilidade em termos macroeconômicos é mais freqüentemente analisada pelo seu oposto, isto é, a análise de elementos que impedem ou obstaculizam o movimento de ajustes dos diferentes preços de mercados às forças de oferta e demanda (razões para rigidez dos preços). E esta análise se aplica a diferentes mercados, como por exemplo, o mercado de trabalho, em que a flexibilidade assume um custo social elevado, ou o mercado monetário, em que a posição mais flexível é a liquidez total e o seu custo de oportunidade é se refere à produtividade marginal do capital. Os efeitos da flexibilidade no âmbito macroeconômico estão relacionados, sobretudo a eficiência alocativa promovida pelo livre funcionamento dos preços (Hérauld, 1989).

No âmbito microeconômico, foco deste trabalho, o conceito de flexibilidade assume maior relevância analítica ao ser um elemento a ser mais uma variável a ser levada em conta na tomada de decisões das firmas. Em função do tipo de decisão a ser tomada por uma firma e do tipo de ambiente com o qual ela se defronta, esta flexibilidade assume diferentes definições e diferentes níveis de importância variável de escolha da firma. A literatura econômica sobre o tema apresenta diferentes definições e tipologias de flexibilidade mesmo no âmbito da microeconomia. Para se ter uma idéia inicial sobre a complexidade do tema, cita-se algumas definições de flexibilidade na microeconomia. Segundo Golden e Powel (2000), flexibilidade é a capacidade que uma firma possui em se

adaptar a diferentes contingências. Já para Cohendet e Llerena (1989), a flexibilidade pode se traduzir como a possibilidade de um tomador de decisão em reconsiderar a todo o momento suas escolhas de modo a manter o ponto ótimo de sua decisão. Segundo os autores, o conceito assume significado diferente, dependendo do ambiente ao qual se defronta o tomador de decisão e principalmente ao caráter aleatório ou não deste ambiente. É um argumento entre outros na tomada de decisão em um ambiente de risco, mas adquire um caráter fundamental da decisão em um ambiente incerto. Num ambiente de futuro certo, a flexibilidade está relacionada às restrições impostas aos modelos de otimização. Por exemplo, a opção ótima b é mais flexível que uma opção ótima a , se b resulta de um conjunto de escolhas menos restrito que o de a . Outra definição, dentre tantas na literatura², é a de Wadhwa e Rao (2000) que definem flexibilidade como a capacidade de um sistema em lidar com mudanças no ambiente (situações de risco ou incerteza) e de maneira efetiva e eficiente.

Tendo em vista a complexidade das definições, convém tratar o tema a partir das diferentes tipologias encontradas na literatura, pois estas colocam em relevo as diferentes dimensões abrangidas pelo conceito de flexibilidade. Vale ressaltar, como a própria literatura o faz, que estas diferenciações são apenas analíticas e não excludentes, isto é, uma determinada firma pode se engajar na busca de flexibilidade em suas diferentes dimensões. Além disso, como se verá, a própria fronteira entre elas tende a se tornar fluida.

² Para revisões da literatura sobre o tema, ver Carlsson (1989), Cohendet e Llerena (1989) ou Wadhwa e Rao (2002).

1.1.1 Flexibilidade Produtiva x Decisória

Cohendet e Llerena (1989) propõem uma primeira diferenciação ao conceito de flexibilidade: entre flexibilidade produtiva (ou organizacional) e decisória. De acordo com os autores, flexibilidade produtiva está relacionada ao grau de controle da firma sobre suas estruturas produtivas. Segundo a análise dos autores, esta é essencialmente relacionada a uma noção de flexibilidade tecnológica, isto é, incorporada aos equipamentos da firma. Está relacionada também capacidade de adaptação às condições do meio *ex-post*, isto é, uma vez ocorrida uma contingência do meio, uma firma é capaz de alterar sua posição (quantidade produzida, por exemplo) após a ocorrência do evento. Flexibilidade decisória, por seu turno, diz respeito à forma pela qual os tomadores de decisão recolhem e interpretam as informações do meio de modo a melhor se adaptar as suas variações. Em outras palavras, ela qualifica o posicionamento da firma *vis a vis* as informações provenientes do meio (está relacionada à aquisição e interpretação de informações, por exemplo, em modelos de predição de contingências – está relacionada a uma noção *ex-ante* de flexibilidade).

Caso a tecnologia seja considerada como um dado para as firmas (isto é, caso não haja flexibilidade produtiva), as firmas buscam o que Cohendet e Llerena (1989) denominaram de posições flexíveis. Neste caso, a flexibilidade é decisória, e assim a firma pode tomar decisões em relação à quantidade a ser produzida após observar preços; ou antes, de conhecer os preços baseando-se em sua capacidade de previsão de contingências. Uma visão intermediária do problema é citada pelos autores (Hartman 1976, por ex., apud Cohendet e Llerena, 1989), onde a firma pode optar por flexibilidade através do

investimento em sobre capacidade (de modo a evitar o risco de não atendimento da demanda), isto é, uma decisão *ex ante*, e também através do uso de horas extras da mão de obra. A idéia subjacente a estes modelos é a de uma independência entre tecnologia e processo decisório: engenheiros de produção são os responsáveis pela a otimização da planta, a partir da decisão tomada pelos decisores. Isto tem sido desmentido pela própria busca de flexibilidade no interior do processo de produção.

No que concerne a flexibilidade produtiva, o primeiro trabalho é o de Stigler (1939). A noção de flexibilidade tratada por Stigler (1939) refere-se a capacidade de uma firma em produzir diferentes quantidades de produto face a variações inesperadas da demanda. Num ambiente de incerteza³ quanto aos movimentos da demanda, as firmas podem optar por tecnologias de produção que as permitam obter maiores lucros em um maior intervalo de variação de quantidade de produção. Em situações de quantidades demandadas aquém ou além do nível ótimo, uma tecnologia flexível permitiria a firma a obter custos de produção inferiores àqueles que seriam obtidos caso a firma tivesse optado por uma tecnologia rígida.

O autor baseia sua análise nas curvas de custos de dois tipos de firmas: aquelas que adotam uma tecnologia rígida e outras que adotam uma tecnologia flexível. As firmas com tecnologia rígida enfrentam curvas de custos conforme as descritas pela análise marshalliana. As firmas que adotam uma tecnologia de produção flexível apresentam curvas de custos médio e marginal mais planas, de forma que os custos unitários são menos sensíveis a variações nos níveis de produto. Em outras palavras: um aumento na flexibilidade reduz a taxa na qual o custo marginal aumenta em função do aumento do

³ O termo usado por Stigler é o de *uncertainty* que seria traduzido por incerteza, porém todos os outros modelos desenvolvidos a partir desta idéia inicial (ver Carlsson, 1989 e Hiebert, 1989 para uma revisão destes modelos) se referem ao aumento da variância tanto de preços quanto da demanda. Neste sentido, se o agente conhece os parâmetros da lei de probabilidade, se trata de um ambiente de risco e não de incerteza.

produto (Hiebert, 1989). Firms com tecnologia rígida apresentam custo unitário inferior para um determinado intervalo de níveis de produção em torno do ponto ótimo de produção (ponto de mínimo custo médio). Neste sentido, estas firmas apresentam vantagens quando o nível de produção é inferior ou superior ao nível de produto ótimo, porém apresentam desvantagem quando o nível de produção é ótimo.

Uma característica importante da flexibilidade que se depreende desta análise, refere-se ao reconhecimento de que a flexibilidade não é um bem livre.

“But flexibility will be not a ‘free good’: a plant certain to operate at X units of output per week will surely have lower costs at that output than a plant designed to passably efficient from $X/2$ to $2X$ units per week” (Stigler, 1939 p. 311)

Assim, a flexibilidade envolve um custo que é representado pela impossibilidade de minimizar o custo de produção para qualquer ponto de produção. Por exemplo, uma tecnologia flexível permite combinar X unidades de capital fixo a um contínuo de unidades do fator variável no intervalo entre a e b unidades. Porém, ressalta o autor, a melhor tecnologia que combina X unidades de capital fixo a z unidades do fator variável ($z \in [a,b]$) para a produção de Y não é a mesma que minimizaria os custos de produção de Y , dados os preços dos fatores de produção⁴.

Com relação às condições que levariam a uma maior demanda por flexibilidade do ponto de vista da planta produtiva, o autor ressalta dois elementos: as expectativas com relação à variação do nível de produção em cada período até o fim da vida útil da planta (que também pode ser vista como expectativas com relação a variações de preço do produto

⁴ A ressalva está no fato de que o *trade off* claro identificado pelo autor entre flexibilidade e eficiência é válido num contexto de firma mono-produto. Uma firma pode ganhar em eficiência e em flexibilidade a partir da diversificação de produtos, baseados em efeitos de economias de escopo. Cohedent e Llerena (1989)

final ao longo da vida útil da planta), e os preços dos fatores de produção em cada sub-período.

Com relação ao primeiro ponto, Hiebert (1989) faz uma distinção da importância da flexibilidade do ponto de vista de uma firma individual e do ponto de vista do equilíbrio de um mercado competitivo. O autor mostra que, do ponto de vista de uma firma individual, um aumento na dispersão do preço do produto final (aumento da variância da distribuição do preço em torno da mesma média) aumenta o lucro esperado de uma firma ao adotar uma tecnologia flexível. Do ponto de vista do equilíbrio de longo prazo, um aumento na quantidade demandada (aumento da variância da distribuição de Q em torno da mesma média) aumenta os lucros esperados pelas firmas nesta indústria ao adotarem tecnologias flexíveis⁵.

1.1.2 Flexibilidade Interna ou Externa

Como ressalta Carlsson (1989), variações da demanda, que são o foco dos trabalhos de flexibilidade “*a la Stigler*”, são apenas um dos aspectos do ambiente das firmas que pode influenciar a decisão por maior flexibilidade. Desta maneira, a noção de flexibilidade deve dar conta de outras situações de possíveis riscos e incertezas que uma firma pode enfrentar. Conforme destacado Wadhwa e Rao (2002) a pesquisa sobre o tema flexibilidade produtiva/organizacional, tem avançado, do nível de equipamentos e plantas, para o nível sistêmico e em direção a cadeia de suprimentos. Os autores apresentam, por exemplo, a

⁵ Todos os resultados são válidos caso a função de custo for quadrática. Para funções mais gerais de custo, os resultados podem ser ambíguos no que diz respeito à flexibilidade.

definição de Nilsson e Nordahl (1995 apud Wadhwa e Rao, 2002) em que a noção de flexibilidade é dividida em duas partes: flexibilidade de produto – que é definida conforme a definição de Stigler – e flexibilidade de insumos, que seria a capacidade de responder a mudanças inesperadas nas relações da firma com seus fornecedores. Percebe-se que a noção de flexibilidade aqui é mais abrangente quando trata da relação com fornecedores passa a incluir contingências contratuais, ligadas a preço, quantidade, tipo de fornecimento, dentre outros.

Golden and Powell (2000) definem explicitamente a diferença entre flexibilidade interna e externa como uma das quatro diferentes dimensões da flexibilidade citada pelos autores. No front interno, a flexibilidade diz respeito à configuração de suas plantas e da tecnologia empregada por uma firma; na administração de recursos humanos e na sua estrutura organizacional. No front externo, uma das formas de flexibilidade pode ser através do investimento em diferenciação de produtos e mercados. A outra é através do estabelecimento de relações de alianças, nas quais cada firma pode se concentrar nas suas *competências chaves* e contar com as de outras firmas. Outros aspectos podem lhe garantir maior flexibilidade, como, por exemplo, suas relações com fornecedores, consumidores, distribuidores e outras organizações. Nesse sentido, ser flexível não se restringe apenas aos limites internos de uma organização. A flexibilidade também pode ser obtida através de relações externas com outras organizações, como fornecedores, clientes e distribuidores.

Hèrauld (1989) ressalta uma outra dimensão da formação de parcerias e alianças e a sua relação com a flexibilidade buscada pelas firmas. Segundo o autor, as firmas ao estabelecer relações de parcerias, tentam se proteger de um ambiente em mutação ao criar

um micro-ambiente próprio no qual estão inseridas e que seria relativamente mais estável do que as relações estabelecidas num ambiente puramente de mercado.

1.1.3 Flexibilidade estática x dinâmica

Este tipo de diferenciação é baseado no caráter aleatório do ambiente no qual as firmas estão inseridas e mais precisamente nas diferenças fundamentais entre a noção de risco (flexibilidade estática) e incerteza (flexibilidade dinâmica). Num ambiente de risco, uma firma deve se preparar para se adaptar a situações cuja probabilidade de acontecimento pode ser calculado pela firma. Portanto, se refere ao planejamento para situações prováveis e possíveis de ocorrer. Num ambiente de incerteza, uma firma deve ser capaz de responder a mudanças cujas probabilidades de ocorrência não podem ser previstas (Golden e Powel, 2000)⁶. Segundo Cohendet e Llerena (1989), num ambiente de risco, a busca por flexibilidade está em manter um portfólio de produtos e/ou processos que as permitam responder a um ambiente que pode ser “dominado”. Num ambiente de incerteza, a busca por flexibilidade se reverte na busca pela manutenção de um portfólio de opções que as dotem de um máximo de repostas possíveis em face de variações do meio. Além disso, estas respostas devem ser realizáveis no menor tempo possível *vis a vis* a velocidade de evolução dos parâmetros ambiente. Neste sentido, a flexibilidade é indissociável da noção de tempo econômico.

⁶ Risco é a situação na qual a tomada de decisão acerca de um determinado evento é realizada em um contexto em que a distribuição de probabilidade do evento é conhecida, ao passo que incerteza caracteriza a situação na qual a tomada de decisão sobre um evento específico é realizada em um contexto em que inexistente uma distribuição de probabilidade para o mesmo (Keynes, 1937).

Num ambiente incerto, o tomador de decisões se beneficia de informações crescentes a respeito do meio e um conseqüente processo de aprendizagem quanto ao meio. A flexibilidade depende da relação entre o momento da tomada de decisão e o volume de informações que é acessível aos tomadores de decisão. Segundo Cohendet e Llerena (1989) a flexibilidade se torna um elemento de escolha das empresas neste contexto. Os autores diferenciam dois casos neste contexto:

- Flexibilidade a la “Hart (1937)” no qual um programa de decisões é mais flexível quanto mais informações são levadas em conta no momento da decisão. Num programa flexível a decisão pode ser reportada até o momento em que se tenha recolhido um maior volume de informação que poderá ser usado no processo decisório. O valor da flexibilidade é o valor máximo que um agente está disposto a pagar para tomar uma decisão com uma informação mais rica.
- No caso em que se leva em conta a irreversibilidade do capital, isto é quando se leva em conta uma dependência intertemporal das decisões, a flexibilidade é vista como uma opção e seu valor pode ser mensurado a partir de modelos de valor de opções, em que este poderia ser representado como o valor do arrependimento por ter tomado uma decisão rígida.

Cohendet e Llerena (1989) partem dos casos supra-citados, para buscar um novo conceito de flexibilidade dinâmica: num momento t um tomador de decisões e o seu ambiente podem ser definidos por um conjunto de ações, um conjunto de estados de variáveis do ambiente e de uma informação I . Este agente estará numa situação mais flexível, se e somente se, os limites impostos às suas ações futuras são menos restritivos

que aquelas de uma escolha de referência. Estas restrições podem derivar de decisões do agente, de mudanças do ambiente ou de uma evolução endógena ou exógena do ambiente de informação. O problema da decisão é o de escolher a melhor decisão tendo em vista as restrições futuras, os custos de ajuste potenciais e, sobretudo o crescimento da informação.

Hérauld (1989) também associa o termo dinâmico a flexibilidade, mas num contexto bastante diferente daquele ressaltado por Cohedent e Lelhera (1989). Segundo o autor, quando uma firma busca a flexibilidade no âmbito puramente produtivo através do investimento em equipamentos inovadores, ainda que sejam motivadas por razões meramente adaptativas ao meio, suas ações podem ter ações dinâmicas do ponto de vista da mudança tecnológica. Aqui o autor lida com a incerteza relacionada ao futuro de trajetórias tecnológicas dos equipamentos e ao investir em equipamentos inovadores a firma incita o desenvolvimento de equipamentos melhorados naquela trajetória (pelo efeito de economias de adaptação), se familiariza com novo conhecimento.

1.1.4 Flexibilidade passiva e ativa

Golden e Powell (2000) fazem esta diferenciação da noção de flexibilidade em função da postura assumida pela firma frente ao ambiente. Segundo os autores, as firmas adotam uma postura defensiva ou pró-ativa em relação à flexibilidade. Por postura defensiva se entende a priorização da capacidade de responder de maneira eficiente (ao menor custo e no menor tempo) e eficaz (ao mitigar realmente o problema que gerou a resposta) à variações do ambiente. No caso de uma postura pró-ativa, as firmas reconhecem que flexibilidade representa vantagem competitiva e poder de barganha. Bougeois et al

(2000) é outro trabalho que ressalta a diferença de postura das firmas acerca da flexibilidade. Como ressalta o autor, a flexibilidade é uma resposta das empresas a um ambiente de preços voláteis. Esta resposta pode ser uma resposta passiva, isto é como instrumento de defesa e diminuição de custos, e ou uma resposta ativa, quando a flexibilidade é vista como uma forma de ganhos a partir da arbitragem possibilitada por diferenciais de preços de insumos. Hèrauld (1989) ressalta que esta divisão de postura pode não ser clara para a firma no momento em que ela define sua postura, mas eu a *posteriori* ela pode se beneficiar e então passar a perceber a flexibilidade como um elemento de vantagem frente aos competidores.

Baseados em uma revisão da bibliografia sobre o tema flexibilidade, Whadhwa e Rao (2002) apresentam uma definição de flexibilidade no âmbito econômico que tenta sintetizar os diferentes conceitos apresentados. Para os autores, o ambiente no qual as firmas estão inseridas está em constante mutação. Essas mudanças envolvem elementos de conhecida certeza e outros elementos de risco e incerteza. Os elementos conhecidos levam uma firma (ou uma planta, ou um sistema) a operar num estado ótimo de performance. Porém, os elementos de incerteza tendem a desestabilizar esta situação e afetar, portanto a performance da firma, pois qualquer mudança para fora do estado piora a performance. Flexibilidade então seria definida como a capacidade necessária às firmas em fornecer uma resposta às mudanças no ambiente, de maneira a mitigar as perdas de performance. Como existem diversos tipos de incerteza enfrentados pelas firmas, existem conseqüentemente diversos tipos de flexibilidade. Além disso, para um determinado tipo de flexibilidade, diversos níveis de flexibilidade podem ser requeridos em diferentes situações. Por fim, dado que a flexibilidade não é um bem livre, ela deve ser empregada com cautela.

1.2 Flexibilidade Energética

Uma vez realizada esta breve revisão sobre a flexibilidade no âmbito econômico, cabe definir o conceito de flexibilidade energética. Flexibilidade energética é um conceito que também admite múltiplas dimensões e apresenta significados distintos em função do contexto em que é empregado. Em primeiro lugar, os insumos energéticos são essenciais aos mais diferentes processos produtivos (inclusive para a produção de insumos energéticos) e também às atividades dos consumidores finais. Assim, a dimensão energética, isto é, as condições do aprovisionamento dos insumos energéticos são um elemento particular de risco e incerteza com a qual as firmas (e os consumidores finais) se defrontam. Neste sentido, flexibilidade energética poderia ser definida como a capacidade das firmas (industriais ou do próprio setor de energia) ou consumidores finais, em responder a mudanças no ambiente de oferta destes recursos. Em segundo lugar, a flexibilidade energética também é abordada em seu caráter dinâmica (no sentido definido anteriormente, em contraposição ao seu caráter estático). Por vezes, flexibilidade energética é analisada em relação à tomada de decisão dos ofertantes de energia, sobretudo com relação à expansão de capacidade de suprimento, num ambiente de incerteza, dadas às características técnico-econômicas peculiares das indústrias de energia.

Com relação ao primeiro ponto, as firmas podem buscar a flexibilidade energética com um foco produtivo, através do investimento em tecnologias capazes de alternar entre diferentes fontes energéticas. Outra forma de obter maior flexibilidade no campo energético

se refere a uma estratégia de diversificação de produtos que permita a uma firma a alternância para a produção de bens menos intensivos no consumo energético (Dohl, 2002).

No front externo, a flexibilidade pode ser buscada através de suas relações com fornecedores, através de contratos flexíveis quanto à quantidade e preço, e pela possibilidade de mudança de fornecedores. Esta resposta pode ser uma resposta passiva, isto é, como instrumento de defesa e diminuição de custos, e ou uma resposta ativa, quando a flexibilidade energética é vista como uma forma de ganhos a partir da arbitragem possibilitada por diferenciais de preços de energéticos. Sölderhorm (2001) apresenta como exemplo, a arbitragem feita por plantas de geração elétrica *bi-combustível*. De acordo com o autor, térmicas bi-combustíveis que tenham contratos de longo prazo para o suprimento de um combustível particular, podem alternar para o outro e com isso obter vantagens graças às diferenças entre os preços contratual e do mercado spot⁷. A flexibilidade energética passa a ser, então, uma estratégia dos consumidores de energia para se beneficiar da própria concorrência entre fornecedores de energia. Outro elemento ressaltado por Bougeois et al (2000) a flexibilidade pode ser buscada como instrumento de eficiência em alguns processos, como é o caso da cogeração.

Segundo Lambert (1989), flexibilidade energética diz respeito à flexibilidade do aparelho produtivo face às incertezas dos preços de energia. O autor faz uma comparação entre a flexibilidade financeira e a energética. Flexibilidade financeira se justifica na presença de irreversibilidade dos investimentos e pela incerteza quanto à evolução dos

⁷ “Utilities with dual-fired plants and long-term contracts for one fuel, can switch fuels and take advantage of the difference between the contract price and the spot price. For example, if the spot price for gas increases relative to the contract price, a dual-fired oil/gas plant that burns gas under a long-term contract can switch to oil and instead sell gas on the spot market for gas” (Sölderholm, 2001, p. 82).

preços relativos. A opção de flexibilidade financeira se opõe a flexibilidade física, na qual a conservação de um capital financeiro se constitui numa provisão de opções para escolhas futuras, o que implica que o empresário vai esperar o melhor momento para investir se isso o prende a uma opção tecnológica. Porém, a flexibilidade financeira não imuniza o agente econômico contra a incerteza energética, pois esta permanece intacta já que a volatilidade de preços energéticos continua. Assim, um cenário de preços variáveis leva a emergência da flexibilidade tecnológica do ponto de vista energético.

Num contexto de incerteza dos preços dos energéticos, empresas buscarão uma flexibilidade a montante enquanto a diversificação de produtos e processos representa uma flexibilidade a jusante como resposta a incertezas de mercado. O autor ressalta também alguns obstáculos a maior flexibilidade dos equipamentos energéticos, tais como: o custo adicional de um equipamento flexível de mesmo desempenho; risco de equipamento flexível se tornar obsoleto numa situação de mudança de preços relativos que beneficie a mono-energia, desempenho (potência) dos equipamentos pode ainda ser inferior ao dos equipamentos dedicados (pelo menos no caso da química). Nesse sentido, outra forma de adquirir flexibilidade do ponto de vista energético é a compra de equipamentos dedicados de diferentes fontes de energia que são colocados para trabalhar em paralelo.

Flexibilidade implica em manter um sistema produtivo mais adaptável as incertezas do meio. Uma tecnologia flexível permite dar melhor resposta de curto prazo a variações de preços, uma vez que o custo de operação de uma tecnologia flexível é sempre o mínimo entre os custos do uso dos dois (ou mais combustíveis) que alimentam o equipamento. No longo prazo, a flexibilidade é vista como forma de antecipar uma reconversão energética

iminente. Segundo o autor, uma empresa já dotada de nova tecnologia apresenta vantagem sobre concorrentes.

Hèrauld (1989) apresenta uma visão mais ampla da flexibilidade energética. O autor define o conceito de “polienergia” como o fenômeno de diversificação de fontes energéticas nas atividades industriais. Segundo o autor, ela não estaria restrita ao âmbito das atividades industriais, mas também se daria em dois outros níveis: microeconômico, isto é, no nível dos consumidores individuais e no macroeconômico. No que diz respeito a este último, a polienergia se constituiria nas estratégias nacionais de substituição de uma energia dominante por um sistema baseado em uma pluralidade de recursos energéticos. Assim, o seu conceito de polienergia seria distinto de outro conceito também encontrado na literatura de economia de energia chamado multienergia, o qual estaria mais restrito ao domínio microeconômico.

A polienergia seria uma resposta ao risco e a incerteza do ambiente. Porém, o autor vai além ao ressaltar um caráter dinâmico da busca por flexibilidade energética: o investimento em equipamentos flexíveis permite o desenvolvimento de diversas opções durante um período de aprendizado de transição para um novo “regime” energético, cujas características não se conhecem ao certo. De imediato ela permite, num âmbito nacional, a maior independência estratégica de países produtores. E no longo prazo, se constitui num estímulo a inovação, pois incita o desenvolvimento de diferentes de soluções energéticas em nichos energéticos. Assim, decisões de cunho puramente adaptativo e reativo por parte das firmas e mesmo nações, têm resultado dinâmico no longo prazo por incitar o desenvolvimento tecnológico destes tipos de aparelhos flexíveis.

Dessa forma, vale explorar uma faceta importante da análise de Hérauld (1989) que é o reconhecimento do potencial da flexibilidade energética em permitir a utilização de uma fonte energética pouco usada, cujas condições de oferta ainda podem ser pouco conhecidas, mercados incipientes ou apresentando gargalos. Neste sentido, esta flexibilidade possibilita a exploração de novas fontes com o efeito dinâmico de estimular o desenvolvimento destes mercados.

Assim, como Stigler (1939), o autor ressalta que a flexibilidade nunca é gratuita. Nas grandes indústrias de montagem, uma unidade flexível custa em geral de 20 a 30 % mais que uma unidade fordista. Dessa forma, as firmas só buscam flexibilidade se forem incitadas pelo ambiente.

A reação de uma firma a um novo conjunto de restrições se faz através de um esforço de reestruturação técnica e estratégica do qual resulta um aumento na complexidade interna e uma ação mais diversificada, variável e potente sobre o ambiente. Assim, uma estratégia voltada à redução de custos pode se transformar numa vantagem como maior poder de barganha, familiarização a novas tecnologias para a empresa e a aplicação de uma nova fonte de energia num determinado processo produtivo. Por exemplo, nova energia pode ter impactos de qualidade no produto produzido, e o equipamento desenvolvido na empresa usuária pode ser vendido. Nesse sentido, o autor apresenta um olhar mais ambicioso para a questão da flexibilidade energética, através do seu conceito de polienergia. Segundo o mesmo, mais importante do que as formas de proteção contra risco, ou a detenção de capacidade de arbitragem e barganha, a flexibilidade energética

envolveria algo além, como as próprias trajetórias tecnológicas dos equipamentos⁸. Assim a motivação estática leva a ganhos dinâmicos e neste sentido são dimensões indissociáveis do processo de flexibilidade energética. O investimento em um equipamento flexível, com a conseqüente introdução de uma nova fonte pode antecipar ganhos organizacionais e uma curva de aprendizado mais rica. A variabilidade do ambiente, isto é do mercado de insumos energéticos que impulsiona as firmas buscarem a flexibilidade energética. Firms inovam impulsionadas por este ambiente e projeta a firma numa trajetória tecnológica completamente nova.

Outra dimensão da flexibilidade energética se refere ao âmbito das próprias firmas fornecedores de energia que se deparam com um ambiente de demanda por seus produtos em mutação. Aqui o elemento diferencial se refere à incerteza do contexto energético como elemento de demanda das firmas energéticas. Por exemplo, Almeida e Bicalho (2001) ressaltam que algumas tecnologias – particularmente, o caso das turbinas a gás na geração elétrica – ao aumentar a divisibilidade do capital, permitem a expansão da capacidade produtiva de maneira modular e conferem, portanto, maior flexibilidade na operação e expansão da atividade de geração. Aumentam flexibilidade, pois apresentam menores restrições quanto as opções futuras de localização das plantas, expansão futura e mesmo permitem responder a variações de curto prazo da demanda a um menor custo de ajuste (ou seja a ampliação do custo unitário em função de um distanciamento do ponto ótimo de operação seria menor). Neste sentido, haveria mesmo um *trade off* entre flexibilidade de operação e expansão e economias de escala.

⁸ “Ce sont des courbes d’apprendissage et des trajectoires technologiques qui sont en cause (représentation dynamique) et non plus seulement une forme d’assurance contre le risque où une capacité de négociation industrielle” (Hèrauld, p. 372).

Kulatilaka (1993) busca mensurar o valor da flexibilidade energética com base na teoria do valor de opções. Seu estudo de caso é baseado no uso de aquecedores de água bi-combustível. Segundo o autor, a literatura sobre valor de opções ressalta que: i) a volatilidade de preços é um importante determinante dos padrões de investimento, tanto no que se refere ao tipo de investimento (tecnologia rígida x flexível), quanto no que se refere ao volume do mesmo (por alterar o q de Tobin de sistemas flexíveis); ii) que o valor da flexibilidade pode ser determinado explicitamente; iii) e que, dadas às dinâmicas dos preços relativos dos insumos, as elasticidades de preços dos insumos têm menos importância no nível micro do que limites críticos de preços (preços aos quais as revisões devem ser revistas).

A possibilidade de usar a melhor fonte de energia, *ex post* (depois do conhecimento dos preços) faz de uma tecnologia flexível, uma opção de venda. Por exemplo, esta tecnologia apresentará retorno superior a uma tecnologia dedicada em cada período, que será igual a $\text{Max} (P_i - P_j, 0)$. O que é formalmente idêntico ao retorno de uma opção de compra. Mas, além disso, esta tecnologia garante a possibilidade de troca novamente no uso energético no caso de uma reversão no quadro de preços. Segundo o autor isto seria como uma opção de venda de um determinado ativo.

Na ausência de custos de troca, os agentes escolheriam em cada período a opção que maximizaria suas receitas no tempo t . Na presença de custos de troca de um modo de energia a outra, as expectativas quanto ao preço relativo futuro entre os dois combustíveis afeta a decisão presente quanto ao uso. É este efeito que pode resultar numa histeresis, uma banda de valores que os preços relativos podem assumir em que a troca não ocorre mesmo quando as condições de curto prazo tornam vantajosa a troca. A escolha depende dos

preços relativos ajustados a eficiência de operação com os diferentes combustíveis. Graças à volatilidade dos preços relativos entre os combustíveis, uma regra de decisão pode ainda levar a maior preferência por uma tecnologia flexível.

O autor calcula o valor da flexibilidade e conclui que, mesmo na presença de custos de ajuste entre os modos de operação, o valor da flexibilidade em termos de economia de custo supera bastante o custo adicional de um boiler flexível em relação a um boiler dedicado. Razão pela qual, 80% dos aquecedores de água vendidos pelos principais ofertantes sejam bi-combustíveis, segundo o autor.

Dentre todas estas dimensões da flexibilidade energética, percebe-se que a questão tecnológica é um elemento fundamental, tanto ao possibilitar a alternância entre diferentes fontes energéticas do ponto de vista da demanda, quanto do ponto de vista da oferta de produtos energéticos. Assim, o foco desta tese estará na dimensão tecnológica desta flexibilidade, ou seja, flexibilidade energética neste trabalho irá se referir ao uso de tecnologias que possibilitem a substituição entre dois ou mais tipos de fontes energéticas.

1.3 Flexibilidade Energética e Concorrência Interenergética

Conforme ressaltado por Bougeois et al (2000) o grau de compatibilidade entre necessidades energéticas e recursos escassos e outros objetivos, como a proteção ambiental, dependerão das mudanças nas tecnologias de produção e uso da energia. Embora as mudanças tecnológicas ocorridas no seio das tecnologias de energia nos últimos anos, não tenham promovido o mesmo impacto econômico que as mudanças na área da microinformática e da microeletrônica, elas permitiram a redução no custo da oferta de

insumos energéticos, aumento da disponibilidade e da qualidade, aumento na flexibilidade dos processos de conversão (produção e uso) aumento da eficiência e maior compatibilidade ambiental.

Desta maneira, como o conceito de flexibilidade energética está associado à tecnologia de energia, vale defini-las.

1.3.1 As tecnologias de energia

O uso econômico da energia pelo homem ao longo de sua história foi dependente da capacidade do homem em converter as fontes de energia em serviços capazes de suprir as diferentes necessidades (cocção, locomoção, iluminação, força motriz, dentre outras). Assim, uma noção intrinsecamente relacionada à energia é a noção de conversão. Isto porque, em primeiro lugar, os principais recursos utilizados como fonte de energia pelo homem – petróleo, carvão, gás – são acumulações armazenadas na crosta terrestre resultantes da transformação de formas passadas de vegetais e animais, os quais converteram energia solar em substâncias de elevado conteúdo energético. Estes seriam os primeiros conversores de energia (Calabi et al.,1983). Em segundo lugar, dada a quantidade disponível de energia solar, não se pode considerar que o problema econômico da energia seja a oferta de energia. Este deriva das características particulares das tecnologias empregadas pelo homem com o fim de converter a energia disponível nestas em serviços desejadas em um dado tempo e lugar. Em outras palavras, para que a energia incidente e armazenada na natureza possa satisfazer as diferentes necessidades humanas, ela precisa ser convertida em energia útil. Estas tecnologias são chamadas então, de conversores.

O motor a combustão interna é um tipo de conversor que transforma a energia química contida em um combustível (gasolina, diesel, etanol) em energia mecânica que proverá o serviço de transporte. Outros exemplos são os aquecedores de água mencionados anteriormente. Porém, na maioria das vezes, as diferentes fontes de energia precisam passar por transformações para que possam ser usadas nestes dispositivos. Estes processos ocorrem em centros de transformação (refinarias, centrais hidroelétricas, centrais térmicas, centrais nucleares, plantas de gás, etc). Além da atividade de transformação, é necessária a produção da energia primária, a qual envolve todas as atividades econômicas relacionadas à obtenção dos recursos energéticos: extração e produção de petróleo, o gás natural, o carvão e o urânio do subsolo, armazenagem de água em grandes reservatórios, plantio e abate de árvores e biomassa, dentre outras destinadas ao direcionamento dos recursos energéticos (renováveis e não renováveis) para a transformação ou, em alguns casos, para a utilização final.

Todas estas atividades – desde a produção do recurso energético até a sua conversão em energia útil - envolvem tecnologias de produção e de uso⁹ bastante distintas, indo desde o abate de árvores para a produção de lenha, até a conversão eletrônica nuclear. Isto porque os recursos energéticos apresentam características heterogêneas: algumas são sólidas (lenha, carvão mineral, carvão vegetal); outras líquidas (petróleo bruto, derivados de petróleo, álcool), outras gasosas (gás natural ou manufaturado); e uma em particular, a eletricidade, que apresenta propriedades que a colocam em um universo particular e específico (Martin,

⁹ Uma tecnologia aqui é entendida com definida por Martin (2000), como a integração entre instrumentos (utensílios, aparelhos, máquinas, processos químicos ou físicos), conhecimento científico, competência e experiência industrial (planos, programas, recursos humanos, capacitação organizacional) para a realização de uma transformação p. 20.

1992). Mesmo os serviços fornecidos pelas diferentes fontes energéticas são bastante distintos.

Com base na definição tradicional de cadeias industriais, cada uma destas tecnologias deveria pertencer a cadeias distintas. Porém, Bougeois et al (2000) definem uma unidade de tratamento que permite analisar em conjunto todas estas atividades. De acordo com os autores, os processos de transformação de energia, isto é, todas as tecnologias voltadas ao tratamento de fluxos de energia (desde os recursos naturais energéticos até os serviços finais) são interdependentes por conta de duas dimensões: complementaridade e na substituição. A complementaridade se refere ao fato de serem os processos de transformação, pertencentes ao uma cadeia e assim o produto de um processo é o insumo de outro processo. No caso da substituição, ela se fundamenta na concorrência entre cadeias energéticas que se dá pelo fato de ser o produto de uma cadeia substituto de outro. Segundo os autores estes conceitos seriam a base para uma análise sistêmica dos processos de transformação de energia.

Em teoria, todas as fontes de energia podem ser consideradas substitutas entre si. Isto se deve à possibilidade física de conversão das formas de energia umas nas outras (térmicas, mecânica, química, elétrica). Essa conversibilidade e as condições em que ela ocorre derivam de dois primeiros princípios da termodinâmica¹⁰. Esses dois princípios determinam também o rendimento ou a eficiência das transformações energéticas. Este é um conceito fundamental, pois é inversamente proporcional ao consumo de energia em uma determinada transformação (Pinto Jr et al., 2007). Tecnologias de uso e de

¹⁰ O Primeiro Princípio estabelece que a soma da energia de qualquer sistema isolado permanece constante. A energia se conserva ao longo das operações de uma cadeia energética. O Segundo Princípio afirma que a qualidade da energia envolvida em cada uma dessas operações se degrada de forma irreversível

transformação e fontes energéticas distintas apresentarão rendimentos distintos. Esses rendimentos variam em função da tecnologia empregada, da fonte utilizada e do nível de progresso técnico.

Ainda sobre a substituição, embora, todas as formas de energia possam ser consideradas substitutas entre si, a efetiva substituição de uma fonte de energia por outra tem sido bastante limitada pelas características técnicas das tecnologias de uso (conversores) em termos de flexibilidade energética. Segundo Calabi et al (1989 p. 4) “*o conversor de energia traz embutida uma opção em termos da fonte de energia que o alimenta. A eleição de uma determinada fonte por seu turno retroage sobre a orientação tecnológica que se imprime sobre a produção dos conversores e à própria industrialização*”.

Segundo Pinto Jr et al (2007), as tecnologias de uso, sempre apresentaram uma flexibilidade muito baixa no que diz respeito aos insumos energéticos. Cada motor a combustão queima o seu combustível específico. Nestes casos, a substituição de um insumo energético por outro implicaria na mudança de equipamento, o que envolve custos, em geral, irrecuperáveis. Como consequência, a concorrência interenergéticos tradicionalmente se deu num contexto restrito, tanto no que concerne aos mercados finais de energia quanto no que diz respeito aos mercados de insumos para os centros de transformação.

Porém, a mudança no próprio ambiente econômico do setor energético coloca em relevo a flexibilidade como uma característica a ser buscada no desenvolvimento de equipamentos de uso. Começa a surgir uma geração de conversores de energia que operam com mais de uma fonte energética: caldeiras, motores e aquecedores capazes de utilizar mais de um combustível. Uma vez que a substituição energética não requer a mudança de

equipamento, a competição pode se dar no curto prazo e os produtos de energia passam, efetivamente, a ser substitutos próximos entre si.

1.4 Conclusões

Como foi visto neste capítulo, existem diversas definições para a flexibilidade, mas todas convergem no sentido de reconhecer a flexibilidade como a capacidade de se adaptar a um ambiente incerto. Ela é um atributo econômico, que pode se concretizar no plano físico, a partir de uma tecnologia de produção flexível do ponto de vista da quantidade produzida e dos insumos utilizados na produção. Todavia este atributo também pode estar relacionado à possibilidade de tomada de decisões que possam ser reversíveis. Este atributo, portanto pode se configurar numa vantagem competitiva em um ambiente de crescente complexidade e incerteza. Porém, há que se ressaltar que a flexibilidade não é um bem livre, e envolve um custo, que pode ser medido tanto em relação a perda de eficiência produtiva, no caso de uma planta produtiva, quanto no gasto mais elevado em tecnologias flexíveis ou em opções que garantam alternativas no caso de uma mudança no ambiente. No que concerne ao conceito de flexibilidade energética, também é feita uma caracterização deste conceito, bastante empregado na literatura na área de economia da energia, mas com diferentes aspectos.

No caso em questão o conceito de flexibilidade assume diversas caracterizações no âmbito econômico, mas assume especial relevância em face de um ambiente de incerteza. No caso da flexibilidade energética, esta também assume relevância fundamental a partir da alteração do ambiente de suprimento com o qual as firmas passam a se defrontar a partir

dos anos 80. Esta flexibilidade tem uma dimensão ampla, dentre as quais a existência de tecnologias de uso flexível, que possibilitem respostas mais rápidas, menos custosas ao cenário incerto. Com relação ao aspecto custo de ajuste, uma tecnologia flexível elimina o custo de substituição do equipamento, mas pode embutir seja um custo adicional na compra, seja um custo relativo ao *trade-off* entre flexibilidade e eficiência. Conforme visto, diferentes fontes, por suas características físico-químicas também definem o rendimento ou a eficiência energética do equipamento. Assim o progresso seria dado na direção da redução progressiva deste *trade-off* flexibilidade x eficiência. Além disso, tecnologia flexível aumenta a flexibilidade energética de uma firma, ou consumidor. Todavia, a efetiva troca de combustíveis pode depender de outros fatores, como presença de algum tipo de custo na troca de combustíveis, alguma rigidez do processo produtivo, restrições ambientais ao uso de um determinado combustível, oferta disponível de um determinado bem, natureza dos contratos de suprimento e possibilidade de arbitragem.

Como conclusão do capítulo tem-se que o campo de estudo da economia da energia estabelece, dentre tantas, uma necessidade tecnológica particular que é a da flexibilidade energética das tecnologias de uso. Esta necessidade particular fornece então uma direção do progresso técnico nas diferentes tecnologias de uso existentes na economia, que é a de fornecer flexibilidade e reduzir os *trade-off* com outros atributos necessários a tecnologia (consumo energético, performance e outras características particulares de cada tecnologia). A evolução nesta direção pode levar a mudanças (ou bifurcações) de trajetórias tecnológicas no interior de paradigmas definidos como tecnologias de uso, ou até mesmo ao estabelecimento de novos paradigmas. Esta busca tecnológica e a conseqüente introdução de inovações podem levar a alteração do ambiente de competição, mas que não se dá da

forma como tradicionalmente se advoga no campo de estudo das inovações, ou seja, pela alteração da estrutura industrial onde se introduz a inovação, mas sim no âmbito das indústrias fornecedores dos insumos energéticos que passam a ser substitutos próximos.

A maior concorrência interenergética propiciada pela flexibilidade impactará no movimento dos preços das diferentes fontes energéticas. Como substitutos próximos seus preços tenderão a apresentar um comportamento convergente. Em outras palavras, a flexibilidade energética tende a se refletir em uma integração entre estes mercados. O próximo capítulo trata então da relação entre substituição e integração de mercados. Como se verá, a abordagem da integração pode ser uma outra forma de ver a questão da concorrência interenergética.

CAPÍTULO 2

INTEGRAÇÃO DE MERCADOS: CONCEITOS E METODOLOGIA DE ANÁLISE

Este capítulo é dedicado ao segundo pilar teórico desta tese: a integração de mercados e está estruturado em quatro seções. A primeira define o conceito de integração de mercados em suas duas dimensões, a dimensão geográfica e a dimensão de produto. A segunda descreve o arcabouço metodológico de análise aplicado às questões de integração de mercado: a co-integração. A terceira analisa as vantagens e desvantagens como método empírico aplicado a este tema, bem como desenvolvimentos recentes, como a inclusão de rupturas estruturais nos testes de co-integração, testes de estabilidade sobre a relação de co-integração e relações de co-integração não linear. A quarta seção faz uma revisão bibliográfica dos estudos de integração de mercados energéticos e introduz o objeto empírico desta tese. Por fim seguem-se as conclusões do capítulo.

2.1 Definições de Mercado

Para analisar se o conceito de integração de mercado cabe inicialmente conceituar o que é mercado. Segundo Taylor (2001), as questões relativas à integração e delimitação de mercados são uma das preocupações básicas da teoria econômica. Ver-se-á que a definição

de mercado leva em conta duas dimensões fundamentais: a dimensão geográfica e a dimensão de produto.

2.1.1 A dimensão geográfica do mercado e a Lei do Preço Único

De acordo com Marshall (1920):

“Os economistas entendem por mercado não um lugar onde se consumam as compras e vendas, mas toda uma região em que compradores e vendedores se mantêm em tal livre intercâmbio uns com os outros que os preços das mesmas mercadorias tendem a nivelar-se fácil e prontamente” Marshall (1920, p.16 vol 2)

A definição de Marshall, como o próprio ressalta, segue a definição de Cournot (1848). Segundo Cuddington and Wang (2006), a definição marshalliana de mercado destaca a dimensão geográfica das transações entre compradores e vendedores de um bem. Neste ambiente, quanto mais perfeito seu funcionamento, maior a tendência para a uniformidade dos preços de um mesmo bem. Outro elemento importante a destacar é o papel central do movimento de preços do mesmo bem entre duas localidades, para a definição de um mercado. Efeito que decorre desta definição refere-se a velocidade de ajuste dos preços quando da ocorrência de choques seja da demanda, seja da oferta.

Stigler and Sherwin (1985) partem desta definição de mercado, para uma definição mais abrangente, igualmente focada na questão dos movimentos de preços. Segundo os autores, o mercado de um bem é a área no interior da qual o preço deste bem tende a unidade¹¹. Se existe um preço único em uma dada área, isto significa que os consumidores e/ou vendedores consideram as transações em qualquer ponto desta área como sendo um

¹¹ “A market for a good is the area within which the price of a good tends to uniformity, allowance being made for transportation costs” (Stigler and Sherwin, 1985, p. 555).

substituto próximo (e no limite perfeito) para transações em qualquer ponto nesta mesma área. Em tese, a partir desta definição, para que as localidades A e B façam parte do mesmo mercado de um bem x , a diferença no preço de ambas deve corresponder apenas ao custo de transporte entre as duas localidades. Todavia, segundo os próprios autores, é difícil a verificação desta relação na prática, pois em primeiro lugar, não há apenas um custo de transporte entre as localidades, e este pode ser influenciado por outros fatores como escala e movimentos de outros bens entre as localidades. Em segundo lugar, choques estocásticos de oferta e demanda podem levar ao distanciamento dos preços entre as duas localidades. Porém, se estas compõem um mesmo mercado, movimentos divergentes de preços devem ser limitados em tamanho e duração, uma vez que a própria arbitragem tende a corrigir estes desvios. Assim, se as localidades A e B pertencem a um mesmo mercado do bem x , os preços nas diferentes localidades devem apresentar movimentos similares.

Segundo Stigler e Sherwin (1985), a vantagem desta abordagem na delimitação de um mercado está no fato dela captar o papel essencial da competição intercapitais e arbitragem na definição dos movimentos de preços e, por conseguinte no movimento de preços, bem como requer poucos dados para sua verificação.

“ If we find closely parallel price movements, the loci of the prices are in the same market. If we find significant nonparallel price movements, the loci of the prices are not in the same market unless the discordance in movements can be traced to changes in transportation costs” (Stigler and Sherwin, 1985 p. 557)

Cuddington e Wang (2006) partem da mesma definição de Stigler and Sherwin (1985) para uma definição ainda mais abrangente, em que igualmente o co-movimento de preços de um mesmo bem em diferentes mercados definiria a integração dos mesmos. Por efeito da arbitragem, os diferenciais de preços devem se manter estáveis ao longo do tempo.

“Assuming transactions (including transport costs) for the time period under consideration k locations are said to lie within a single (unified or integrated) market if shocks to supply or demand from any location in the market cause equal price changes in all locations” (Cuddington e Wang, 2006 p. tk)

Estas definições suscitaram uma extensa literatura sobre integração de mercados baseada no estudo das relações de preços que se estabelecem entre diferentes localidades (Asche et al, 2000). Em particular, estas definições de mercado estão em estreita relação com a chamada lei do preço único (LPU). Duas localidades fazem parte de um mesmo mercado – ou alternativamente, dois mercados são integrados – se e somente se a lei do preço único é válida.

A lei do preço único em sua versão mais simples estabelece que nos mercados concorrenciais, livres de custos de transportes e barreiras oficiais ao comércio, bens idênticos vendidos em países diferentes devem ser vendidos pelo mesmo preço, sendo estes indicados em uma mesma moeda (Krugman e Obstfeld, 2001). A lei do preço único assume que, se o comércio é aberto e não dispendioso, bens idênticos devem ser comercializados pelo mesmo preço quando seus preços são indicados na mesma moeda¹². Assim, em duas localidades A e B, para o bem i , a lei do preço único levaria a seguinte representação: $P_a^i = E_{\$a/b} * P_b^i$. Esta seria a chamada lei forte do preço único, que a exemplo da definição de Stigler e Sherwin (1985) sobre integração de mercados é difícil de verificar na prática. Com efeito, Bernard et al (2005) ressaltam que análises empíricas realizadas nos anos 80 a respeito da lei do preço único (por ex. Richardson, 1978) identificam que as diferenças em relação à lei do preço único são causadas por variações da taxa de câmbio nominal, mas

¹² Para revisão sobre literatura acerca da LPU e a sua relação com a paridade de poder de compra (PPP), ver Froot e Rogof (1995) e Rogof (1996)

não conseguem concluir se haveria, apesar disso, uma convergência a esta relação no longo prazo (isto é, se os choques da taxa de câmbio nominais são transitórias).

A relação básica a ser investigada na análise da relação de preços em diferentes mercados seria dada por (Asche et al, 2000):

$$\ln p_{1t} = \alpha + \beta \ln p_{2t} \quad (1), \text{ onde :}$$

α é um termo constante, que representa o logaritmo neperiano do termo de proporcionalidade e que captura os efeitos de custo de transporte entre diferentes mercados regionais e diferenciais de qualidade entre os bens; e β fornece a relação entre os preços dos diferentes bens. Caso β seja nulo, não existiria relação entre os bens, no caso oposto, em β seja igual a 1, a lei do preço único se verifica, e os preços relativos são constantes. Se β é diferente de zero e da unidade, pode-se dizer que existe uma relação entre os bens, porém seus preços relativos não são constantes ao longo do tempo.

A não observância da lei do preço único pode ser resultante de diversos fatores, são eles (Sexton et al 1991): i) ausência de movimento de volume de transações físicas entre as regiões pesquisadas, isto é, seriam regiões autárquicas; ii) obstáculos aos movimentos de arbitragem, tais como barreiras à entrada; informação imperfeita, aversão ao risco; iii) competição imperfeita em um ou mais mercados analisados. Com relação ao primeiro ponto Stigler e Sherwin (1985) evocam o teorema da equalização de preços dos fatores de produção mesmo que estes não sejam diretamente transacionados. O segundo conjunto de causas para a não observância da lei do preço único será retomado na parte metodológica. Finalmente, em relação à terceira condição, Sexton et al (1991) ressaltam a implicação normativa da integração de mercados: existência de forças competitivas e eficientes entre os mercados analisados.

Um elemento ressaltado por Taylor (2001) que pode contribuir para a não observância, ou para dificultar a observância da lei do preço único se deve a presença de custos de transação. Segundo o autor, a literatura começa a reconhecer uma idéia levantada por Hecksher em 1916 (apud Taylor, 2001): custos de transação (fixos ou variáveis) e aversão ao risco podem gerar uma “banda de inação”, na qual a arbitragem entre localidades não ocorre apesar da existência de um diferencial de preços entre os dois mercados. Somente quando a diferença de preços entre duas localidades ultrapassa um determinado valor suficientemente grande, as forças de arbitragem são acionadas e o ajuste em torno do equilíbrio se inicia. Desta maneira, o equilíbrio de longo prazo entre os preços de duas localidades, pode não ser um ponto, mas um intervalo de variação.

2.1.2 A dimensão produto

Stigler e Sherwin (1985) estendem a definição de mercado, para incluir a dimensão produto, isto é segundo os autores (p.566): “dois bens estão em um mesmo mercado (são substitutos próximos na produção, no consumo ou em ambos) quando os preços relativos mantêm uma razão constante”. Este resultado decorre da própria definição de bens substitutos perfeitos pelo lado da demanda e o problema de maximização do consumidor. Segundo a definição constante em Varian (1997, p.42), “dois bens x e y são substitutos perfeitos se o consumidor está disposto a substituir um bem pelo outro a uma taxa constante”. Neste caso, as curvas de indiferença para o consumidor são lineares cuja inclinação representa a taxa marginal de substituição entre estes dois bens. Este tipo de

curvas de indiferença pode ser representado por uma função de utilidade linear do tipo $U(x,y) = ax + by$. Neste contexto o problema do consumidor é expresso como:

Max $U(x,y) = ax + by$ sujeito a $p_1x + p_2y \leq m$, onde p_1, p_2, m representam respectivamente os preços dos bens x e y e a renda do consumidor. A solução deste problema indica que no ponto ótimo: $\frac{a}{b} = \frac{p_1}{p_2}$

O resultado acima corresponde àquele bastante conhecido da microeconomia do consumidor: o ponto de escolha ótima do consumidor é aquele em que a razão das utilidades marginais dos bens se iguala ao preço relativo dos bens. Na presença de bens substitutos perfeitos, no entanto, este resultado implica em múltiplas soluções. Isto decorre do fato de que curvas de indiferença deste tipo não cumprem uma condição necessária para a obtenção de uma solução única de equilíbrio ao problema de maximização do consumidor: elas não representam preferências estritamente convexas (ou alternativamente, a função de utilidade não é uma função estritamente côncava). Para obter soluções alternativas a este caso, recorre-se a seguinte solução:

$$\text{Max } U(x,y) = ax + by \text{ sujeito a } p_1x + p_2y \leq m,$$

$$p_1x + p_2y = m$$

$$x, y \geq 0$$

$$\text{Solução 1} = (0, m/p_2); \text{Solução 2} = (m/p_1, 0)$$

As soluções 1 e 2 são as soluções de canto tradicionais, que ocorrem quando

$\frac{a}{b} \neq \frac{p_1}{p_2}$. Logo quando, $a/b < p_1/p_2$, $x_1 = 0$ e o resultado é a solução 1, por outro lado

quando $a/b > p_1/p_2$; $x_2 = 0$ e o resultado é a solução 2.

O ponto a guardar deste resultado é o de que os preços relativos de bens substitutos perfeitos devem se manter constantes respeitando a razão das utilidades marginais dos bens. Esta relação somente deveria se alterar na ocorrência de uma mudança nas preferências dos consumidores. Isto porque as soluções de canto não devem ser soluções estáveis: estas soluções suscitam as próprias forças de arbitragem que levariam a solução em que os preços relativos seguem a taxa marginal de substituição. Em outras palavras, para que haja o consumo de ambos os bens x e y , os preços devem se manter estáveis seguindo a razão das utilidades marginais.

Outro elemento importante a ressaltar é a estreita relação entre a lei do preço único e a escolha do consumidor. A possibilidade de arbitragem entre dois mercados é baseada exatamente no pressuposto de que bens em diferentes localidades possam ser substitutos próximos – e no caso extremo perfeitos – entre si. Assim, é fácil perceber que a lei do preço único, na formulação de Asche et al (2001) apresentada na seção anterior, seria decorrente da aplicação de logaritmos ao resultado ótimo da escolha do consumidor, no caso em que o parâmetro $\beta = 1$ e α , seria o logaritmo neperiano da razão entre as utilidades marginais dos dois bens. Dessa maneira, a validade da lei do preço único implica que os bens sejam substitutos perfeitos pelo lado da demanda. Além disso, α , o termo de proporcionalidade, guarda informações importantes a respeito dos bens. Caso este seja nulo, o preço relativo deve ser idêntico salvo em condições transitórias. Caso, seja não nulo, ele indica a existência de um prêmio em alguma direção, seja ele um prêmio de risco (Asche et al, 2000) ou de qualidade. No caso em β é diferente de 1 e de 0, é o caso em que os bens são substitutos imperfeitos.

Nesse sentido, a dimensão produto de um mercado também pode ser verificada a partir de movimentos dos preços relativos de bens proximamente substitutos. De acordo com Stigler e Sherwin (1985) esta definição é equivalente ao uso da elasticidade cruzada de demanda, noção mais comum na análise de bens substitutos. Porém, este método requer menos informações e, portanto, devem ser levados em conta na análise da definição de mercados. Asche et al (1997) ressaltam que a vantagem da análise do movimento conjunto de preços de bens substitutos reside no fato de prescindir de dados sobre quantidades consumidas e renda na definição de um mercado. Porém, a informação obtida é menos precisa sobre a elasticidade cruzada entre os bens.

Para finalizar, cabe ressaltar que tanto o crescimento da literatura, voltada à análise da lei do preço único, quanto à análise da delimitação de mercados com base na substituição de produtos se deve a dois elementos principais. O primeiro é o condicionante histórico dos anos 90. Estes estudos servem de base para análise de políticas sobre liberalização de mercados, tanto do ponto de vista de abertura a comércio internacional, quanto políticas de liberalização de mercados particulares – como os mercados energéticos. O segundo elemento se deve a evolução nas técnicas econométricas aplicadas ao estudo das relações entre variáveis não estacionárias ao longo do tempo, isto é ao estudo de séries temporais. Este é o tema da próxima seção.

2.2 Abordagem Metodológica: a co-integração

Uma extensa literatura sobre integração de mercados se desenvolveu com base na aplicação de técnicas econométricas adequadas à análise de séries temporais. Estudos

anteriores sobre integração de mercado que se baseavam em correlações e regressões de preços foram criticados, pois ignoravam a não-estacionaridade¹³ das séries de preços. A crítica fundamental a este tipo de análise veio a partir de Granger e Newbold (1974) que identificaram um problema conhecido por regressão espúria: uma regressão linear a partir dos métodos dos mínimos quadrados entre duas variáveis não estacionárias y e x , as estatísticas de teste t e F aumentam arbitrariamente com o aumento da amostra, dando a falsa impressão de que as variáveis são conectadas (Hayashi, 2000). Assim, o procedimento padrão neste tipo de análise tem acompanhado o desenvolvimento das técnicas de análise de séries não estacionárias e co-integradas.

O conceito de co-integração se baseia na idéia de que duas variáveis econômicas não estacionárias compartilham relações de equilíbrio de longo prazo, e, portanto têm a tendência de se mover em conjunto (Engle e Granger, 1987). A aplicação deste princípio se dá em diferentes áreas da teoria econômica, como por exemplo, a relação entre consumo e renda agregados (Campbel, 1987 apud Balke e Fombi, 1997); relação dívida pública em relação ao PIB (Hamilton, 1994), relação da taxa de juros real com o nível de preços, isto é o chamado efeito Fisher (Lutkepohl e Kratzig, 2004) e os preços de uma mesma *commodity* em diferentes mercados, ou de substitutos próximos em um mesmo mercado (Engle e Granger, 1987). Neste sentido, a existência desta relação de equilíbrio de longo prazo entre as séries se baseia na verificação da estacionaridade desta relação. Se isto ocorre, às séries são ditas co-integradas (Engle e Granger, 1987). Formalmente: sejam duas séries de

¹³ Um processo estocástico, x_t é estacionário (fracamente ou em covariância) quando seus primeiro e segundo momentos são independentes do tempo t . Em outras palavras: $E(x_t) = \mu$ e $E[(x_t - \mu)(x_{t-h} - \mu)] = \gamma_h$ para todo $t \in T$; e todos inteiros h tais que $t-h \in T$ (Lutkepohl, 2004).

variáveis x_{1t} e x_{2t} , ambas integradas de ordem 1¹⁴ (I(1)). Neste caso, pode existir uma combinação linear entre as variáveis, do tipo: $z_t = x_{1t} - bx_{2t}$, tal que a série residual z_t seja estacionária¹⁵.

Se existe o vetor $\beta'[1,b]$ que transforme z_t em I(0), então x_{1t} e x_{2t} são ditas variáveis co-integradas, o vetor β' é chamado de vetor de co-integração e z_t é a relação de co-integração. Este caso tem interesse econômico, pois, este vetor de co-integração é interpretado como uma relação de longo prazo estabelecida entre as variáveis em questão. Esta definição, baseada em $n=2$ variáveis, pode ser generalizada para o caso em o vetor de variáveis x_t contenha N variáveis, integradas de mesma ordem. Neste caso, é possível mais de vetor de co-integração. Assume-se que possam existir r vetores de co-integração linearmente independentes, com $r \leq N - 1$ que são unidos em uma matriz $N \times r\beta$. O posto de β será igual a r , que representa o número de relações de co-integração existente entre os componentes de x_t (Engle e Granger, 1987).

2.2.1 Testes de co-integração

Existem dois procedimentos padrão para verificar se duas ou mais variáveis são co-integradas: os testes baseados em resíduos (testes do tipo Engle e Granger) e os testes baseados em estatísticas da razão de verossimilhança (metodologia Johansen).

¹⁴ Um processo estocástico é I(1), se após uma operação de diferenciação ($\Delta x_{it} = x_{it} - x_{it-1}$) a série resultante é estacionária (isto é, Δx_{it} é I(0)).

¹⁵ Isto é um caso particular da seguinte definição: os componentes de um vetor de variáveis x_t é dito co-integrado de ordem d, b se i) todos os componentes de x_t são integrados de mesma ordem I (d); existe um vetor $\beta (\neq 0)$ tal que $z_t = \beta'x_t$ seja I (d-b), $b > 0$. O vetor β é chamado o vetor de co-integração. (Engle e Granger, 1987). É o caso particular em que $d=b=1$.

A primeira metodologia consiste em três etapas: i) realizam-se testes de estacionaridade, também chamados de teste de raiz unitária¹⁶, nas variáveis selecionadas de modo a verificar se elas apresentam a ordem de integração (neste caso I(1)); ii) estima-se a relação de co-integração pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO); iii) verifica-se se os resíduos da relação de co-integração são estacionários. Em caso afirmativo, as variáveis analisadas são ditas co-integradas. Caso contrário rejeita-se a hipótese de co-integração¹⁷.

Caso o teste rejeite a existência de raiz unitária nos resíduos, pode-se concluir que as variáveis são co-integradas. Caso contrário, não se pode rejeitar a hipótese de que a relação de longo prazo estimada se trate de uma regressão espúria¹⁸. Caso haja co-integração, os parâmetros da relação de co-integração são superconsistentes, porém as estimativas obtidas por MQO do parâmetro b não apresentam distribuição padrão e por isso, não se pode realizar testes de hipóteses a respeito do seu valor. Em outras palavras, a aplicação deste tipo de metodologia para a verificação da lei do preço único, ou a hipótese de substituição perfeita entre dois diferentes bens, não é possível (Asche et al, 1999), pois

¹⁶ Um processo Auto-regressivo de ordem p , $y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + u_t$ pode ser escrito como um polinômio do operador de defasagem L , $\alpha(L) y_t = u_t$. Este será estável se $\alpha(z) \neq 0$ para todos os complexos $|z| \leq 1$. Se para um AR (p) $\alpha(z) = 0$ para algum z com $|z| \leq 1$, então o processo é não estacionário. No caso especial em que $\alpha(z=1) = 0$, o operador pode ser fatorado da seguinte forma: $\alpha(L) = (1 - \alpha^* 1L - \dots - \alpha_{p-1}^* L^{p-1})(1-L)$. Como $(1-L) = \Delta$, tem-se que $(1 - \alpha^* 1L - \dots - \alpha_{p-1}^* L^{p-1}) \Delta y_t = u_t$. Se $(1 - \alpha^* 1L - \dots - \alpha_{p-1}^* L^{p-1})$ tem raízes fora do círculo unitário, então diz-se que $y_t \sim I(1)$. Por isso, um processo I(1) é chamado de processo com raiz unitária. Os testes de estacionaridade consistem então a testar a hipótese nula de que $\alpha(1) = 0$.

¹⁷ Cabe notar que os testes de raiz unitária tradicionais, como o teste Dickey-Fuller Aumentado e o Philips Perron, usados para verificar a hipótese de raiz unitária nos resíduos da equação de cointegração, devem se basear em valores críticos distintos daqueles tradicionais, pois a variável z_t dependerá do parâmetro b da equação (1) bem como do número de parâmetros estimados. Engle e Yoo (1987) e Philips Ouillaris apresentam valores críticos para os principais testes de raiz unitária (Engsted e Bentzen, 1997).

¹⁸ Quando x_{1t} e x_{2t} são variáveis I(1) independentes, não existe b tal que z_t seja estacionário. Assim, o estimador de mínimos quadrados de b , assim como o R^2 da equação estimada convergem para variáveis aleatórias. As estatísticas t de Student e F não apresentam distribuições bem definidas. Além disso, a estatística de Durbin Watson converge a zero.

não se pode testar a hipótese de que $b = 1$. Além disso, Engsted e Bentzen (1997) ressaltam outras desvantagens desta metodologia: os parâmetros estimados não são únicos, mas dependem da variável escolhida como variável dependente (normalização); e na existência de mais de duas variáveis, não há garantia de que a relação de co-integração estimada seja a “verdadeira” ou uma combinação das mais de uma das possíveis relações existentes entre as variáveis.

A metodologia proposta por Johansen (1991) supre as lacunas presentes no método de Engle e Granger (1987), pois permite testar o posto da matriz de co-integração, estimar estes vetores e ainda testar restrições sobre os parâmetros estimados usando inferência assintótica padrão. O teste de co-integração proposto por este método é baseado em um Modelo Vetorial Autoregressivo com p defasagens e erros gaussianos (Var (p)) do tipo:

$$X_t = A_1 X_{t-1} + \dots + A_p X_{t-p} + \varepsilon_t, (1)$$

onde as matrizes A são de ordem $k \times k$ (sendo k o número de variáveis contidas no vetor de variáveis X_t) e contem os parâmetros do modelo¹⁹. O número de defasagens autoregressivas (p) a ser incluído no modelo é geralmente determinado com bases nos critério de Akaike e/ou Schwartz²⁰. Este modelo é estável se satisfaz a seguinte condição:

¹⁹ $\varepsilon_t = [\varepsilon_{1t}, \dots, \varepsilon_{kt}]$ é um processo de média zero sem autocorrelação serial (ruído branco) com matriz de covariância não singular Σ_u

²⁰ A definição do número de defasagens a serem incluídas nos modelos pode seguir um modelo de seleção em que o número p é escolhido de modo a minimizar um determinado critério. Dentre os critérios mais comumente usados estão os critérios de Akaike e de Schwartz. O procedimento de Akaike busca escolher o valor p que minimize o seguinte critério: $AIC(m) = \ln \det(\tilde{\sum}_u(m)) + \frac{2}{T}mk^2$, enquanto o critério de

Schwartz busca minimizar: $SC(m) = \ln \det(\tilde{\sum}_u(m)) + \frac{\ln T}{T}mk^2$, onde $\tilde{\sum}_u(m) = T^{-1} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \hat{u}_t'$ é o estimador da matriz de covariância residual de um modelo VAR de ordem m com k variáveis. A abordagem de ambos consistem em adequar modelos Var (m) com $m=0, \dots, p_{max}$. (Kratzig e Lutkepohl, 2004).

$|I_k - A_1 z - \dots - A_p z^p| \neq 0$ para $|z| \leq 1$, ou seja, se as variáveis contidas no modelo são estacionárias $I(0)$. Caso existam variáveis $I(1)$ no modelo, Engle e Granger (1987) sugerem subtrair y_{t-1} dos dois lados do modelo. O modelo resultante é um chamado Modelo Vetorial de Correção de Erro (VCE) com a seguinte forma:

$$\Delta X_t = \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta X_{t-i} + \Pi X_{t-1} + \varepsilon_t$$

onde $\Gamma_i = -(A_{i+1} + \dots + A_p)$ e $\Pi = -I + A_1 + \dots + A_p$, que pode ser decomposto em duas matrizes, $\Pi = \alpha\beta'$ onde β é a matriz ($n \times r$) cujas colunas são os vetores de co-integração e α é uma matriz correspondente ($n \times r$) com os chamados coeficientes de ajuste, que representariam a velocidade de ajuste das variáveis a desvios em relação a relação de equilíbrio. Esta representação decorre do teorema de representação de Granger (Engle e Granger, 1987), em que um modelo de correção de erro é uma representação válida de um sistema de variáveis co-integradas. Como ΔX_t é $I(0)$ e $\sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta X_{t-i}$ também são $I(0)$, para que o VCE seja bem definido, ΠX_{t-1} deve também ser $I(0)$, o que significa que combinações lineares das variáveis em X_t sejam estacionárias. O número de relações de co-integração entre estas variáveis dependerá do número de linhas independente na matriz Π , ou seja que é dado pelo posto da matriz (r).

Dessa maneira, se $r = 0$, Π é uma matriz nula e o modelo se transforma em um VAR em diferença, pois as variáveis de X_t não são co-integradas. Se $0 < r < k$, Π tem posto reduzido maior que zero e existem r relações de co-integração entre as variáveis de X_t . Finalmente, se $r = k$, Π tem posto completo, X_t é trivialmente co-integrado, no sentido de que todas as variáveis em X_t são $I(0)$.

A metodologia de Johansen para o teste de hipóteses sobre o posto da matriz de co-integração é baseada em estatísticas de teste da razão de verossimilhança (Likelihood Ratio – LR). Duas estatísticas são propostas para testar hipóteses acerca de r : a estatística do traço ($LR_{\text{traço}}$) e do máximo autovalor (*maximum eigenvalue test* - $LR_{M.A}$).

$$LR_{\text{traço}}(r_0) = -T \sum_{j=r_0+1}^K \ln(1 - \lambda_j),$$

$$LR_{M.A}(r_0) = -T \ln(1 - \lambda_{r_0+1})$$

onde λ é obtido a partir da resolução do problema geral do auto valor decorrente do procedimento de estimação baseado em posto reduzido: $\det(\lambda S_{11} - S_{10} S^{-1}_{00} S_{01}) = 0$ em que $S_{i,j} = T^{-1} \sum_{t=1}^T R_{i,j} R'_{i,j}$ sendo $R_{i,j}$, os resíduos das regressões de Δx_t ($R_{0,t}$) e x_{t-1} ($R_{1,t}$) com relação a $\Delta X'_{t-1} = [\Delta x'_{t-1}, \dots, \Delta x'_{t-p+1}]^{21}$.

No caso do teste do traço a hipótese nula refere-se a existência de no máximo r vetores de co-integração contra a hipótese alternativa de que existem mais de r vetores de co-integração, isto é $H_0(r) : \text{rk}(\Pi) = r$; $H_1(0) : \text{rk}(\Pi) > r$, com r máximo = k . O teste então é realizado sucessivas vezes, e o posto da matriz é determinado quando a hipótese nula não pode ser rejeitada pela primeira vez. Se $H_0(r=0)$ não puder ser rejeitada, então não há co-integração entre as variáveis. No caso do teste de máximo autovalor, a hipótese nula refere-

²¹ A partir deste procedimento, obtem-se estimadores de máxima verossimilhança para os parâmetros do modelo VCE. Ordenando-se os autovalores $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_k$ e definindo-se a matriz de autovalores $B = [b_1, \dots, b_k]$ que satisfaça $\lambda_i S_{11} b_i = S'_{01} S^{-1}_{00} S_{01} b_i$ e normalizado de tal modo que $B' S_{11} B = I_k$, os estimadores de β e α são dados por $\hat{\beta} = [b_1, \dots, b_r]$ e $\hat{\alpha} = S_{01} \hat{\beta} (\hat{\beta}' S_{11} \hat{\beta})^{-1}$. E os estimadores dos parâmetros de curto prazo são

dados por: $\hat{\Gamma} = \left(\sum_{t=1}^T (\Delta x_t - \hat{\alpha} \hat{\beta}' x_{t-1}) \right) \left(\sum_{t=1}^T \Delta x_{t-1} \Delta x'_{t-1} \right)^{-1}$. Os estimadores assim obtidos, baseados em

pressupostos de normalidade dos dados, são consistentes e assintoticamente normais. Dessa maneira estatísticas t podem ser obtidas e interpretadas da maneira usual sobre a significância dos parâmetros estimados Kratzig e Lutkepohl (2004).

se a existência de r vetores de co-integração contra a hipótese alternativa de que existem $r+1$ vetores. O mesmo procedimento sequencial é adotado. Ambos os testes apresentam limites de distribuições (*limiting distributions*) bem definidas porém não padrão. Os valores críticos dependem da diferença $(K-r_0)$ e dos termos determinísticos incluídos no modelo (tendências lineares, constantes e variáveis dummies)²² (Lutkepohl, 2004).

Com base nos parâmetros estimados a partir desta metodologia, podem-se realizar testes de hipótese sobre os parâmetros estimados no vetor de co-integração β , nos parâmetros de ajuste a variações de longo prazo (vetor α) e os parâmetros da dinâmica de curto prazo. Em particular, no caso dos valores dos parâmetros de a , testar a hipótese de que $\alpha_i = 0$, corresponde ao teste de exogeneidade fraca de uma das variáveis em relação a relação de co-integração. Segundo Lutkepohl (2004) esta metodologia apresenta vantagens sobre outros tipos de testes de co-integração multivariados mesmo quando o processo gerador dos dados não é gaussiano, pois as estatísticas da razão de verossimilhança mantêm suas distribuições derivadas das hipóteses gaussianas.

As técnicas de co-integração têm avançado a partir deste arcabouço básico de modo a permitir maior capacidade de identificação de diferentes fenômenos que influenciem o comportamento das séries. Dentre as evoluções recentes desta técnica²³, cabe mencionar a possibilidade de identificação de uma ruptura estrutural na relação de longo prazo.

Saikkonen e Lutkepohl (apud Lutkepohl e Krazig, 2004) apresentam um teste de co-integração que permite a identificar uma possível co-integração entre duas ou mais séries

²² Os testes de Johansen são bem documentados em livros sobre o tema e em literatura. Os valores críticos foram computados em Johansen (1995). Sobre a inclusão de termos determinísticos e a realização dos testes de cointegração, e para uma visão mais aprofundada sobre os testes. Ver por exemplo em Kratzig e Lutkepohl (2004) e Johansen (2004).

²³ Veja para isso, Johansen (2004).

temporais na presença de mudança estrutural dos dados, através da inclusão de uma variável *dummy*. A não inclusão de uma variável que capte este tipo de fenômeno, quando ele, ocorre pode levar a rejeição da hipótese de co-integração, quando na verdade o que ocorre é uma mudança de nível nas variáveis analisadas. A distribuição limite das estatísticas de teste permanece inalterada com esta inclusão. Para isto, considera-se o seguinte modelo: $y_t = \mu_0 + \mu_1 t + \delta d_{t,\tau} + x_t$, onde δ é um vetor ($K \times 1$) e $d_{t,\tau}$ é uma variável *dummy* definida como:

$$d_{t,\tau} = \begin{cases} 0, & t < \tau \\ 1, & t \geq \tau \end{cases}$$

Assim, o processo y_t tem a seguinte representação:

$$\Delta y_t = \nu + \Pi^{\text{shift}} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ t-1 \\ d_{t-1,\tau} \end{bmatrix} + \sum_{j=1}^{p-1} \Gamma_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta d_{t-j,\tau} + u_t ; \text{ onde } \nu = -\Pi \mu_0 + (I_k - \Gamma_1 - \dots - \Gamma_{p-1}) \mu_1$$

$\Pi^{\text{shift}} = \alpha [\beta' : \eta : \theta]$ é um vetor ($k \times (k+2)$) de posto r , $\eta = -\beta' \mu_1$, $\theta = -\beta' \delta$; $\Delta d_{t-j,\tau} = 1$ em $t = \tau + j$ e 0 em todos os outros t ; e $\gamma_j = \begin{cases} \delta, & j = 0 \\ -\Gamma_j \delta, & j = 1, \dots, p-1 \end{cases}$.

Assim, para uma dada data de mudança de nível t , os vetores de parâmetros μ_0 , μ_1 e δ são estimados a partir do modelo $y_t = \mu_0 + \mu_1 t + \delta d_{t,\tau} + x_t$. Com base nestas estimativas, y_t é ajustado de modo a obter $\hat{x}_t = y_t - \hat{\mu}_0 - \hat{\mu}_1 t - \hat{\delta} d_{t,\tau}$. Assim $\hat{x}_t$ é usado para o cálculo da estatística de teste com base na estimação de posto reduzido do modelo. (Lutkepohl, 2004).

Uma vez identificada e estimada uma relação de co-integração, interpretada como uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis analisadas, cabe verificar se esta relação é estável ao longo do período analisado. Um teste proposto com este fim é o chamado teste dos autovalores recursivos (*recursive eigenvalues*) (Hansen e Johansen, 1999 apud Helmut e Lütkepohl, 2004) que é representado da seguinte maneira:

$$\xi^\tau = \ln\left(\frac{\lambda_i^\tau}{1-\lambda_i^\tau}\right) \text{ e } \Gamma(\xi_i^\tau) = \frac{\tau}{T} \left| \frac{(\xi_i^\tau - \xi_i^T)}{\hat{\sigma}_{ii}} \right|,$$

onde λ_i^τ é o i -ésimo maior autovalor baseado nos momentos amostrais das τ observações.

Assim, $\Gamma(\xi_i^\tau)$ compara o i -ésimo autovalor obtido da amostra total à aquele estimado com base nas τ observações. A estabilidade dos parâmetros da relação de co-integração é rejeitada se a diferença entre o valor dos autovalores baseados nas sub-amostras e da amostra total $\Gamma(\xi_i^\tau)$ supere um determinado valor crítico.

Quadro 2.2-1 – Teste de Causalidade de Granger

No estudo das relações entre duas variáveis econômicas, uma questão central refere-se a existência de uma relação causal entre as mesmas. Existem diversos exemplos em que duas ou mais variáveis apresentam uma evolução correlacionada, mas que não necessariamente exista uma relação de causalidade entre as mesmas. Com o objetivo de responder a esta questão, Granger (1969) propôs um conceito de causalidade, conhecido como "*Causalidade de Granger*", ou causalidade no sentido de Granger, que é baseado na noção de precedência: se uma variável y "causa" uma outra variável x, a variável y deve preceder a variável x e, portanto, deve ajudar a prever o valor desta variável y. Se a previsão dos valores de x melhora ao incluir valor passados da variável y, então se pode dizer que a variável x "causa no sentido de Granger" a variável y. Formalmente:

"y fails to Granger cause x if for $s > 0$ the mean squared error (MSE) of a forecast of x_{t+s} based on $(x_t, x_{t-1}, \dots)$ is the same as the MSE of a forecast of x_{t+s} that uses both $(x_t, x_{t-1}, \dots)$ and $(y_t, y_{t-1}, \dots)$ " Hamilton (1994).

Vale lembrar que esta noção não exclui a possibilidade de uma causalidade nos dois sentidos, isto é, pode acontecer de y causar no sentido de Granger x e x causar y no sentido de Granger. Nesses casos, é possível que exista uma terceira variável z que influencie ambas as variáveis x e y.¹

O teste de causalidade de Granger é realizado a partir de um modelo vetorial autoregressivo (VAR) de ordem p entre as variáveis x and y, com base no qual se realiza o seguinte teste de hipótese:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_p = 0$$

Uma das formas de realizar este teste é comparar a Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQR) da regressão em 1 e a SQR de um AR (p) de cada variável isolada. A estatística resultante segue uma distribuição F.

Na presença de cointegração, a causalidade de Granger pode ser investigada no âmbito de um modelo VECM. No caso bivariado, um modelo VECM pode ser escrito da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \Delta y_t \\ \Delta x_t \end{bmatrix} = \alpha\beta' \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ x_{t-1} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{p-1} \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-i} \\ x_{t-i} \end{bmatrix} + u_t$$

Segundo Lutkepohl e Kratzig (2003), para analisar a existência de causalidade de Granger entre as variáveis há que se testar se a parte superior direita da matriz de cointegração $\alpha\beta'$ é nulo e se $\gamma_{12.i} = 0$ ($i=1, \dots, p-1$). Ainda segundo os autores, como o posto da matriz de cointegração é igual a 1, existe pelo menos um senso na relação de causalidade.

Quadro 2.2-2 – Teste de Causalidade de Granger (cont)

Segundo Simon (1999) uma variável é dita fracamente exógena se ela pode ser tomada como fixa e dada, ou seja, a equação dinâmica desta variável não será influenciada pelo termo de correção de erro. Em outras palavras, se a parte superior direita da matriz de cointegração $\alpha\beta'$ é nula, o termo y será fracamente exógeno em relação a x . Este tipo de relação permite a utilização da variável Y diferenciada em t como explicativa das outras variáveis do sistema. Por outro lado, esta variável pode ser fracamente exógena e ainda sim ser influenciada por outras variáveis. Uma variável será fortemente exógena se além disso $\gamma_{12,i} = 0$ ($i=1, \dots, p-1$).

O conceito de causalidade de granger recebeu várias críticas do meio acadêmico, principalmente pois a hipótese nula do teste é uma condição necessária para a definição de uma relação de causalidade mas não uma condição suficiente. O presente estudo considera, a exemplo dos argumentos apresentados em Hamilton (1994), que a causalidade de granger é uma ferramenta útil para o estudo destas relações e é percebida como um passo fundamental para a identificação de relações de longo prazo

2.2.2 Análise da Integração de mercados

Existem duas formas de aplicação padrão da análise de séries temporais ao problema de integração de mercados. A primeira consiste no que Taylor (2001) define como “modelo básico” de convergência de preços usado na literatura sobre lei do preço único. Esta forma de aplicação se baseia na idéia fundamental de que diferenciais de preços do mesmo bem em diferentes localidades não devem persistir no longo prazo. Em outras palavras, se p_A e p_B são dois processos $I(1)$ representando os preços do mesmo bem em duas localidades A e B representados em uma mesma moeda, o diferencial de preços entre estas localidades é estacionário, se e somente se as duas localidades compõem um mesmo mercado integrado. Em outras palavras, seja: $x_t = \ln p_t^A - \ln p_t^B$ e x_t é $I(0)$ então A e B são mercados integrados.

Assim, uma vez identificada a hipótese de estacionaridade deste diferencial, o foco da análise é o padrão de ajuste em relação a esta condição de equilíbrio. Isto é feito a partir da estimação de um modelo autoregressivo de primeira ordem AR(1) em x_t da forma mais simples: $x_t = \rho x_{t-1} + \varepsilon_t$ em que:

ε_t é $N(0, \sigma^2)$, $0 < \rho < 1$ é a velocidade de convergência e $H = \ln 0,5 / \ln \rho$ é a meia vida dos desvios em relação ao diferencial de equilíbrio de longo prazo, ou seja, o tempo necessário para que 50% do desvio em relação ao diferencial de equilíbrio seja eliminado. Segundo Taylor (2001) existe um grande debate acerca das velocidades de ajuste e a existência de uma relação de equilíbrio. A pergunta que é colocada na literatura dedicada a análise da lei do preço único é a de que a existência de um diferencial estacionário de preços por si só não garantiria a validade da lei se a convergência a este diferencial é lenta. Caso o foco da análise esteja em analisar não somente o padrão de convergência ao equilíbrio, mas também a investigação de outras propriedades deste equilíbrio, a literatura tem recorrido a estimação de modelos de correção de erro, baseados na metodologia de Johansen (1995). Desta forma a relação de longo prazo a ser estimada seguiria a forma da lei do preço único descrita por Asche et al (2000) do tipo:

$$\ln p_{1t} = \alpha + \beta \ln p_{2t} + \varepsilon_t$$

Conforme ressaltado por Bernard et al (2005) a metodologia baseada em um modelo autoregressivo de primeira ordem assume implicitamente as restrições mais fortes da lei do preço único, quais sejam $\alpha = 0$ e $\beta = 1$. O que representaria ausência de custos de transportes e perfeita substituição entre os bens. Alguns autores adotam uma especificação do diferencial de preços de modo a incluir uma constante no modelo AR(1) porém como se viu anteriormente, não se pode fazer inferência a respeito destes valores estimados com

base no método dos mínimos quadrados ordinários. A estimação de uma relação de co-integração e um modelo de correção de erro, ao contrário, permite a verificação destas hipóteses relativas aos parâmetros da relação de longo prazo, bem como de outras questões relativas, por exemplo, a estabilidade desta relação.

Além disso, como o modelo inclui uma parcela dedicada à análise da dinâmica de curto prazo, é possível também a estimação da dinâmica de ajuste em relação ao equilíbrio, através da estimação de funções impulso-respostas (FIR). Este tipo de função é usualmente usada para estudar as relações entre variáveis em um modelo dinâmico como um modelo vetorial de correção de erro (MVCE) ou um modelo vetorial autoregressivo (MVA), onde os resíduos ε_t são considerados os erros de previsão associados a um modelo vetorial. Em outras palavras, o objetivo é o de analisar o efeito de um choque aleatório em uma variável sobre as outras analisadas.

A derivação de uma função impulso resposta parte da possibilidade de escrever um VAR em sua forma de médias móveis (representação de Wold), do tipo:

$$y_t = \Phi_0 u_t + \Phi_1 u_{t-1} + \Phi_2 u_{t-2} + \dots \text{ onde } \Phi_0 = I_k \text{ e } \Phi_s = \sum \Phi_{s-j} A_j$$

O (i, j) ésimos elementos da matriz Φ_s visto como uma função de s , traça a resposta esperada $y_{i, t+s}$ a uma variação em $y_{j,t}$, mantendo constante todos os outros valores de y_t . Assume-se ainda que u_t é um vetor de processos ruídos brancos com média zero e matriz de covariância Σ_u . Dado que a mudança em $y_{i,t}$ é mensurada por u_{it} os elementos de F_s representam as funções impulso resposta dos componentes de y_t com relação a u_t . Se y_t são $I(0)$, então $\Phi_s \rightarrow 0$ quando $s \rightarrow \infty$. Neste caso, o efeito de impulso (um choque aleatório) em uma das variáveis é apenas transitório. Se o y_t for um processo $I(1)$, com variáveis co-integradas, as funções Φ_s podem ser computadas, por exemplo ao escrever um modelo

vetorial de correção de erro como um modelo vetorial autoregressivo em nível. Porém, neste caso Φ_s não converge a 0 quando $s \rightarrow \infty$, isto é, alguns choques terão efeitos permanentes²⁴.

A metodologia sobre integração de mercados tem buscado responder a crítica sobre a linearidade dos métodos descritos até então. Taylor (2001) ressalta que este tipo de especificação linear (seja em relação ao modelo AR, ou do tipo VCE) assume que a reversão a zero ocorrerá a mesma taxa independente da distância que o processo esteja do ponto de equilíbrio. Além disso, conforme ressalta Balke e Fomby (1997) os modelos VCE assumem que o ajuste em relação ao equilíbrio se dá em todo o momento t . Porém, a presença de custos de transação, aversão ao risco, custos fixos no ajuste dos indivíduos pode levar a existência de uma “banda de inação”, ou bandas neutras, na qual, mesmo na presença de uma defasagem positiva de preços, o movimento de convergência não é ativado. Apenas quando a distância em relação ao ponto de equilíbrio excede um determinado patamar mínimo é que as forças econômicas passam a atuar. Com relação à análise da integração de mercados, divergências com relação à velocidade de ajuste em relação ao equilíbrio de longo prazo, podem ser motivados pelo fato de não ser considerar explicitamente a presença destas bandas (Taylor (2001), e Goodwin e Pigot (2001), Lo e Zivot (2003)). Dessa maneira, uma crescente literatura se desenvolve com base na construção e aplicação de modelos não lineares.

²⁴ A identificação dos efeitos marginais de uma mudança em um componente de u_t sobre o sistema pode não refletir as respostas corretas das variáveis, pois uma mudança isolada em um componente de u_t muito provavelmente estará correlacionada com outro componente de erro. Assim, antes da derivação de FIR deve-se obter primeiramente choques ortogonais (ou não correlacionados). O método usual é a chamada decomposição de Cholesky, porém este método tem sido criticado, pois implicitamente assume uma relação entre as variáveis sem fundamentos teóricos, cujos resultados dependem da ordenação das variáveis no modelo. Esta crítica suscitou o desenvolvimento de modelos estruturais que buscam suporte teórico para a construção destas funções. Para maiores detalhes de esta discussão ver, por exemplo, Breitung et al (2004)

De acordo com Johansen (2004) existem inúmeras formas de se resolver a questão da não linearidade. Porém, o modelo não linear que se adequa a formação de uma banda de inação tende a ser o modelo do tipo threshold autoregressivo (TAR). A não linearidade do modelo está no ajuste ao equilíbrio. Seguindo a formulação mais simples dos modelos TAR (Balke e Fomby, 1997), tem-se que:

$z_t = x_{1t} - bx_{2t}$ com $z_t = \rho^i z_{t-1} + \varepsilon_t$, onde z_t representa o desvio em relação ao equilíbrio de longo prazo e $[1,b]$ é o vetor de co-integração e ε_t , é iid. A distinção desta especificação em relação ao modelo de Engle e Granger (1987) se refere a possibilidade de ajuste não linear em função de ρ . Este parâmetro assume os seguinte valores:

$$\begin{aligned}\rho &= 1 \text{ se } |z_{t-1}| \leq \theta; \\ &= \rho \text{ se } |z_{t-1}| > \theta;\end{aligned}$$

onde θ representa um patamar mínimo para os desvios da relação de co-integração (Balke e Fomby, 1997). Segundo Johansen (2004), a linha de pesquisa voltada ao desenvolvimento dos testes e da abordagem de co-integração não linear é uma das mais promissoras, mas se encontra ainda em estágio inicial. Como são possíveis inúmeras formas de não linearidade, não existe ainda um resultado geral sobre as propriedades da inferência acerca de b .

2.3 Análise da Integração de Mercados Energéticos

Na literatura de economia da energia, a integração de mercados também tem sido bastante investigada, sobretudo na dimensão geográfica. Os trabalhos empíricos aplicam

testes de co-integração e/ou testes de estacionaridade sobre os diferenciais de preços, como metodologia padrão. Os trabalhos diferem em função do mercado energético estudado (eletricidade, petróleo, ou gás natural), da abrangência geográfica (regiões de um mesmo país, ou entre diferentes países) e do período de análise e frequência dos dados. Dentre os trabalhos realizados neste campo, vale mencionar os trabalhos realizados por Spiller e Huang (1986) sobre a integração do mercado atacadista de gasolina nos EUA, os trabalhos de Weiner (1991) e Gülen (1999) sobre a integração do mercado internacional de petróleo, Hendry e Juselius (2000 e 2001) sobre a integração de mercados regionais de gasolina nos EUA; Asche et al (2000) sobre integração do mercado europeu de gás natural, Cuddington e Wang (2006) sobre a integração do mercado americano de gás Natural, Siliverstov et al (2005) investigam a integração entre os mercados norte-americano, europeu e japonês de gás natural e Vasquez (2005) sobre o papel do gás natural liquefeito para a integração de um mercado único de gás natural mundial, De Vanny e Walls (1999) analisam a integração dos mercados spots regionais de eletricidade nos EUA. Todos estes trabalhos empregam a metodologia de co-integração entre preços em diferentes mercados regionais como forma de identificar a integração entre os mesmos.

A dimensão produto da integração de mercados é menos estudada. Exemplos de trabalho nesta linha são os artigos de Asche et al (1999 e 1997), em que são analisadas as relações entre os mercados de salmão e de carnes. Na literatura em economia da energia, Panagiotidis e Rutledge (2007) analisam a relação entre os preços do gás natural e do petróleo Brent no mercado britânico, com o objetivo de testar a integração entre estes mercados. Em particular analisam as relações de preços entre os mercados de gás natural e petróleo no Reino Unido, com vistas a analisar a existência de um movimento conjunto dos

preços destes dois bens, e em caso afirmativo, se isto seria decorrência de formas de precificação dos contratos de gás natural, que seriam atrelados aos preços do petróleo em mercados não liberalizados ou se decorrem da competição inter-energética nos mercados de energia elétrica. Os autores realizam uma revisão bibliográfica da literatura de análise da integração de mercados energéticos, baseados nas forças de arbitragem e substituição inter-energéticos. Dentre os trabalhos mencionados pelos autores cabe lembrar Serletis e Herbert (1999 apud Panagiotidis e Rutledge, 2007) que testaram a existência de uma relação de longo prazo entre o preço do gás natural e do óleo combustível. A existência de co-integração entre os dados levou-os a concluir pela existência de arbitragem efetiva entre estes mercados.

A relação entre os mercados de gasolina e álcool é um tema ainda pouco explorado na literatura sobre integração de mercados. No que concerne a literatura internacional, como ressalta Bacchi (2005) os estudos sobre álcool combustível têm, sobretudo focado a questão dos impactos ambientais no seu uso e aspectos econômicos relativos aos custos de produção. Uma importante exceção a este respeito refere-se ao trabalho de Elobeid e Tokgoz (2006) que analisam as inter-relações entre os mercados agrícola e energético a partir da produção de etanol. Os autores desenvolvem um modelo com o fim de analisar o impacto de choques de preços nos três mercados críticos para o etanol: a gasolina, o milho e o açúcar. Embora analisem os impactos de choques de preços sobre os mercados norte americano e brasileiros destes quatro bens, o enfoque da análise não é a de testar hipóteses de integração de mercados a partir de séries temporais mas de examinar os possíveis efeitos

de um choque a partir de um modelo de equações simultâneas²⁵. No que diz respeito a literatura nacional, a introdução dos veículos *flex* suscitou uma série de estudos sobre o impacto destes veículos no aumento da elasticidade-preço e renda da demanda por combustíveis. Silvério (2007) apresenta uma revisão bibliográfica sobre estes trabalhos. Em geral, os estudos econométricos realizados confirmam a intuição de que a difusão destes veículos na frota de automóveis tende a aumentar a sensibilidade do consumidor em relação aos preços relativos entre álcool e gasolina no mercado doméstico brasileiro. Os estudos empregam técnicas de co-integração para estimação de modelos de correção do erro, porém não abordam explicitamente a questão da integração de mercados. O mesmo ocorre em outros estudos dedicados ao estudo das interações entre os mercados energético (gasolina e álcool) e o setor agrícola (setor sucroálcooleiro) no Brasil. Dentre os trabalhos realizados com este fim merecem destaque os trabalhos de Marjotta Mastro (2002) e Bacchi (2004).

O trabalho de Marjotta Mastro (2002) tem por fim analisar os ajustes de preços e quantidades ocorridos no mercado de combustível no centro sul, no período entre 1995 e 2000. Neste período, tanto os preços do álcool anidro, quanto os preços da gasolina ao consumidor ainda se encontravam em processo de desregulamentação. Já Bacchi (2004) se baseia em um modelo teórico sobre as interações do setor sucroálcooleiro e do setor de gasolina na região centro sul do país, conforme o que foi desenvolvido por Barros (1990). A partir deste modelo, em que os preços se ajustam por excesso de demanda, a autora estima um VAR estrutural para analisar as inter-relações entre os setores analisados. O período de análise considerado compreende os meses de julho de 2001 a agosto de 2004.

²⁵ Os autores ressaltam que um dos pontos fracos da análise empreendida é a ausência de séries de dados históricos para todas as variáveis levadas em consideração necessárias para estimar o modelo. Como se trata de um assunto relativamente recente, modelos mais complexos tendem a ser penalizados pela pouca disponibilidade de dados.

2.4 Conclusões: Flexibilidade, Substituição e Integração de mercados

Neste capítulo, viu-se que a noção de integração de mercado é definida a partir de seu resultado, isto é, a existência de um co-movimento entre os preços dos bens analisados. E a noção de integração de mercado se apóia na possibilidade de substituição entre os bens e na efetiva arbitragem entre mercados. Foi visto também que a abordagem metodológica tida como padrão em estudos de integração de mercados, é a co-integração, visto que esta técnica leva em consideração as propriedades não estacionárias das séries de preços – objeto dos estudos de integração de mercado – e busca identificar a existência de uma relação de longo prazo entre as variáveis. O desenvolvimento desta técnica permite não somente testar a hipótese de co-integração entre as variáveis de preço, mas também a estimação da relação de longo prazo, a realização de testes de hipótese sobre os parâmetros de longo prazo e de ajuste e testar a estabilidade da relação.

No que concerne à literatura de economia da energia, existe uma série de estudos que aplicaram esta metodologia com o fim de identificar a integração entre diferentes mercados regionais de um energético, ou a integração de diferentes energéticos baseados na substituição entre eles. Este trabalho se pretende uma contribuição a esta crescente literatura sobre integração de mercados. Serão estudadas as diversas dimensões possíveis da integração de mercado a partir da introdução de um novo energético: o etanol, nas suas dimensões geográfica e de produto. Neste último ponto, será estudada a integração entre os mercados de gasolina e etanol, com base na substituição entre estes dois combustíveis.

Além disso, este trabalho buscará identificar integração na dimensão produto pelo lado da oferta, também, uma vez que este produto concorre para outros produtos agrícolas. A idéia é identificar em que medida a presença de flexibilidade produtiva e energética é determinante para a integração destes mercados nas dimensões produto pelo lado da oferta e da demanda. Por fim, em uma abordagem mais ampla buscar-se-á testar a integração entre os mercados energético e agrícola. Esta possibilidade tem sido levantada por trabalhos empíricos sobre a influência do mercado energético sobre o agrícola após a introdução dos biocombustíveis (Schmidhuber, 2007; Kojima e Johnson, 2005), sem ter sido contudo verificada estatisticamente. As bases econômicas e tecnológicas sobre as quais se apóiam estas relações serão tratadas nos próximos capítulos.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÔMICAS DA OFERTA DE ETANOL COMBUSTÍVEL

O objeto de estudo desta tese é o etanol combustível, um combustível produzido principalmente a partir de matérias primas agrícolas e que se constitui num combustível apto a ser usado em motores de ciclo Otto. Como será visto, este combustível é um substituto a gasolina pelo lado da demanda, e um substituto de outras destinações agro-alimentares pelo lado da oferta. Este e o próximo capítulo analisam as relações de substituição do etanol em relação a estes outros bens pelo lado da produção e do consumo, com base nas características técnico-econômicas. Em ambos os capítulos, será ressaltado o papel da flexibilidade, seja como atributo de uma forma particular de produção deste combustível, seja como atributo de uma tecnologia específica de consumo. Este capítulo se concentra no lado da oferta de etanol. O capítulo está estruturado em quatro seções. A primeira se refere às características técnicas da produção de etanol, a segunda se refere a flexibilidade produtiva, a terceira sobre os incentivos fiscais e a quarta e última se refere as barreiras de comércio.

3.1 Características técnico-econômicos da oferta de etanol

Uma das características técnico-econômicas da produção de etanol é a diversidade de tecnologia e de insumos. O etanol pode ser produzido tanto a partir de fontes vegetais quanto por fontes fósseis, como a nafta, o gás natural e o carvão. Esta última possibilidade se dá de modo mais limitado sendo mais comum apenas na Arábia Saudita, que segundo dados da RFA (2007), respondia em 2006 por 0,5% da produção mundial. A produção de etanol também pode se realizar a partir da fermentação de álcool provenientes dos excedentes da produção de vinho. Esta fonte resulta dos excedentes estruturais do mercado de vinho europeu, porém, segundo Steenblik (2007) deve responder por parcelas decrescentes da produção mundial.

Produzido a partir de fontes vegetais, este passa a ser chamado de bioetanol. O princípio básico da produção do etanol é o da fermentação de açúcares, que se encontra sob diferentes formas em diversas fontes vegetais. Desta forma, as tecnologias de produção estarão voltadas para a obtenção de moléculas mais simples de açúcares fermentáveis e podem ser divididas em dois grandes grupos: a primeira e a segunda geração. A tecnologia de primeira geração é o estágio atual das tecnologias de produção, baseada seja no uso de vegetais açucareiros – como a cana de açúcar e a beterraba –, ou amiláceos – cereais ou tubérculos como o milho, o trigo, a batata e a mandioca. A chamada segunda geração se refere à produção de etanol a partir da celulose, sendo usada como base de produção, um amplo leque de vegetais, como por exemplo, as palhas (inclusive a do próprio milho), o eucalipto, os resíduos florestais e o bagaço de cana. Estas tecnologias ainda estão em fase de desenvolvimento industrial. As duas principais fontes de matérias primas para a

produção de etanol são a cana de açúcar – a produção brasileira – e o milho - produção norte-americana. Em 2004, o etanol proveniente de vegetais açucareiros representava 61% da produção mundial (Berg, 2004). Segue abaixo uma breve descrição sobre os processos de produção:

3.1.1 A produção de etanol a partir das plantas açucareiras

A produção de etanol a partir de plantas açucareiras envolve as seguintes etapas: extração do suco, fermentação e destilação. A figura 3.1-1 apresenta um esquema simplificado destas etapas.

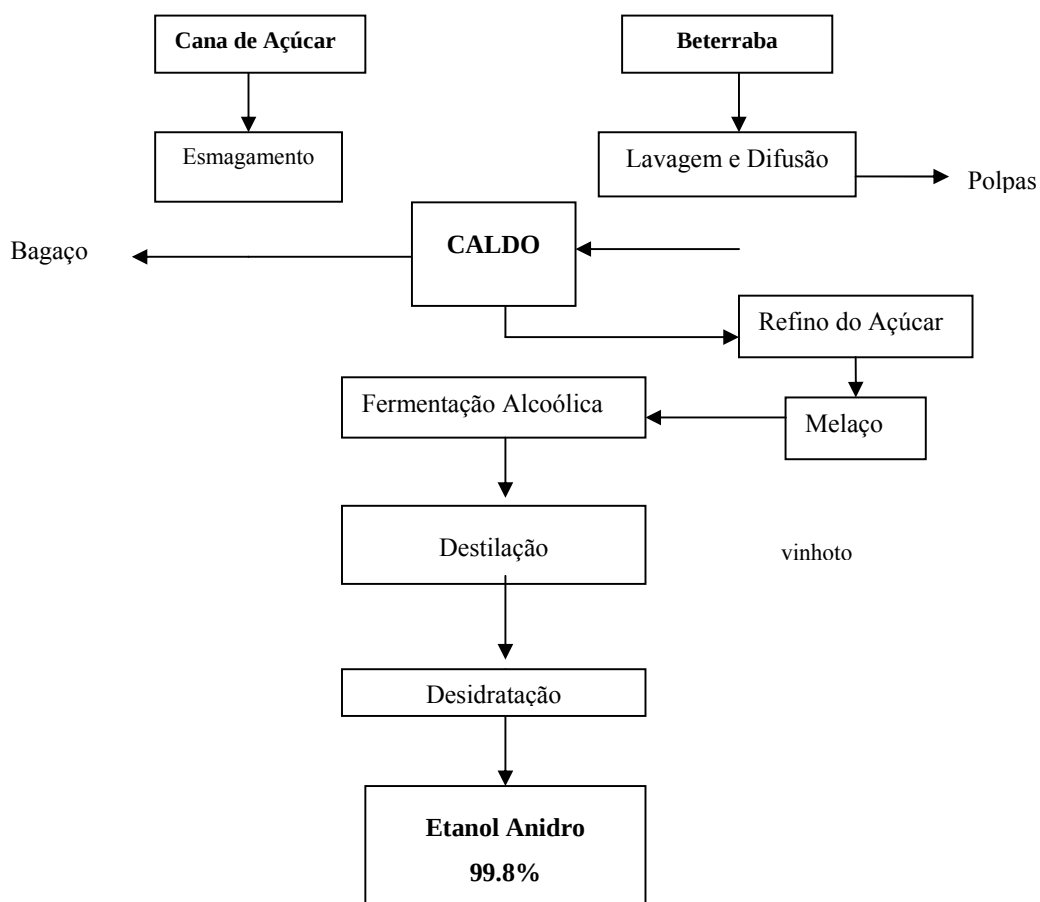
Tabela 3.1-1 - Potencial alcoólico de plantas açucareiras

	rendimento agrícola (t/ha)	teor em açúcar da planta (% massa)	Rendimento em etanol (litros/ t planta)	Rendimento etanol (m ³ / ha)	Rendimento Energetico (TEP / ha)
Beterraba	70-75	15	92	6.5-7.0	3.3-3.5
Cana de Açúcar	80-90	14-15	85	7-8	3.5-4.0
Sorgo	50-60	16	80	4-5	2.0-2.5

Fonte: Ballerini et al (2006)

Grosso modo, os vegetais – a beterraba e a cana de açúcar – são inicialmente lavados para em seguida ocorrer à extração do suco. No caso da cana, o suco é obtido por esmagamento enquanto o suco da beterraba é extraído por difusão a água quente. A fermentação é realizada neste suco (produção direta), e ainda sobre o melaço (produção residual), proveniente do refino do açúcar.

Figura 3.1-1 - Esquema Simplificado de produção de Etanol a partir de plantas açucareiras



Fonte: Adaptado de Ballerini et al (2006)

O resultado desta fermentação é em seguida destilado para a produção de etanol hidratado, que em seguida sofre mais um processo de desidratação. A fabricação de etanol a partir da beterraba tem como subprodutos as polpas, isto é um resíduo sólido obtido após a extração do suco. Uma tonelada de beterraba produz 92 litros de etanol e 54,5 kgs de polpa seca. No caso da cana de açúcar, uma tonelada rende em média 85 litros de etanol, além de produzir 280kgs de bagaço²⁶ e 160 kgs de palha (folhas) atualmente sem uso comercial

²⁶O uso do bagaço para a geração de energia é uma das vantagens da produção de etanol baseada na cana de açúcar. As usinas/destilarias consomem volume significativo de eletricidade (12 kWh/ton de cana

(Almeida et al, 2007). Outro importante subproduto da produção de etanol é o vinhoto, um resíduo ácido, mas rico em sais minerais e matérias orgânicas não fermentáveis. Após a neutralização da acidez, ele pode ser utilizado como aditivo agrícola ou ainda na formulação de ração animal, deste que autorizados, ou utilizados também em formulação de ração animal.

3.1.2 A produção de etanol a partir de plantas amiláceas

Dentre as plantas amiláceas, o milho é aquele que apresenta o maior conteúdo de amido e, portanto o maior potencial na produção de etanol.

Tabela 3.1-2 – Potencial alcoligeno de plantas amilaceas.

	rendimento agricola (t/ha)	teor de amido do grão (% peso)	Rendimento em etanol (l : t de grão)	Rendimento etanol (m ³ / ha)	Rendimento Energetico (TEP / ha)
Trigo	7.2 – 8.3	62-65	370	2.7-3.1	1.4-1.6
Milho	7.2-8.5	72	400	2.9-3.4	1.5-1.7

Fonte: Ballerini et al (2006)

Dois tipos de processo são utilizados atualmente: a moagem úmida e a moagem seca. No primeiro processo, a produção de etanol depende da extração de produtos mais nobres obtidos a partir do milho: primeiro se dá a extração do óleo de milho, das fibras, da proteína ou glúten, todos utilizados na alimentação humana e animal. Dessa maneira, a produção de etanol se faz a partir das partes menos nobres do amido e/ou de excedentes da utilização do amido para outros fins em função da demanda dos mesmos, sendo mais um

processada), energia mecânica (16 kWh/ton) e calor (330 kWh/t). Atualmente as unidades produtivas produzem quase a totalidade de suas necessidade de energia, e em muitos casos são capazes de vender excedentes de energia elétrica (Almeida et al, 2007).

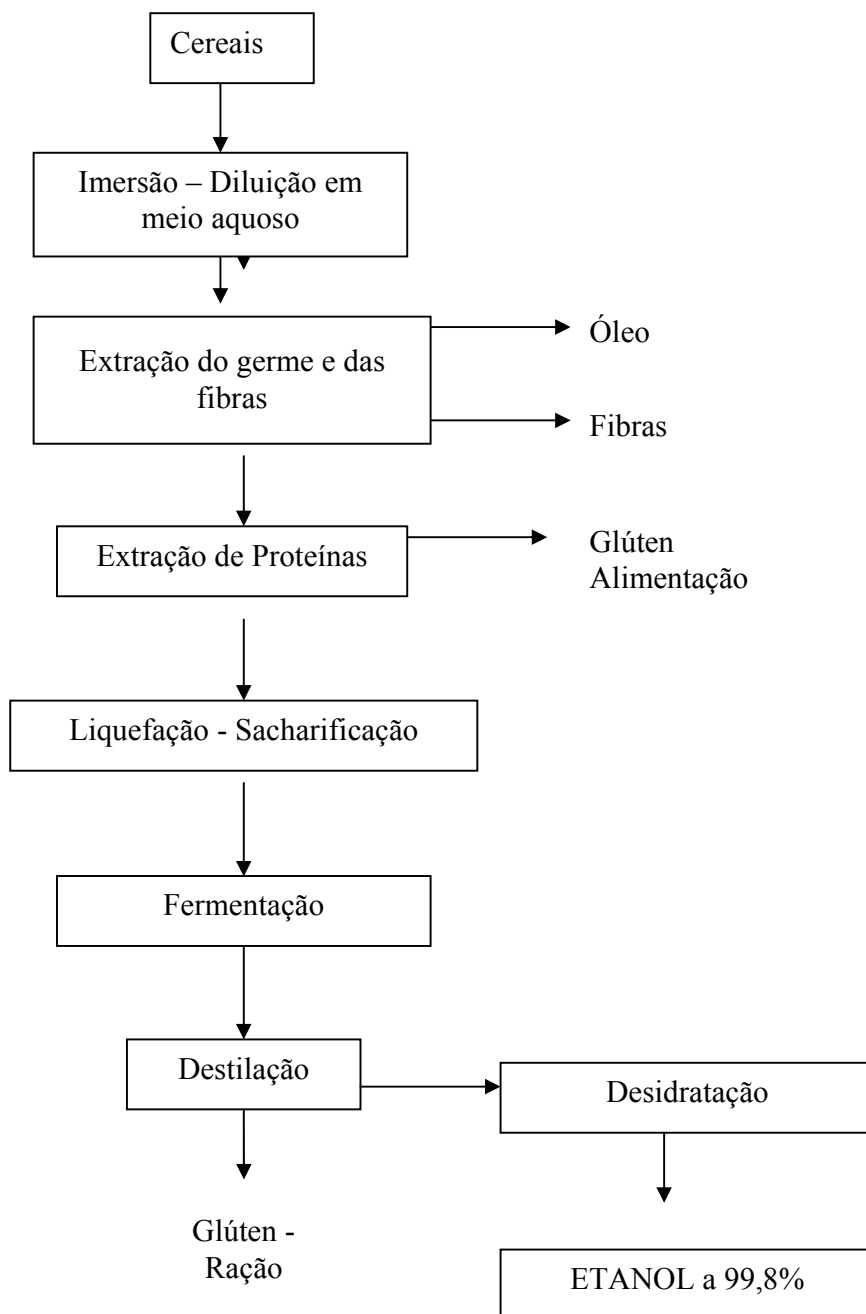
subproduto da agroindústria do milho. Como subproduto da produção de etanol a partir deste processo, ainda se obtém um resíduo protéico, chamado ração milho-glúten, que apesar de menor teor protéico é também utilizada na alimentação animal.

No segundo processo, o grão inteiro é usado para a produção de etanol e como subproduto deste processo são obtidos os DDGS “*Distiller's Dried Grain Solubles*”, que são também utilizados na alimentação animal. O vinhoto é reciclado na etapa de liquefação, enquanto o resto é concentrado. Este concentrado é em seguida re-misturado à fase sólida da centrifugação para ser secado. O DDGS proveniente do milho tem um teor de 30 a 32 % de proteína, enquanto, o DDGS proveniente do trigo tem teor entre 35 e 40%. Neste processo, a fabricação de etanol depende principalmente da demanda pelo etanol e não de seus co-produtos. Uma tonelada de trigo produz 370 litros de etanol e 370 kgs de DDGS. Por seu turno, uma tonelada de milho produz 400 litros de etanol e 320 kgs de DDGS.

Segundo o Banco Mundial (Kojima e Johnston, 2005), as plantas do tipo moagem úmida, são plantas de maior capacidade unitária e mais capital intensivas. Além disso, são plantas que permitem uma certa flexibilidade produtiva entre etanol e xarope de frutose de milho (Citigroup, 2006). Durante os anos 90, os preços baixos e estáveis do etanol levaram as plantas de moagem úmida a alterar o *mix* de produtos e a privilegiar produtos de maior margem unitária como os xaropes de milho ricos em frutose²⁷. Ainda segundo o estudo, a escala mínima eficiente das plantas do tipo moagem úmida é de 380 milhões de litros/ ano. Já as plantas moagem seca, têm escala mínima eficiente entre 115 e 140 milhões de litros, mas as escalas de produção vêm aumentando e algumas chegam a 230 milhões de litros ano.

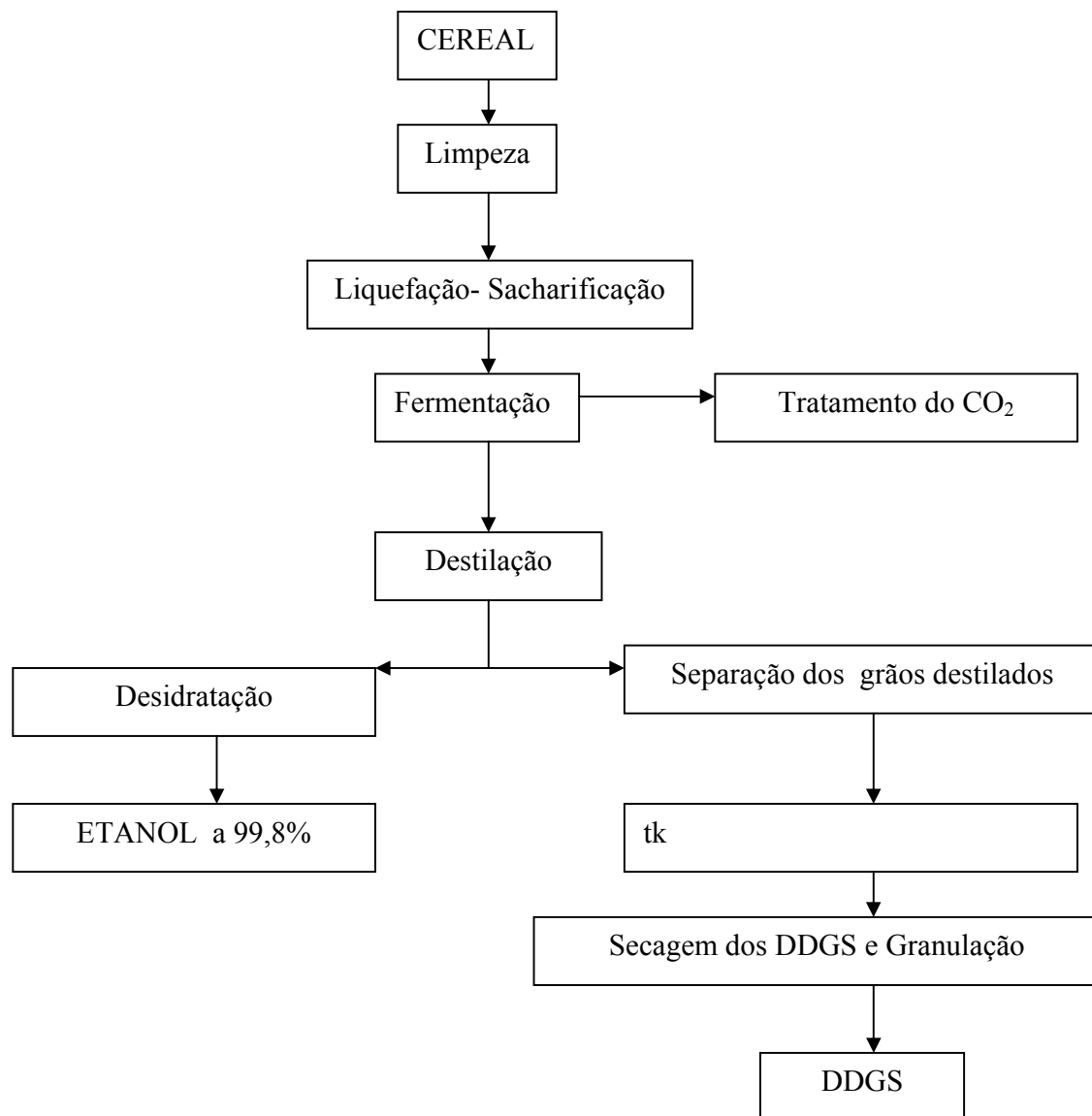
²⁷ Segundo o estudo, esta transição somente foi possível graças a proteção tarifária presente no mercado norte americano, que torna os preços do açúcar mais elevados do que os preços no mercado internacional.

Figura 3.1-2 – Esquema de produção simplificada de Etanol a partir de plantas amiláceas: Processo moagem úmida



Fonte: Adaptado de Ballerini et al (2006)

Figura 3.1-3- Esquema de produção simplificada de Etanol a partir de plantas amilaceas: Processo dry milling



Fonte: Adaptado de Ballerini et al (2006)

3.1.3 A produção de etanol a partir da lignocelulose

Enquanto a produção de etanol a partir dos dois processos acima se baseia em tecnologias relativamente maduras, a produção de etanol a partir da lignocelulose ainda se encontra em fase de desenvolvimento industrial. A biomassa lignocelulósica é o principal componente da parte celular das plantas, que por sua vez é composta por três elementos: a celulose, a hemicelulose e a lignina. Estes três componentes estão intimamente relacionados e formam uma matriz rígida. A proporção destes três elementos em cada célula vegetal, bem como o tipo de interação entre eles varia de planta para planta e do estágio de maturidade de uma mesma planta.

Ballerini et al (2006) afirmam que o desenvolvimento do processo de produção de etanol a partir da celulose parte de alguns pressupostos básicos: i) a biomassa precisa ser pré-tratada, etapa que inclui a limpeza e torna a celulose e a hemicelulose em matérias hidrolisáveis; ii) a lignina não é passível de ser transformada em etanol pela fermentação, mas pode ser utilizada para em processos de cogeração (vapor e eletricidade). Assim, de um modo geral, a produção de etanol compreende as seguintes etapas: i) pré-tratamento da biomassa; ii) hidrólise; iii) fermentação e iv) destilação. As variações na composição da planta influenciam o tipo de processo mais indicado, sobre a eficiência do pré-tratamento, da hidrólise da celulose e da hemicelulose e da natureza dos açúcares fermentáveis²⁸.

Em cada etapa de produção existem atualmente diferentes alternativas. Conforme descrito por Ballerini et al (2006), o pré-tratamento pode ser feito de processos físicos (tratamentos mecânicos e termólise); processos físico-químicos (termo-hidrólise; explosão

²⁸ Uma alternativa tecnológica é a transformação da biomassa em gás de síntese e a posterior produção de etanol a partir da síntese de Fischer Tropsch (EIA, 2007)

a vapor, explosão a vapor em condições ácidas; explosão de amoníaco em alta temperatura); processos químicos (pré-tratamento a ácido diluído, pré-tratamento alcalino, oxidação química, oxidação biológica). Ainda não existe um design dominante, mas, segundo os autores, a termo-hidrólise, o pré-tratamento a ácido diluído e a explosão a vapor são os que se mostram mais atrativos. Já a hidrólise pode ser química ou enzimática. Segundo Faaij (2006) a primeira opção tende a ser cara e pouco eficiente, e, portanto a segunda tende a ser a via de desenvolvimento escolhida, pois as avaliações econômicas tendem a lhe ser mais favoráveis em comparação ao primeiro: gera poucos efluentes, e apresenta oportunidades de melhorias maiores do que a primeira. Ballerini et al (2006). Porém, ainda se trata de um processo oneroso, sobretudo devido ao custo de produção das enzimas. Outro desafio se encontra na etapa de fermentação, no qual o principal refere-se a transformação de pentoses provenientes da hemicelulose, a presença de compostos tóxicos e a possibilidade de realizar a hidrólise enzimática e a fermentação em um mesmo processo.

Dessa forma, a produção a partir da biomassa lignocelulósica apresenta vantagens sobre os processos de produção atuais, pois pode-se utilizar uma maior gama de fontes de biomassa, como por exemplo, resíduos florestais e agrícolas, fontes de maior disponibilidade e baixo custos (Hammelink e Faaij, 2006). Além disso, podem também ser utilizadas culturas perenes que podem ser cultivadas em diferentes condições de terra e clima. Por exigir menor energia para crescer, a produção a partir destes insumos apresenta vantagens do ponto de vista ambiental (melhor balanço completo de emissão de CO₂). Mas sua produção em escala industrial depende, sobretudo, do avanço na área de biotecnologia. Os esforços de P&D se concentram na melhoria do processo, principalmente nas etapas-chaves de hidrólise da celulose em açúcares passíveis de serem fermentados e na conversão

de pentoses provenientes da hemicelulose em etanol. Segundo Hamelinck e Faaij (2006), duas rotas tecnológicas de pesquisa são possíveis: a continuidade na trajetória atual hidrólise-fermentação através da otimização da otimização conjunta utilizando menor número de recipientes e micro-organismos, ou a otimização em separado de cada etapa²⁹.

Com relação aos custos de capital de uma planta a partir de celulose, as estimativas variam de estudo para estudo. Segundo a EIA (2005) os custos de capital para uma planta com capacidade para 50 milhões de galões por ano (189 milhões de litros/ano) seja de US\$ 375 milhões (a dólares de 2005) enquanto para uma planta de mesma capacidade este seria de US\$ 70 milhões para uma planta com base em milho.

3.1.4 Custos de Produção

Existem diversos estudos relativos aos custos de produção de etanol³⁰. Esta variedade de estudos dificulta a comparabilidade entre estes, pois se apóiam em diferentes hipóteses acerca das plantas, escalas e papel do insumo nos custos de produção, além de apresentarem diferentes níveis de profundidade analítica. Apesar desta diversidade, alguns elementos em comuns podem ser apreendidos destes estudos. O primeiro se refere às expectativas de melhorias relativas à primeira geração. De acordo com IEA (2004), a tecnologia convencional de produção de etanol (primeira geração) é uma tecnologia madura e conhecida, não se esperam mudanças radicais em termos de custos, apesar das evoluções

²⁹ Segundo Hammelinck e Faaij (2006) no curto prazo a melhor opção (isto é aquele design tecnológico que apresenta melhor performance econômica) se refere ao pré-tratamento com ácido diluído, produção de enzimas *in situ*, hidrólise enzimática e a fermentação integrada em um único reator, boiler e turbina a vapor. Já no longo prazo (isto é, o *design* que apresenta a melhor performance, mas que ainda depende de desenvolvimentos tecnológicos) a melhor opção se refere ao pré-tratamento com água quente, produção de enzimas, hidrólise e fermentação integrados num único reator e cogeração.

³⁰ Para uma síntese destes estudos e particularmente sobre a competitividade da produção brasileira *vis a vis* a de outros países, ver Almeida et al (2007).

incrementais que podem ser obtidas com aumentos das escalas de produção e otimização de processos. Segundo IEA (2006), espera-se que os custos de produção com base na tecnologia de primeira geração sejam reduzidos em 1/3 até 2030, o que seria decorrente tanto do aumento da escala quanto da redução dos custos de produção das matérias primas. Desta maneira, as expectativas são de que a produção continuará pouco competitiva em relação a produção de gasolina, mesmo no longo prazo, a exceção para o caso do etanol produzido a partir da cana de açúcar no Brasil. O gráfico abaixo apresenta uma comparação dos custos atuais de produção do etanol a partir de diferentes fontes e em diferentes regiões geográficas e as perspectivas de evolução de custos para 2030. O mesmo apresenta uma comparação com os preços da gasolina atuais.

Outro fato importante é o peso da matéria prima utilizada nos custos de produção. Os custos com a matéria prima utilizada respondem pela maior parte dos custos de produção. Segundo dados da FO Licht (2004 apud Almeida et al. (2007)) os custos da matéria prima agrícola (no caso o milho) responde por 64 % dos custos líquidos (isto é, descontadas as receitas com sub-produtos) de produção do etanol nos EUA, no caso da produção na Alemanha este percentual varia de 58% a 67% caso a matéria prima em questão seja o trigo ou o açúcar, respectivamente; e no caso brasileiro ela responde por 68% dos custos de produção.

Pelo peso da matéria prima nos custos de produção pode-se perceber que este é o elemento principal de competitividade da produção do etanol. É exatamente neste ponto que se apresenta uma das vantagens competitivas da produção brasileira de etanol em relação aos outros produtores, outro ponto comum aos diversos estudos. O Brasil é o produtor de cana de açúcar com o menor custo, graças a maior produtividade por hectare e

a não dependência de irrigação. A produtividade da cana de açúcar no estado de São Paulo, o qual é responsável por 60% da produção nacional aumentou de 66 tons por hectare (ton/ha) in 1977 para 80 ton/ha in 2003. A evolução da produtividade média brasileira seguiu a mesma tendência e alcançou 73 ton/há em 2003. Este crescimento está relacionado a liberalização do setor sucroalcooleiro ao longo da década de 90, o qual eliminou do Mercado os produtores menos eficientes.

Sobre a competitividade da produção de etanol no Brasil ela está baseada também em outros dois elementos: qualidade da cana de açúcar e taxa de conversão de açúcar em álcool. A qualidade da cana em termos de percentual de sucrose aumentou de 14% em 1988 para 14,6% em 2003, como resultado de investimentos significativos em pesquisa agrônômica. Com relação ao segundo ponto, em 1975, a produtividade média brasileira era de 2.000 litros/ha de cana. Em 2006, esta produtividade era estimada em 6.000 litros por hectare.

Com relação ao custo da produção brasileira, o dado correntemente aceito para os custos de produção de etanol no Brasil, entre US\$ 0,23/litro e 0,29/ litro, se baseia em um estudo realizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MC&T), o qual estimou o custo médio do etanol em 1990 em US\$ 0,23/litro. Este estudo foi tomado como referência pelo estudo sobre bicomcombustíveis realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2004). Assim, vários estudos sobre o tema apontam para a mesma estimativa, apesar das significativas variações de importantes parâmetros como a taxa de câmbio e custo da cana

de açúcar, e tende a ignorar alguns aspectos importantes, como o custo de oportunidade da cana³¹.

Recentemente, Unicamp (2006) buscou estimar o custo de produção para uma nova planta no Brasil. O estudo leva em consideração os custos de capital e operação para um projeto padrão. Com base nestes dados, pôde-se estimar a qual preço do etanol a produção seria atrativa para novos investidores. Para isto, além de se considerar o custo de capital, levou-se em consideração igualmente o custo de oportunidade da cana. Este segundo ponto tem sido negligenciado nas estimativas de custo de produção, principalmente porque a maior parte das plantas de produção de etanol/açúcar são verticalmente integradas. A possibilidade de direcionamento da cana para a produção de açúcar, a qual pode ser vendida no mercado doméstico ou internacional, influenciará o custo de oportunidade da cana de açúcar para a de produção do etanol, que deverá então ser levado em consideração.

O projeto padrão considerado pela Unicamp (2006) tem os seguintes parâmetros: i) planta de produção de etanol com capacidade de produção de 2 milhões de toneladas de cana de açúcar por ano;; ii) produtividade de 85 litros /por tonelada ano; iii) produção de 40 kWh de eletricidade por tonelada de cana de açúcar. Além disso, foram incluídos na análise: i) o custo de operação e manutenção, estimado pelo Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial)³² em US\$ 0,07/ litro; e os seguintes parâmetros de capital: ii) taxa interna de retorno de 12%; relação dívida/ ações de 50% com 8% de taxa de juros; preço da venda do excedente de eletricidade de US\$57 por MWh. Por último, como aproximação para o

³¹ Macedo e Nogueira (2005) atualizaram o estudo do MC&T e estimaram o custo de produção do etanol na região Centro Sul em \$0,21 por litro. O estudo do Banco Mundial aponta para o custo de produção entre \$0,23-0,29 por litro (Kojima e Johnson, 2006).

³² See <http://www.ideaonline.com.br>

custo de oportunidade da cana foi tomada a média do custo de produção, estimado em US\$ 17,7 por tonelada (tabela 3.1-3).

Tabela 3.1-3 – Parâmetros de um projeto de produção de etanol no Brasil

Produtividade da Cana	71,5 t/ha
Capacidade de processamento	2.000.000 ton/ year
Dias de Colheita	167
Produtividade em Etanol	85 litros/ ton
Produção	170,000 litros/ ano
Excedente de eletricidade	40 kWh/ton
Custos de Investimento	US\$ 97 milhões
Custos de Investimentos para a produção de cana de açúcar	US\$ 36 milhões
Custos de O&M	US\$ 0,07
Custo de oportunidade da cana	US\$ 0,17
Custos de Capital ³³	US\$ 0,13
Custos Totais	US\$ 0,37

Fontes: Unicamp (2006), IDEA (2006) e elaboração própria

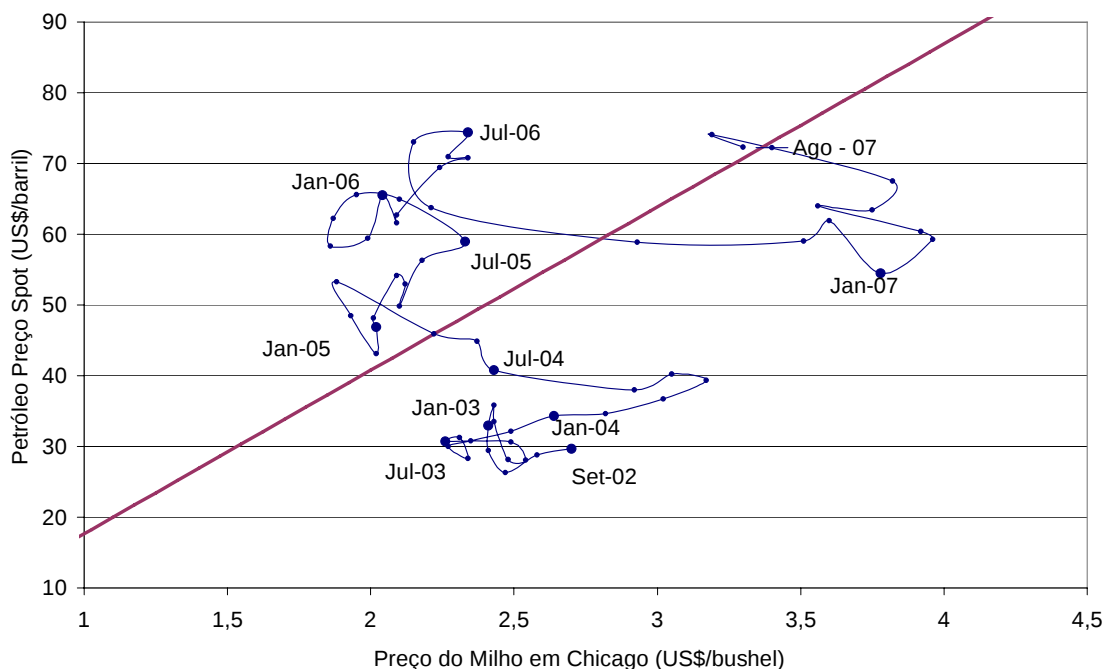
Ao levar todos estes elementos em consideração, o custo de produção de etanol para novas plantas no Brasil será de US\$ 0,37 /litro, o que seria competitivo com o preço do petróleo a US\$ 42/barril sem necessidade de incentivos fiscais.

Diferentes autores estimaram pontos mínimos de preço do petróleo necessários para viabilizar a produção de etanol. De acordo com Bear Sterns (2006) o ponto de paridade da produção do etanol de milho nos EUA seria de US\$ 45 para um preço do milho a US\$ 2,2 por bushel³⁴.

³³ Não inclui custo de aquisição da terra. Assume-se que os produtores, irão alugar ou comprar cana de açúcar de produtores independentes. Nos custos de investimento são considerados o maquinário para plantação e colheita.

³⁴ 1 Bushel corresponde a 35,23 kgs

Gráfico 3.1-1 – Ponto de Paridade da Produção de Etanol a partir do milho: Preços do Petróleo x Preços do Milho (em equivalência energética)*



* Os pontos acima da linha representam os momentos em que o milho se constitui na fonte de combustível mais barata, enquanto aqueles situados abaixo representam os pontos em que o petróleo se constitui na fonte mais barata.

Fonte: Adaptado de OCDE (2007) com base em estimativas de Bear e Sterns (2006) e dados da USDA e EIA.

Com relação ao etanol produzido a partir da celulose, o estágio incipiente da tecnologia leva a maiores incertezas sobre a evolução dos custos de produção. As estimativas realizadas até então apresentam variações bastante. Segundo a IEA (2006), as estimativas de custos atuais estão acima de US\$ 1 / litro de gasolina equivalente e pode cair em 2030 para cerca de US\$ 0,40/litro de gasolina equivalente. Já de acordo com Hammelinck e Faaij (2006), por exemplo, os custos de produção de etanol a partir da biomassa, calculados com base em uma planta de 400 MW de insumo de biomassa a um custo de 3 euros/GJ seria de 22 euros/ GJ produzido. No longo prazo (2030), com o aumento da escala produtiva para 2000 MW de insumo de biomassa e melhoria de processo

produtivo o custo de produção baixaria para um patamar entre 11 e 9 euros/GJ produzido. Caso o custo da biomassa se reduza para 2euros/GJ, o custo final do etanol pode alcançar a faixa dos 6 – 7E/ GJ. Ao comparar com o custo atual de produção do etanol a partir da cana de açúcar no mercado brasileiro (região centro-sul), que ficaria entre 7 e 9 euros/ GJ (transformar para litro), os autores concluem, que mesmo no longo prazo, o custo de produção nesta região pode ser competitiva com a produção a partir da lignocelulose. Cabe ressaltar que as expectativas de redução de custos de produção são baseadas não apenas em desenvolvimentos tecnológicos, mas também na ampliação das escalas produtivas.

Faaij (2006) ressalta que o impulso à pesquisa e desenvolvimento para a resolução dos desafios tecnológicos da segunda geração vem do próprio setor industrial³⁵.

“For the agricultural sector and agro-food industry, this technology is already of interest to boost the competitiveness of existing production facilities (eg converting available crop and process residues) which provides drivers for both industry and agriculture reasons to support this technology” (Faaij, 2006, p. 332)

3.2 A Flexibilidade Produtiva

A flexibilidade na produção de etanol é uma característica particular da produção brasileira de etanol, baseada na cana de açúcar. A tecnologia de moagem úmida também permitia alguma flexibilidade na produção de etanol, mas o contexto da década de 90 nos EUA levou os produtores a reduzir esta capacidade e privilegiar outros subprodutos. No caso da produção brasileira, conforme visto anteriormente, a produção de etanol gera diferentes subprodutos dependendo da tecnologia de produção. Porém, somente no caso brasileiro os produtores podem arbitrar entre a oferta de dois produtos a partir da mesma matéria prima: a cana de açúcar. Juntamente com o baixo custo da produção de cana de

³⁵ Os valores são referentes a Euros de 2003.

açúcar e a utilização do bagaço de cana para a geração de energia elétrica, a flexibilidade produtiva também é um componente da competitividade da produção brasileira em relação a outros países produtores. De acordo com Bacchi e Alves (2004), 73% das unidades produtivas do setor sucroalcooleiro no Brasil são flexíveis, isto é, se constituem em usinas de produção de açúcar com destilarias anexas³⁶.

A flexibilidade produtiva da indústria sucroalcooleira brasileira advém primeiramente do fato de ser o etanol um subproduto da produção de açúcar. A plantação de cana de açúcar voltada à produção de açúcar é das atividades mais antigas no Brasil, datando do período colonial. Além deste aspecto, cabe mencionar que o esmagamento da cana para a produção de açúcar envolve ativos específicos do ponto de vista locacional e temporal (Farina e Zylbertajn, 1998). Com relação ao primeiro elemento, a unidade industrial deve situar-se num raio máximo de 50 km das áreas de suprimento de cana, caso contrário os custos de transporte tornam-se proibitivos. O segundo fator de especificidade se refere à perda de qualidade incorrida pela cana de açúcar, uma vez cortada. Como esta não é estocável, deve ser processada imediatamente. Assim, a flexibilidade produtiva se configura em um colchão que possibilita aos produtores um maior controle no direcionamento no uso da cana³⁷.

Além destes dois condicionantes técnicos, a flexibilidade produtiva foi estimulada também pela atuação governamental nesta indústria. Um dos elementos marcantes da sua evolução histórica se refere às crises de superprodução e intervenções governamentais

³⁶ Souto (2006) apresenta a proporção de 77% para a participação da produção flexível em comparação a autônoma.

³⁷ Cabe ressaltar que a presença de ativos específicos e conflitos entre produtores agrícolas e usineiros levou a integração vertical desta atividade

voltadas ao controle do impacto destas crises sobre a economia brasileira³⁸. A partir da década de 30 do século passado, uma das formas de regular a produção do açúcar e evitar os efeitos da crise de superprodução neste setor, foi o estabelecimento da mistura obrigatória de 5% de etanol na gasolina importada (Dias Leite, 2007). Apesar deste estímulo, a produção de etanol tomava impulsos pontuais em função de crises no setor açucareiro. Até os anos 70, a oferta de álcool combustível foi essencialmente de álcool residual, produzido a partir de destilarias anexas às usinas de açúcar³⁹.

A década de 70 marca o maior impulso a produção de etanol carburante em função de uma dupla conjuntura desfavorável, tanto no setor sucroalcooleiro, quanto no setor de combustíveis. O setor sucroalcooleiro enfrentava uma crise de superprodução derivada dos elevados investimentos realizados na década 60 e da redução do ritmo da demanda, sobretudo no mercado internacional. Os preços no mercado internacional de açúcar começavam a registrar tendência declinante. No setor energético, os choques do petróleo colocam em destaque o peso das importações de petróleo – 80% do consumo interno – no balanço de pagamentos nacional. Desta maneira, o Pró-álcool, programa voltado ao estímulo ao uso de etanol combustível, cumpriria a dupla função de regular o setor sucroalcooleiro⁴⁰ e reduzir as importações de petróleo.

³⁸ Para uma revisão sobre a importância histórica desta atividade na formação econômica do Brasil, ver Furtado (1974) ou Prado Junior (1984), por exemplo.

³⁹ Álcool residual é aquele resultante da fermentação do caldo de cana após a extração dos cristais de açúcar da cana e álcool direto é aquele obtido a partir da fermentação do caldo da cana de açúcar diretamente (Gomensoro, 1985 apud Souza, 2006)

⁴⁰ Como demonstra Souza (2006) a partir da sua revisão bibliográfica sobre o tema, até finais de da década de 70 havia a percepção no interior do setor sucroalcooleiro de que a produção de etanol não poderia afetar a oferta de açúcar ao mercado internacional. As exportações de açúcar começavam a ganhar destaque desde a década de 60 com a saída de Cuba do mercado internacional. Como resultado, esta primeira fase levou a uma expansão dos investimentos e da produção de cana de açúcar.

A primeira fase do pró-álcool, de 1974 a 1979, compreendeu a fase de estímulo a incorporação crescente de etanol anidro na mistura com a gasolina importada, num percentual inicial de 10% até 20% no final do período. Num primeiro momento a produção de etanol anidro foi incrementada a partir da utilização da capacidade ociosa pré-existente nas destilarias anexas (Shikida, 1998 apud Souza 2006). Todavia, como apresenta Souza (2006) em sua revisão bibliográfica sobre o tema, até finais de da década de 70 havia a percepção no interior do setor sucroalcooleiro de que a produção de etanol não poderia afetar a oferta de açúcar ao mercado internacional. As exportações de açúcar começavam a ganhar destaque desde a década de 60 com a saída de Cuba do mercado internacional. Assim, com o fim de garantir a oferta de ambos os produtos, o governo implementou uma política de estímulo a produção a partir principalmente da concessão de financiamento a taxas atrativas para a construção de destilarias anexas às usinas de açúcar já existentes. Outro elemento importante desta política foi o controle de preços, que objetivava a manutenção de uma taxa de retorno do investimento realizado (Bear Sterns, 2006). O resultado foi uma expansão da produção de cana e de álcool anidro.

De acordo com Borges et al (1988 apud Souza (2006)) a produção de etanol anidro ultrapassava a demanda em finais da década de 70. Como forma de resolver os problemas agravados do setor sucroalcooleiro e da segunda crise do petróleo, instaura-se a segunda fase do pró-álcool, com o estímulo ao uso do álcool hidratado. Para isto houve a inclusão de mais um grupo de interesse no âmbito do programa: a indústria automobilística. Esta passou a receber incentivos para a produção de veículos dedicados a etanol hidratado. Pelo lado da oferta, implementa-se incentivos creditícios a construção de destilarias autônomas de álcool que visavam a produção direta do etanol a partir do caldo de cana de maneira a

enxugar o excesso de oferta de cana de açúcar no mercado. Além disso, o preço uniforme do etanol hidratado em todo o território, bem como o estabelecimento de subsídios aos seus preços, viabilizaram a produção de etanol nestas destilarias. Estes instrumentos eram necessários, pois os custos de produção destas superavam o custo de produção das destilarias anexas as quais exploram economias de escopo (Santos, 1993 apud Souza (2006))⁴¹. Também era responsabilidade do governo, através da Petrobrás, o abastecimento do combustível em todo o território nacional.

Porém, em meados da década de 80, a conjuntura econômica desfavorável evidenciou a fragilidade do arranjo implementado no *pró álcool*: flexibilidade produtiva do lado da oferta e rigidez da demanda. A recessão econômica do país nos anos 80 comprometeu a capacidade fiscal do governo em manter a política de subsídios. No front externo, a queda dos preços do petróleo tornava ainda mais complicada a tarefa de manter o álcool hidratado competitivo *vis a vis* gasolina. Ainda com relação ao mercado externo, os preços do açúcar se recuperavam e forneciam o incentivo a maior produção deste produto em detrimento do álcool, cujos preços eram controlados no mercado doméstico em função da inflação. A já mencionada flexibilidade na produção se contrapunha a rigidez da demanda, baseada em veículos dedicados a álcool, que podem ser encarados como ativos específicos. A consequência desta conjuntura foi uma crise de abastecimento de álcool que deixou os consumidores sem alternativa de suprimento. A experiência com a crise de abastecimento tornou os consumidores avessos a carros dedicados a etanol. Além do risco de desabastecimento, os proprietários tiveram que arcar com o custo da desvalorização destes carros no mercado secundário. Dessa maneira, as vendas de veículos dedicados a

⁴¹ O fim dos subsídios e a liberalização do setor sucroalcooleiro ao longo da década de 90 são elementos que ajudam a explicar a predominância das usinas flexíveis em relação às autônomas.

etanol que chegou a 90% dos veículos novos, despencou nos anos 90 para menos de 1% das vendas de veículos novos (ANFAVEA, 2006).

Neste sentido, a flexibilidade produtiva, inicialmente possível em função das características da indústria açucareira, passa a ser estimulada através da política governamental implementada. Aliás, conforme ressalta Ramos (1999 apud Alves, 2005), a intervenção governamental na indústria sucro-álcooleira foi um determinante essencial da sua conformação.

A flexibilidade na produção, porém, não é total, mas ocorre numa certa margem. Como a produção de açúcar, como a produção de álcool é residual, o limite superior de produção de açúcar seria de 75% açúcar e 25% etanol (Almeida e al., 2007). As plantas produtivas em geral são planejadas para um determinado *mix* de produção. Segundo Olivério (2007), em média o intervalo de flexibilidade ótimo seria entre 40% e 60%. Plantas produtivas de etanol podem iniciar a produção como plantas autônomas e posteriormente adicionar a unidade de produção de açúcar, desde que esta tenha sido pensada no projeto original. Além disso, em função da especificidade temporal do esmagamento da cana, esta flexibilidade tende a se dar na margem. No início do período da colheita a maior parte das usinas tende a produzir mais etanol do que açúcar. Isto porque os preços destes produtos tendem a ser elevados no início da safra elevados pela redução dos estoques da entressafra, além disso, a cana que amadurece inicialmente é mais tende a ser mais adequada a produção de etanol do que de açúcar. Quando o fluxo de cana de açúcar para as usinas atinge o seu pico, é o momento em que as usinas tendem a produzir 50% de cada produto. Somente nos últimos meses de colheita, quando o fluxo tende a arrefecer os produtores podem efetivamente arbitrar entre a produção de um produto em detrimento do

outro, em função das condições efetivas e esperadas dos preços relativos⁴² (F.O Licht, 2006 apud Schmidhuber 2007)

3.3 A intervenção Governamental: os incentivos fiscais e as barreiras de comércio

3.3.1 Incentivos fiscais

O etanol tem sido passível de políticas de isenções parciais ou totais de impostos. Kojima e Johnston (2005) abordam a racionalidade econômica subjacente às isenções fiscais para o estímulo ao uso do etanol. Os impostos específicos cobrados sobre os combustíveis automotivos têm as seguintes finalidades: i) promover o uso eficiente dos combustíveis, ii) financiar a manutenção das rodovias, iii) evitar congestionamento de tráfego, iv) aumentar as receitas do estado e v) internalizar os custos sociais da maior poluição ambiental. Os autores ressaltam que o etanol – assim como outros biocombustíveis – não diferem em nada em relação aos combustíveis tradicionais no que tange às quatro primeiras justificativas para a taxação de combustíveis. Com relação ao quinto elemento, os autores ressaltam que a taxação de combustíveis pode ser um elemento para capturar o efeito da externalidade negativa promovida pela poluição ambiental, que não é aplicada. Bastaria para isso, determinar o seu valor. Em teoria, ela deveria igualar-se ao custo marginal do dano ambiental provocado pelo uso do combustível. Assim, uma vez

⁴² Em tese, a produção de cana de açúcar no Brasil se dá em quase todo o território nacional, que em função das características produtivas é dividido entre região Centro Sul e Região Norte-Nordeste. Isto se constituiria numa vantagem, uma vez que há complementaridade entre os períodos de colheitas nas duas regiões: na primeira este se dá entre os meses de abril a dezembro e na segunda, vai de outubro a março (Alves, 2005) Porém o fato de a produção estar concentrada em mais de 80% na região centro sul inviabiliza esta possibilidade.

estimado o custo do dano ambiental marginal provocado pelo uso da gasolina, caso se conclua que o etanol contribui para redução de, por exemplo, 50% deste dano, esta deveria ser a diferença no valor da taxa, relativo as externalidades ambientais. Em outras palavras, caso se conclua que a gasolina deva ser taxada adicionalmente em US\$ 0,04/litro pelo seu impacto ambiental, o etanol deveria sê-lo em US\$ 0,02/litro⁴³.

Dessa maneira, não existiriam razões econômicas para abater totalmente o imposto específico sobre o etanol. Uma razão econômica que poderia contrabalancear estes argumentos seria a possibilidade de superação do chamado *lock in* tecnológico no segmento de combustíveis. Na verdade, a isenção serviria para ultrapassar a barreira relativa a preferência dos consumidores. Porém, esta justificativa somente é plausível para o curto prazo.

Apesar desta ressalva, diversos países implementam isenções fiscais sobre o etanol, e em alguns casos por longa data. No caso americano, a isenção do imposto específico representa US\$ 0,11 / litro de etanol (ou US\$ 0,01 / litro de E10), e tem a forma de créditos fiscais para aqueles que misturam o biocombustível a gasolina, em qualquer proporção⁴⁴. Um crédito adicional de US\$ 0,026/litro é concedido caso a produção por plantas de pequeno a médio porte (até 226 milhões de litros ano) para os primeiros 56 milhões de litros produzidos (Steeblinck, 2007). Segundo Kojima e Johnston (2005) outros 16 estados também aplicam isenções fiscais totais ou parciais. As isenções adicionais giram em torno

⁴³ Cabe ressaltar que a taxa por cada litro vendido de etanol deve ser ajustada com relação ao conteúdo energético em relação a gasolina.

⁴⁴ Até 2005 o VEETC (Volumetric Ethanol Excise Tax Credit) era concedido para misturas em proporções de 5, 7,7 e 10% de etanol na gasolina.

de US\$ 0,053/l condicionais a compra de etanol produzido no estado (como por exemplo, no estado de Minnesota)⁴⁵.

O Canadá anunciou um programa de incentivo ao etanol (e biodiesel) que consiste em subsídios a produção do combustível no país. O programa que a princípio tem período de duração entre 2007 e 2009, prevê pagamentos de US\$ 0,09 / litro de etanol que será pago exclusivamente caso a produção tenha taxa de retorno inferior a 20% ao ano. Este programa substituirá as isenções fiscais vigentes a partir de abril de 2008.

No Brasil, apesar dos baixos custos de produção, o etanol combustível ainda conta com incentivos fiscais, nos níveis federal e estadual. Em nível federal, o etanol (tanto hidratado quanto anidro) é isento do imposto específico (a Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico – CIDE). Além disso, os impostos federais incidentes sobre o combustível (PIS e COFINS) somam R\$ 0,02925/litro, enquanto no caso da gasolina os mesmos equivalem a quantia de R\$ 0,2611/litro. Em nível estadual, incide sobre os combustíveis o ICMS (Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços). Alguns estados como São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro estabelecem alíquotas de ICMS inferiores ao da gasolina para o etanol. Dessa forma o incentivo fiscal varia de estado para estado, De acordo com Cavalcanti (2006) o estado em que se verifica a maior diferença entre a parcela de impostos incidentes entre a gasolina e o álcool hidratado é São Paulo, onde os impostos totais representam 47% do preço final ao consumidor, comparado a 22% do preço final do álcool hidratado ao consumidor. No Rio de Janeiro, a vantagem fiscal é menor: enquanto os impostos representam 50% do preço final da gasolina ao consumidor esta parcela é de 36% para o etanol hidratado (Cavalcanti, 2006). Almeida et al (2007), estimam que o total de

⁴⁵ Para uma visão sintética das diferentes formas de isenções fiscais concedidas nos diferentes estados norte-americanos ver Steeblick (2007).

incentivo fiscal fornecido pelas diferentes instâncias de governo no país chega a US\$ 977 milhões por ano.

Na União Européia não existe uma forma única de isenção fiscal, mas os diferentes países podem estabelecer suas formas de incentivo no que concerne aos bio-combustíveis. A Tabela a seguir resume as práticas de isenções fiscais atualmente aplicadas no bloco.

Tabela 3.3-1 – Isenções Fiscais ao Etanol Combustível na União Européia.

País	Imposto Específico sobre a Gasolina	Isenção em Euros/litro	Isenção em %
França	0,59	0,37	63%
Alemanha	0,6545	0,6545	100%
Espanha	0,42	0,42	100%
Suécia	0,52	0,52	100%
Reino Unido	0,68	0,29	43%

Fonte: Kojima e Johnston (2005)

Na Austrália, há isenção fiscal total do imposto específico de EUR 0,2310 /litro (AUD 0,38143/litro) para o total da produção de etanol produzido no país (Steeblynck, 2007).

3.4 Barreiras de Comércio

O mercado internacional de etanol é marcado pela presença de barreiras comerciais. Uma das razões para o estabelecimento destas barreiras é a concessão de benefícios fiscais concedidas pelos diferentes governos de modo a estimular o consumo do combustível alternativo. As tarifas protegeriam a indústria local da competição externa. Segundo estimativas apresentadas por Steeblynck (2007) o comércio internacional representou 10% do consumo mundial de etanol combustível em 2005. De acordo com o autor, todos os

países com produção de bioetanol aplicam a regra da Nação Mais Favorecida (MFN). Para os países da OCDE, as tarifas incidentes sobre o comércio internacional de etanol variam de 6% a 50% do valor do produto importado (em equivalente *ad valorem*). Em outros países como a Índia, este percentual pode chegar a 186%. De um modo geral as tarifas aplicadas para nos países em desenvolvimento, variam entre 14 e 50%. As principais tarifas são apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 3.4-1 – Síntese das tarifas de importação aplicada em diferentes países

País	Tarifa MFN	Exceções ou observações
EUA	2,5% <i>ad valorem</i> + US\$ 0,135/litro	FTA ¹ e CBI ²
UE	EUR 0,192 /litro – und. EUR 0,102/litro - den	GSP ³
Canadá	CAD 0,0492/litro	FTA
Brasil	0	Reduzida de 20% para 0 em 2006
Japão, Nova Zelândia	0	

¹ Acordo de Livre Comércio (Free Trade Agreement)

² Iniciativa da Bacia do Caribe (Caribbean Basin Initiative)

³ Sistema Geral de Preferências (General System of Preferences)

Fontes: Steebink (2007), IEA (2004)

Das exceções ao sistema de tarifa tradicional, vale mencionar o sistema preferencial de importações para a União Européia e a Iniciativa dos países caribenhos, no caso norte-americano. As importações preferenciais para a União Européia derivam do acordo geral de preferências (GSP) e do acordo “tudo menos armas” (EBA). Em termos de percentuais, no período entre 2002 e 2004, 9% das importações européias foi realizada com tarifas de importação reduzida, 53% foi isenta de impostos e 38% foi importado de acordo com o princípio MFN (Comissão Européia, 2006).

O acordo geral de preferências até dezembro de 2005 previa uma redução da tarifa de importação de 15%. Este sistema foi transformado em 2006, de modo a permitir a

isenção total de tarifas e a alteração da participação de alguns países contemplados, com o objetivo de estimular o desenvolvimento econômico e a boa governança dos países. Por exemplo, o Paquistão que até 2005 foi o principal exportador para a UE, sob o regime GSP, passa a estar sujeito ao regime MFN⁴⁶. Os países que fazem parte do EBA⁴⁷ e do acordo Cotonou⁴⁸ também são isentos das tarifas de importação. Com relação aos EUA, o país mantém, desde 1983, um acordo com países do caribe chamado Iniciativa da Bacia do Caribe, segundo o qual, um máximo equivalente 7% da produção americana de etanol do ano precedente pode ser importado sem tarifa de importação. Em vez de produzirem o etanol, grande parte destes países realiza a desidratação do etanol importado do Brasil e o re-exporta para os EUA. Este expediente é necessário para cumprir o requisito de importação americana de que o produto transacionado seja substancialmente transformado nos países do Caribe. As importações por este mecanismo não alcançam a quota, mas as expectativas são de crescimento, sobretudo se o acordo tiver sua data limite expandida para após 2008.

Uma outra barreira de comércio se refere à inexistência de um sistema de classificação distinto para o comércio de etanol combustível. A OMC determina duas linhas de classificação para o etanol em seu sistema harmonizado de códigos e descrição de commodities: *undenatured* – álcool etílico puro com um pequeno percentual de água, e *denatured*, etanol etílico aditivado que o impede de ser usado como bebida⁴⁹. Este se insere

⁴⁶ Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Panamá, Peru, El Salvador, Venezuela, Geórgia, Sri Lanka, Mongólia, e Moldava.

⁴⁷ Inclui os chamados países menos desenvolvidos, de acordo com a classificação das Nações Unidas. (Panagaryia, 2002)

⁴⁸ O Acordo inclui 71 países em desenvolvimento, sendo 47 na África sub-sahariana, 16 no Caribe e 8 ilhas do Pacífico. Dentre estes 39 são classificados como os menos desenvolvidos pelas Nações Unidas. (Panagaryia, 2002). Na África, o único excluído do acordo é a África do Sul (Comissão Européia, 2006).

⁴⁹ 93% das importações de etanol pela União Européia são de álcool *undenatured* (Comissão Européia, 2006).

na classificação mais geral adotada pela OMC sobre o comércio de álcool em geral (incluindo o consumo como bebida). Este elemento tende a ser um complicador quando da análise dos dados referentes ao comércio – e mesmo a produção – mundial de etanol.

Além da falta de qualificação específica para o etanol combustível e a presença de barreiras de comércio, outro elemento que tende a condicioná-lo é a exigência de certificações quanto a sustentabilidade da produção. Conforme foi visto, a demanda por etanol combustível depende em grande medida das políticas de uso mandatório e das isenções fiscais. Estas políticas são baseadas, dentre outros, no benefício ambiental do uso dos mesmos. Porém, análises de ciclo de vida, bem como práticas agrícolas e sociais associadas tanto a produção da matéria prima quanto a produção do etanol em si, tem suscitado pressões para a criação de certificados de sustentabilidade sobre a produção dos combustíveis. Iniciativas neste sentido começam a ser implementadas no Reino Unido, na Holanda e na Califórnia⁵⁰. O problema identificado até o momento se refere à proliferação de diferentes padrões de sustentabilidade, o que tende a criar mais uma barreira ao comércio. Porém já se conta com o reconhecimento deste desafio, e esforços estão sendo empreendidos no sentido de harmonizar os padrões, critérios e formas de certificação de sustentabilidade.

3.5 Conclusões – Perspectivas sobre a Flexibilidade Produtiva

A produção de etanol pode ser realizada a partir de diversas fontes, mas o paradigma da primeira geração ainda é o dominante. Dentre as fontes de matérias primas, o milho e o

⁵⁰ Para uma síntese das propostas britânica e holandesa ver Londo et al. 2006. Para a proposta da Califórnia, ver Steebink (2007)

açúcar são as principais fontes de produção de etanol no mundo. O etanol compete pelo lado da oferta com a produção de bens agroalimentares que seriam produzidos a partir da mesma matéria prima. Esta relação de substituição fica ainda mais evidente quando se considera a flexibilidade produtiva, característica da produção brasileira.

Conforme, levantado pela IEA (2004) não são esperadas grandes evoluções tecnológicas dentro do paradigma da primeira geração. Neste sentido, as expectativas são pela manutenção dos atuais padrões tecnológicos. No que diz respeito a flexibilidade produtiva então, esta deve permanecer como um atributo específico da produção brasileira. A flexibilidade permite ao produtor se beneficiar, ainda que marginalmente, de variações de preços ocorridas nos mercados doméstico e externo, bem como se beneficiar de economias de escopo e mitigar o efeito da especificidade temporal da cana. Como foi visto neste capítulo, o mercado internacional de etanol ainda é marcado pela presença de barreiras comerciais e as perspectivas quanto a redução destas barreiras não são animadoras. Conquanto permanecer a produção concentrada em poucos países, notadamente no Brasil e nos EUA – que respondem por 90% da produção e consumo deste bem – e a diferença de custo de produção entre a produção brasileira e as outras no mundo, será pouco provável que esta característica venha a se alterar. Neste cenário, a aposta em destilarias autônomas, isto é, em plantas dedicadas a produção de etanol é um investimento de maior risco para os produtores brasileiros. Num cenário de redução/eliminação das barreiras de comércio e do desenvolvimento comercial da segunda geração, plantas de produção dedicadas poderão explorar as oportunidades da expansão de mercado. Alguns argumentam que o mercado de etanol tende a ser mais dinâmico do que o mercado de açúcar e esta seria a via natural de desenvolvimento. Outra possibilidade promissora para plantas dedicadas adviria do

desenvolvimento da álcoolquímica, que criaria uma nova frente de demanda para o produto. A recente onda de investimentos em plantas produtivas no setor sucroalcooleiro tem privilegiado o investimento em plantas autônomas. Todavia, Olivério (2007) aponta que mesmo nestes casos, a agregação de uma unidade de açúcar tem sido prevista nos projetos originais. Isto mostra que, ainda que não tenham flexibilidade produtiva, os produtores ainda prezam a flexibilidade decisória.

Desta maneira, enquanto estes eventos não ocorrem (comercialidade da segunda geração, abertura de mercado internacional e desenvolvimento da álcoolquímica), a expectativa é de que a flexibilidade ainda seja um atributo valorizado da forma de produção no Brasil.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÔMICAS DA DEMANDA POR ETANOL

4.1 Características Químicas do etanol combustível

As características químicas do etanol condicionarão as diferentes formas de uso como alternativa ao combustível mineral. A tabela 4.1-1 resume as principais diferenças entre o álcool e a gasolina.

Tabela 4.1-1- Características Químicas Etanol e Gasolina

	Etanol	Gasolina
Massa Molecular (g/mol)	46,07	102,5
C(%)	52,2	86,5
H(%)	13,1	13,5
O(%)	34,7	0
Massa Volumétrica (kg/m ³)	794	735-760
Calor Latente de Vaporização	854	260
Ponto de Ebulição	78,4	30-190
Poder Calorífico Inferior (kJ/Kg)	26805	42690
Poder Calorífico Inferior (kJ/l)	21285	32020
Relação Estequiométrica	8,95	14,5
RON	111	95
MON	92	85

Fonte: Ballerini et al (2006)

Uma comparação entre estas características leva as seguintes conclusões:

- a. O álcool apresenta um maior índice de octanagem em relação à gasolina, o que melhora o rendimento de um motor, pois permite o uso de motores a maiores taxas de compressão⁵¹. Esta característica se constitui numa vantagem do etanol frente à gasolina.
- b. A sua densidade próxima da gasolina facilita a mistura entre os combustíveis. Porém, por ser também miscível com água, pode causar problemas em alguns tipos de misturas;
- c. A presença de oxigênio na composição química do etanol favorece uma combustão mais completa reduzindo as emissões de CO. Além disso, o oxigênio reduz a temperatura de combustão, o que favorece a diminuição nas emissões de NO_x (IEA, 2006). Porém, a presença de oxigênio na composição resulta em um menor conteúdo energético e, portanto, maior consumo em relação à gasolina. A presença de Oxigênio na composição está na origem da incompatibilidade do etanol com certos materiais metálicos e polímeros.
- d. O calor latente de vaporização mais elevado que o da gasolina tem como vantagem a melhoria na eficiência do preenchimento da câmara de combustão (Ballerini et al, 2006). Porém, esta mesma característica dificulta a partida do motor a baixas temperaturas (partida a frio).

⁵¹ O índice de octanagem é uma medida da capacidade antidetonante de um combustível, isto é da sua capacidade de queimar corretamente em motor de ciclo Otto.

Estas características tornam o álcool um combustível bastante apto a ser usado em motores de ciclo Otto. Em contrapartida, sua utilização em motores a compressão é dificultada pelo baixo índice de cetanas⁵² e pelo fato de não ser miscível com o diesel.

4.2 O Uso do etanol em motores de ciclo Otto

A história do etanol como combustível em veículos de ciclo Otto se confunde com a própria história dos motores a combustão interna. No início do desenvolvimento dos motores a combustão interna de ciclo Otto, a gasolina e o álcool eram alternativas técnicas concorrentes como fonte energética destes motores. O próprio Nicholas August Otto, engenheiro alemão inventor dos motores a combustão interna por centelha (motores a combustão interna de ciclo Otto), usou o etanol em um de seus motores anteriores ao motor de combustão interna a gasolina. Henry Ford construiu seu primeiro veículo para rodar com etanol puro em 1896 (um quadriciclo) e em 1908, ele constrói o primeiro veículo flex fuel que poderia rodar com etanol puro, gasolina ou uma combinação dos dois, determinada mecanicamente pelo proprietário (Lorenzetti, 1996).

No início do desenvolvimento tecnológico dos motores a combustão de Ciclo Otto, o etanol apresentava vantagens técnicas sobre a gasolina. A principal delas se referia a sua capacidade antidetonante, representada pela maior índice de octanagem do álcool em relação ao da gasolina. Uma maior capacidade antidetonante permite maior eficiência na conversão da energia química do combustível em energia mecânica pelo automóvel. Além

⁵² Na Suécia, frotas de ônibus municipais rodam com etanol puro hidratado (5% de água em volume) em motores a compressão (ciclo diesel). O etanol recebe um aditivo (2% em volume) que aumenta o índice de cetanas (Atrax Energi, 2005).

disso, a presença de oxigênio em sua fórmula permite uma queima mais limpa em termos de emissão de gases na saída de escapamento. Porém, apesar desta superioridade, o etanol perdeu a competição para gasolina e o que ocorreu foi um *lock-out* deste combustível em decorrência de eventos históricos e retornos crescentes.

Em primeiro lugar, o processo de produção do etanol, baseado no milho o tornava uma alternativa mais cara do que o seu concorrente derivado do petróleo. A gasolina era considerada um subproduto indesejável do processo produtivo do querosene, o principal derivado do petróleo no início da indústria, voltado à iluminação (Unruh, 2000). Além de ser um subproduto, as características da gasolina proveniente dos métodos iniciais do refino do petróleo (basicamente destilação atmosférica) resultam em gasolinas (C5 – C10) com baixo índice de octano (ENSPM, 2005). Estes dois fatores tornavam a gasolina mais barata que seu concorrente. O etanol por seu turno era o combustível de iluminação tradicionalmente usado nos EUA. Com o advento da guerra civil americana (1861 – 1865) o combustível foi fortemente taxado – a taxa no valor de US\$ 2 /galão (US\$ 0,52/l) - com o fim de levantar fundos para financiar o esforço bélico. Todavia, a sobretaxa permaneceu até 1906, o que levou a redução da sua produção e uso como combustível neste período. O fôlego da produção e consumo de etanol durou pouco: em 1919 o governo norte americano proíbe a venda pura do etanol e estabelece a obrigação de que toda a venda de etanol seja misturada a gasolina com o fim de impedir o seu uso como bebida. Esta proibição foi suspensa apenas em 1933 (Lorenzetti, 1996)

Este período inicial de competição foi fundamental na emergência da gasolina como um design dominante na indústria automobilística. Com relação a principal desvantagem da gasolina em relação ao etanol como combustível de motores de ciclo Otto, em 1922,

pesquisadores da General Motors descobrem que alguns compostos químicos possuem a propriedade de melhorar a octanagem das gasolinas. Dentre estes compostos dois se tornam rapidamente aditivos das mesmas: o Chumbo tetraetila e o Chumbo tetrametila (ENSPM, 2005). Em termos de economias de escala e aprendizado, este foi o período de desenvolvimento de melhores técnicas de refino e a expansão internacional das empresas na indústria de petróleo⁵³. Impulsionado pela expansão da indústria automobilística, verifica-se neste período a difusão de técnicas de refino, como craqueamento, que permite a obtenção de maior rendimento em gasolina e diesel. As firmas na indústria se engajam nos segmentos de distribuição e varejo, o que é um elemento fundamental na competição entre combustíveis voltados ao transporte: a construção, expansão e densidade da rede de distribuição de gasolina ocorrida em escala mundial. Com relação à oferta de petróleo, este é um período de busca por novas jazidas. A oferta abundante de petróleo tornou a competição realmente desfavorável para o etanol, uma vez que barateou o custo de produção bem como propiciou a melhoria na qualidade da gasolina produzida em termos de octanagem. Neste contexto, os engenheiros da indústria automobilística concentraram o foco de suas pesquisas no desenvolvimento de motores a gasolina. Com isto, a produção destes motores pôde explorar economias de escala e economias de aprendizado no contexto da organização de trabalho fordista. Esta foi o elemento final para o *locking out* do álcool como combustível para motores de ciclo Otto. O interesse pelo álcool será retomado com um evento histórico particular: a crise do petróleo da década de 70.

⁵³ Ver sobre esta expansão em Marinho(1989) e para a expansão das técnicas de refino ver Yergin (1994).

4.2.1 Misturas com baixo conteúdo de etanol

A forma mais disseminada de consumo do etanol como combustível é como um aditivo a gasolina. As taxas de incorporação de etanol entre 5 a 10%, correspondem a teores de oxigênio entre 1.85% e 3.7%, o que segundo Ballerini et al(2006), possibilita a redução de cerca de 15% nas emissões de CO e de hidrocarburos não queimados. Nos EUA e na Europa, todos os veículos produzidos são adaptados para o uso de até 10% de etanol na gasolina. Na Europa, porém, por questões de normas técnicas, a taxa máxima de incorporação do etanol em mistura com a gasolina é de 5%, proporção em que é considerado como um aditivo.

Um problema na incorporação de baixos percentuais de etanol refere-se ao aumento da pressão de vapor da gasolina (ou da volatilidade). Isto tem como consequência um aumento das emissões por evaporação. Atualmente, a regulação americana admite diferentes percentuais de emissão por evaporação de acordo com as cidades e épocas do ano, por conta desta incorporação. No Brasil, esta questão não é levada em conta (Gnansounou et Dauriat, 2006). No caso europeu, esta questão tende a ser o maior obstáculo a uma maior incorporação do etanol na gasolina (pelo menos a baixo teor). Este é o maior argumento para o uso de ETBE⁵⁴. O uso de aditivos que reduzam a pressão de vapor pode contornar este problema.

⁵⁴ O éthyl-tertio-butyl-éther (ETBE) é obtido a partir da transformação do etanol anidro através de uma reação química com o isobuteno. O ETBE contém cerca de 47% de etanol em termos de massa. Suas propriedades (elevado nível de octanagem, baixa pressão de vapor, possibilidade de mistura com água) o fazem um combustível particularmente apreciado por refinadores europeus. A França foi a pioneira na mistura do ETBE à gasolina em proporções entre 10 e 15%, sendo seguida pela Espanha, Holanda, e Itália. Como desvantagem o ETBE necessita de infra-estrutura de produção e de disponibilidade de matéria prima para sua produção, a nafta.

4.2.2 Etanol Puro ou misturas de alto conteúdo de etanol (E85)

O uso do etanol em misturas de alto conteúdo, ou etanol puro em motores de combustão interna pode se dar em veículos dedicados ou veículos flex fuel, veículos que podem rodar com diferentes misturas de etanol e gasolina determinada pelo consumidor. A experiência característica no que se refere aos veículos dedicados ao etanol é a experiência brasileira dos anos 80. Ambos os tipos de veículos comportam alterações substanciais para se ajustar as características distintas do etanol em relação à gasolina.

O primeiro conjunto de alterações de um veículo adaptado ao uso de maiores teores de etanol em relação a um veículo a gasolina se refere a compatibilidade entre os componentes metálicos e de borracha. As peças em borracha presentes nos motores a gasolina foram trocadas por peças de borracha com alto teor em Flúor (Viton) que não absorve e não incha na presença de etanol. Além disso, pela maior condutividade elétrica do álcool em relação a gasolina e pela possibilidade de formação de ácido acético na presença de água, os motores devem ter suas peças metálicas (principalmente magnésio, alumínio) substituídas por elementos resistentes a corrosão galvânica, como o aço e o aço inoxidável. Todo o chamado “módulo combustível” (basicamente composto por bomba de combustível, regulador de pressão, flange, caneco e regulador de nível) do veículo deve ser adaptado para receber este novo combustível (Ballerini et al, 2006).

O segundo desafio a ser vencido, se refere ao sistema de partida a frio. Uma das formas de resolver este problema é o uso de uma pequena parcela de gasolina misturada ao álcool. Esta é a solução adotada nos Estados Unidos, na Suécia e na França, por exemplo

em que se mistura no mínimo 15% de gasolina no etanol anidro, mistura chamada de E85. Outra solução possível é a implementada nos carros dedicados a etanol: a introdução de um reservatório adicional de partida a frio. Este reservatório de partida a frio consiste num pequeno tanque contendo gasolina que tem a função de dar a partida no veículo em temperaturas abaixo de um determinado patamar de temperatura mínimo.

No caso dos chamados veículos flex – fuel, estes comportam alterações adicionais que se referem ao reconhecimento do tipo de combustível utilizado e a otimização do funcionamento do motor face às diferentes misturas de combustível. Nesse sentido, o desenvolvimento tecnológico fundamental que possibilitou a criação de um veículo com esta capacidade foi a introdução da injeção eletrônica nos veículos a gasolina. Nestes motores, a injeção de combustível no motor necessita de uma mistura de ar e combustível prévia, o que era feito no carburador⁵⁵.

O desenvolvimento comercial dos sistemas de injeção eletrônica foi inicialmente realizado nos EUA a partir das restrições quanto as emissões de poluentes derivadas da queima de combustíveis de veículos. Estas começaram a partir dos anos 70⁵⁶. Por exemplo, é em 1970 que é criada a agência de proteção ambiental (*US Environment Protection Agency*), que começa a estabelecer limites a níveis de emissão dos veículos colocados no mercado. Segundo Wikipedia (2006) os sistemas de carburador deveriam ficar cada vez

⁵⁵ Este tipo de sistema foi predominante nos veículos americanos e europeus até a década dos 80 e no Brasil até a década de 90. A diferença fundamental entre um sistema de injeção eletrônica e o carburador é de que o primeiro insere o combustível na câmara de compressão através do bombeamento do mesmo por meio de um bico que “atomiza” o combustível, enquanto o segundo absorve ar através de uma ventoinha que gera um vácuo momentâneo que faz a primeira mistura gasolina/ar e serve para introduzir esta mistura nos cilindros (EIA, 2006) Um sistema de injeção eletrônica controla a relação estequiométrica e mensura precisamente o funcionamento de um motor a gasolina com o auxílio de um sensor de Oxigênio. Assim, este sistema promove a queima mais limpa do combustível do que a conseguida com um sistema a carburador.

⁵⁶ Três principais tipos de gases são emitidos como resultado de uma relação ar combustível ineficiente: o CO, os HC e os NOx. Os dois primeiros resultam da queima incompleta do combustível nos motores de ciclo Otto ocasionada por uma quantidade de oxigênio insuficiente. Os NOx são emitidos quando do excesso de Oxigênio injetado no motor.

mais complexos para dar conta das restrições impostas pela crescente legislação ambiental, o que o levaria a perder suas vantagens de simplicidade e custo frente às alternativas dos sistemas de injeção. Foi assim, que o sistema de injeção, primeiramente desenvolvido por Bosch e Bendix em 1959, passou a ser inserido nos veículos.

Um sistema de injeção eletrônica é composto principalmente por um computador de bordo, a unidade de controle do motor (*Engine Control Unit – ECU*). Este computador é o encarregado pelo monitoramento e otimização do funcionamento do motor através das informações obtidas de vários sensores. O objetivo da *ECU* é calcular e comandar a injeção de uma quantidade ótima de combustível e ar a ser injetados em função de condições externas tais como temperatura ambiente, velocidade e/ou carga do motor e composição dos gases da saída do motor.

Dessa maneira, o próprio avanço na trajetória tecnológica dos motores a gasolina é o elemento que permite o desenvolvimento da tecnologia flex-fuel. Uma vez que o veículo já está equipado com uma unidade central de controle que ajusta o funcionamento do motor a gasolina a diferentes situações de modo a promover uma queima mais eficiente, grosso modo bastaria re-programar esta unidade para ajustar o funcionamento do motor à diferente circunstâncias em função do combustível usado. A relação ar/combustível (relação estequiométrica) que é fixa nos sistemas convencionais, torna-se uma variável a ser medida ou inferida. As soluções para contornar essa diferença incluem o uso de algoritmos de aferição da relação combustível/ar, sensores de oxigênio de ativação rápida (em conjunto com novas lógicas de inferição), injetores com maior banda linear de operação e bombas de combustível maiores, além de linha de combustível sem retorno (Mecânica on line, 2003).

A diferença de octanagem, por sua vez exigiria um motor a uma taxa de compressão⁵⁷ variável, de 9:1 para a gasolina e de 14:1 para o álcool, de modo a permitir o funcionamento ideal do motor ao usar cada combustível. A saída para superar esta barreira é o estabelecimento de uma taxa de compressão intermediária, entre aquela que seria ótima para o uso com a gasolina e aquela ótima para o álcool. Em geral, o objetivo é estabelecer uma taxa de compressão máxima de modo a tentar se beneficiar das vantagens do álcool, mas sem desencadear o processo de auto-detonação da gasolina. Assim, a regulação adicional se deve ao uso de um sistema de controle de detonação (ignição) ativo. Isto permite o uso de álcool e gasolina no mesmo motor. Além de reduzir o avanço da ignição para proteger o motor, ele permite também aumentar o avanço, procurando o seu ponto ótimo.

De acordo com Teixeira (2005) o primeiro sistema flex-fuel desenvolvido e patenteado em 1988 pela Bosch contava com um sensor físico que detectava a mistura de combustível antes desta ser injetada no motor. O sensor funcionava com base na leitura infravermelha. Este era um sensor adicional aos sensores já presentes no veículo a gasolina e era um elemento de encarecimento do produto⁵⁸. O elemento alternativo é o uso de um software de cálculo que é inserido no módulo de injeção eletrônica (unidade eletrônica de controle). Este software ajusta o funcionamento do motor em função das informações de outros sensores de temperatura, velocidade, rotação e detonação e a chamada sonda *lambda* posicionada após a válvula de escape. Grosso modo, esta é uma técnica de detecção do combustível através do uso de um sensor sensível ao nível de oxigênio nos gases de escape,

⁵⁷ Taxa de compressão é a relação entre o volume da câmara de combustão quando o pistão encontra-se em seu ponto mais baixo e o volume da mesma quando o pistão está em seu ápice.

⁵⁸ Segundo Marelli (2004) o custo deste sensor era de US\$ 280 por veículo.

ele fornece um sinal de voltagem que identifica se a mistura está pobre ou rica (Marelli, 2004).

Quanto ao consumo, a diferença no poder calorífico faz com que os veículos flexi quando rodam exclusivamente a etanol tenham uma autonomia menor. Por outro lado, pela sua maior octanagem o álcool suporta uma maior taxa de compressão e, portanto, um motor a álcool poderia apresentar maior eficiência. Em outras palavras, um motor dedicado a álcool poderia apresentar maior economia de combustível (em litros de gasolina equivalente por 100 kms) que um motor a gasolina com a mesma performance (EIA,2006). Porém, em um veículo flex fuel, por conta da necessidade de uma taxa de compressão intermediária não se obtém ganhos significativos com economia de combustível. Uma comparação feita pela *Fuel Economy* (2007) entre diferentes modelos de veículos flex-fuel produzidos nos Estados Unidos em 2000 mostra que, na média, um veículo flex-fuel roda 73% da distância rodada pelo mesmo veículo ao rodar apenas com gasolina⁵⁹. De acordo com levantamento realizado por Moura (2007), ao comparar o desempenho entre três modelos de veículos flex fuel produzidos em 2005 no Brasil, apresenta menor diferença de consumo entre álcool e gasolina aquele motor que tem a maior taxa de compressão⁶⁰. Conseqüentemente, para que seja vantajoso o uso do etanol em relação a gasolina, a relação de preços deve levar em conta esta diferença de consumo por quilometro rodado, a qual tende a acompanhar a diferença em conteúdo energético.

⁵⁹ Na verdade, a razão entre o poder calorífico inferior entre o E85 e a gasolina padrão é 72%. Esta diferença já leva em conta a pequena parcela de gasolina incorporada ao etanol como denaturante. No Brasil, a revista « guia 4 rodas » comparou o desempenho de diferentes veículos flex percorrendo distância urbanas e em rodovias e encontrou na média o mesma diferença de distância percorrida ao usar E100 e E23.

⁶⁰ Foram comparados os desempenhos dos seguintes veículos : Celta 1.0, com taxa de compressão de 12,6 :1 ; Palio 1.0, com taxa de compressão de 11,7 :1 ; e Gol 1.0, com taxa de compressão de 11,7 :1, em uso urbano e em uso rodoviário. As relações de Km/l realizados quando o consumo é álcool e quando o consumo é gasolina em uso urbano são as seguintes: 76% para o celta ; 72% para o Palio e 75% para o Gol. Quatro Rodas (2005)

Além disso, um motor na versão álcool fornece em torno de 10% mais torque que seu equivalente a gasolina e o conjunto motriz, de motor e transmissão, precisam atender a essa solicitação adicional de potência e ser adequado ao veículo. A aplicação de algoritmos modernos, baseados em controle de torque, pode evitar ações dispendiosas com novas transmissões ou outros mecanismos (Mecânica on line, 2003). No que concerne ao custo adicional de um veículo flex-fuel em relação a um veículo a gasolina, este deve estar em cerca de US\$ 100 a 200 por veículo (EIA, 2006). Custo inferior ao custo de produção de outros sistemas bi-combustível alternativo como, por exemplo, um veículo a gás natural e gasolina.

4.3 Intervenção Governamental: metas ou misturas obrigatórias

Diversos países do mundo implementam políticas de estabelecimento de metas, ou misturas obrigatórias de biocombustíveis no conjunto dos combustíveis usados no setor de transportes. Algumas políticas não discriminam entre biocombustível a ser inserido no conjunto dos combustíveis consumidos, outras estabelecem metas em bases volumétricas e outros com base em equivalente em conteúdo energético.

Nos EUA, o uso de etanol misturado à gasolina começou em 1978, como elemento de aumento da octanagem. Neste ano, o governo aprovou uma legislação de estímulo ao uso do combustível que incluía um crédito de imposto para o combustível misturado (*blender tax credit*). Nos anos 90, o Ato do Ar Limpo (*Clean Air Act*) levou a adoção de novas especificações de combustíveis, tanto em nível federal, quanto estadual. As principais especificações desta legislação que influenciam o consumo de etanol são os

programas de oxigenação de combustível durante o inverno (*Wintertime Oxygenated Fuel Program*) e o de gasolina reformulada (*Reformulated Gasoline Program*). Segundo o primeiro programa, as cidades que não respeitem as normas de qualidade do ar em termos de concentração em CO durante o inverno devem utilizar combustíveis com maior grau de oxigênio. Segundo His (2006), este programa é responsável por 8% do consumo de etanol no país. Com relação ao segundo programa, as cidades que não respeitem as normas de qualidade do ar relativas a concentração de ozônio média anual estão obrigadas a utilizar combustíveis oxigenados. Inicialmente o MTBE foi a solução mais utilizada como agente oxigenador, pois esta mistura não tem o inconveniente do aumento de pressão de vapor, ao contrário da mistura etanol- gasolina. Todavia, problemas relativos a poluição de lençóis freáticos e de solos causados por derramamentos acidentais e a possibilidade de ser um agente cancerígeno levaram a eliminação progressiva do MTBE no horizonte de 2015. Segundo His (2006) os programas de oxigenação e gasolina reformulada respondem por 55% do etanol consumido nos EUA. Alguns estados, principalmente da região do Meio Oeste, Nova York, e Califórnia estabeleceram normas ainda mais rígidas relativas a qualidade do ar.

O Ato de Política Energética (*Energy Policy Act*)⁶¹, assinado em agosto de 2005 pelo Presidente George W. Bush é uma lei que consubstancia todas as diretrizes de política energética norte-americana para os próximos 10 anos. Dentre as disposições previstas com o fim de garantir o suprimento energético norte-americano, há um capítulo específico sobre etanol e combustíveis. As principais medidas com relação ao estímulo do uso e da produção dos EUA são: eliminação completa do uso de MTBE até 2015 e o estabelecimento de um

⁶¹ Para um resumo do EPA: 2005, ver Souza e Silva, 2005. Para a versão integral da lei, ver em http://energycommerce.house.gov/108/energy_pdfs_2.htm

padrão de combustíveis renováveis (RFS) com o fim de aumentar a participação dos mesmos misturados à gasolina correntemente vendida no país. A partir desta regulação a Agência de Proteção Ambiental (EPA) tem a obrigação de definir programas que garantam a participação de volumes específicos de combustíveis renováveis no conjunto da gasolina vendida no país em cada ano calendário. O montante em termos de volume de etanol entre 2006 e 2012 resultante desta regulação é apresentado na tabela 4.4-1.

Tabela 4.3-1 – Padrão de Combustível Renovável : participação mínima de combustível renovável no total de gasolina vendida nos EUA

	Combustíveis renováveis (bilhões de galões)
2006	4,0
2007	4,7
2008	5,4
2009	6,1
2010	6,8
2011	7,4
2012	7,5

Fonte: EPA, 2005

Com o objetivo de garantir que este volume seja atingido, a agência deve estabelecer o percentual de participação padrão para cada ano de combustível renovável contido na gasolina disponível ao público. O percentual de 2006 foi definido pelo Ato de Política Energética em 2,78%, o que foi mantido pela Agência de Proteção Ambiental em função da ausência de tempo hábil para definir as normas para o ano de 2006⁶². Para o ano de 2013 em diante fica a cargo da Agência de Proteção Ambiental definir o volume mínimo

⁶² Segundo a EPA (2006), o texto da lei deixa questões em aberto. A primeira se refere àqueles sujeitos a norma, e a segundo se refere a forma de aplicação e a ausência das regras de crédito. "*The default standard provision does not identify what parties are subject to this statutory requirement. The statutory language also does not indicate whether the default standard is to be applied to each gallon of gasoline sold or dispensed in 2006, if it is to represent the annual average renewable fuel content for the gasoline sold by each party, or if instead it is to be an annual average for all parties acting collective in the fuel production and distribution system. Another aspect (...) is the absence of any explicit discussion of credit trading*".

de participação. A partir deste ano também já está estipulado em lei que um volume mínimo de 250 milhões de galões do etanol usado a título do padrão de combustíveis renováveis deve vir da produção baseada em lignocelulose⁶³.

- União Européia

A estratégia da União Européia para os biocombustíveis está inserida numa estratégia mais ampla de aumento da contribuição da biomassa e fontes renováveis como fonte de energia para o bloco. O objetivo da Comissão Européia é o de reduzir a dependência do país face ao petróleo, reduzir os impactos negativos do efeito estufa e, a longo prazo, desenvolver formas de substituir o petróleo (Comissão Européia, 2006). A diretiva sobre a promoção do uso de biocombustíveis no âmbito da União Européia data de 2001 e visa a substituição de 20% do uso do petróleo nos transportes em 2020 (BALLERINI et al, 2006) e estabelece objetivo crescente de consumo de biocombustíveis no setor de transporte. O percentual de consumo de biocombustíveis deve representar no mínimo 2% do consumo energético do setor de transportes e 5,75 % do mesmo em 2010. Estes objetivos são apenas indicativos para o conjunto dos países, mas cada um deve apresentar as medidas tomadas com o fim de alcançá-los. Adicionalmente foi publicada uma diretiva sobre questões fiscais, que abre espaço para a implementação de isenções

⁶³ No programa de crédito de uso de combustíveis renováveis, 1 galão de etanol proveniente da biomassa corresponde a 2,5 galões de combustível renovável. A lei cria ainda um programa de US\$550 milhões a serem gastos nos próximos 10 anos em pesquisa tecnológica na produção de biocombustíveis de segunda geração, além de programa de empréstimo incentivado para instalação de infraestrutura de abastecimento e um programa para estímulo a produção de etanol proveniente da celulose.

fiscais pelos estados membros sem a necessidade de prévia aprovação pela comissão a fim de estimular o uso de biocombustíveis (Comissão Europeia, 2003).

No final de 2005, a UE apresenta sua estratégia para o uso da biomassa, em que faz um balanço da evolução do uso de biocombustíveis pelos países membros. De fato, os objetivos traçados não foram alcançados.⁶⁴ A luz destes resultados, alguns países elevaram suas metas de uso de biocombustíveis para os próximos anos. A tabela a seguir apresenta uma síntese das metas apresentadas para países selecionados do bloco.

Tabela 4.3-2 – Quadro síntese das políticas de metas e misturas obrigatórias aplicadas na União Europeia – países selecionados

País	Tipo	Quantidade	Comentários
União Europeia	Metas para biocombustíveis em geral	5,75% em 2010	Em termos de conteúdo energético. Discussão ainda para as metas para 2020
França	Metas para biocombustíveis em geral	7% em 2010 e 10% em 2015	
Alemanha	Meta para etanol	3,6% em 2010	
Reino Unido	Meta para biocombustíveis	5 % até 2010	Empresas devem submeter relatórios sobre benefício ambiental do combustível e sustentabilidade da produção

Fonte: Steenblink, 2007

- Resto do mundo: Ásia e América Latina

O movimento para a definição de políticas de incorporação de álcool combustível a partir de misturas obrigatórias ou desejadas não está restrito aos EUA e a EU. O quadro abaixo apresenta uma síntese de alguns países.

⁶⁴ Para um balanço das metas individuais de cada país, e a participação atual dos biocombustíveis no consumo energético do setor de transporte dos países membros 2003 ver Comissão Europeia (2006).

Tabela 4.3-3 - Quadro síntese das políticas de metas e misturas obrigatórias aplicadas no resto do mundo – países selecionados

País	Tipo	Quantidade	Comentários
Austrália	Meta para todos os biocombustíveis	350 milhões de litros em 2010	
Canadá	Mistura obrigatória de etanol	5% até 2010 em nível federal;	até 2007 em Ontário (meta de 10% até 2010)
Japão	Meta	6 bilhões de litros em 2020	
Índia	Mistura obrigatória de etanol	5% de etanol na gasolina	9 estados e 4 regiões sob controle federal
Brasil	Mistura obrigatória de etanol	Lei 10636/03 percentuais variam de 19 a 26% de álcool na gasolina	
Colômbia	Mistura obrigatória	10% de mistura do etanol – maiores cidades	Cidades de mais de 500 mil habitantes a partir de 2006

Fonte: Steebink, 2007; IEA (2004); HIS (2005)

4.4 Flexibilidade energética: os veículos Flex-Fuel

A flexibilidade energética no consumo de combustíveis no setor de transporte tem seu maior expoente está nos veículos flex, pois eles permitem ao consumidor escolher o combustível a ser utilizado a cada momento de abastecimento. São analisados a seguir os condicionantes histórico-econômicos do desenvolvimento desta tecnologia nos três países

pioneiros: EUA, Suécia e Brasil. Ao fim tem-se uma perspectiva sobre a evolução e a difusão desta tecnologia no mundo.

4.4.1 EUA: a pressão da indústria automobilística – a demanda sem oferta

O primeiro lançamento comercial deste tipo de veículo foi nos EUA, onde as pesquisas tecnológicas para o uso do etanol como combustível foram retomadas na década de 80. Um dos elementos que marcam a volta do etanol à agenda de pesquisa da indústria automobilística foi a promulgação do Ato dos Combustíveis Alternativos (AMFA) de 1988. Esta legislação incentiva à produção de veículos alternativos e tem como instrumento principal a garantia de créditos de eficiência ao lançamento de veículos de motorização alternativa no mercado.

Como reação à elevação do preço do petróleo, o governo norte americano promulga em 1975 uma legislação com o objetivo de reduzir o consumo de petróleo no país. Uma das formas de redução de consumo era estimular o aumento da eficiência dos veículos produzidos, o que foi feito através do estabelecimento de metas de economia do consumo de combustíveis – o *Corporate Average Fuel Economy (CAFE)*⁶⁵. Esta legislação visa aumentar a eficiência da média dos veículos vendidos no mercado americano a cada ano através da imposição de metas de desempenho (em milhas percorridas por galão de gasolina equivalente) a serem atingidas e de punições para aquelas empresas que não

⁶⁵ Toda a regulação do CAFE (estabelecimento de metas, procedimentos, definições, enforcement das regras e aplicação das punições) é o National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). O cálculo da economia de combustível em termos de milhas por galão ponderado pelo volume de veículos vendidos fica a cargo da Environment Protection Agency (EPA).

atingiram as metas. De acordo com o Departamento de Transportes norte americano (2004), em 1973 o desempenho médio de um veículo de passageiros era de 14 milhas por galão (mpg) e objetivo era atingir 18 mpg em 1978 e 27,5 mpg para um veículo modelo 1985.

O ato dos combustíveis alternativos foi uma emenda às metas de consumo determinadas pelo CAFE. Este ato assume que todo o veículo de motorização alternativa contribui para a redução da diversificação das fontes de energia no setor de transporte e, portanto devem receber um tratamento especial no cálculo da economia de combustível. A economia de um veículo alternativo, em milhas por galão (mpg) de gasolina equivalente, deve ser dividida por um fator de 0,15. Assim, por exemplo, um veículo de motorização dedicada com economia de 15 mpg corresponderia a 100 mpg em termos de cálculo da meta de uma empresa em relação ao CAFE. Dessa maneira, a venda de modelos mais potentes e com maior consumo de combustível convencional poderia ser compensado pela venda de veículos de motorização alternativa. Soma-se a este efeito, a possibilidade de acúmulo de créditos, caso uma empresa ultrapassasse as metas pelo período de três anos⁶⁶. Não existe um consenso sobre o papel do ato dos combustíveis alternativos sobre os ganhos de eficiência dos veículos novos vendidos⁶⁷. No período entre 1993 e 2004, o benefício em termos de créditos poderia representar até 1,2 mpg de crédito para o restante da frota (EIA, 2005). Em 2004, o ato dos combustíveis alternativos foi renovado e o período de incentivo estendido até 2008, porém este fica restrito ao máximo de 0,9 mpg de aumento no consumo

⁶⁶ O contrário também é possível, empresas que ficaram abaixo da média podem apresentar planos para « saldar » o déficit em três anos e não pagar as penalidades impostas. Segundo NHTSA (2007) algumas empresas porém pagam regularmente as penalidades do CAFE, na maioria produtores europeus.

⁶⁷ Para uma discussão acerca dos efeitos do AMFA sobre a eficiência dos veículos americanos veja EIA:Energy Efficiency Transportation Sector Disponível em http://www.eia.doe.gov/emeu/efficiency/ee_ch5.htm

de combustível médio de uma empresa. Segundo o Departamento Nacional de Transportes Norte-Americano (NHTSA, 2004) após ampla discussão, o congresso resolveu aprovar a extensão deste incentivo, baseado, sobretudo em dois argumentos: i) o incentivo foi eficaz no desenvolvimento do mercado de veículos alternativos no país e ii) contínuo incentivo serve para estimular a construção de redes e postos de abastecimento de combustível alternativo.

O segundo pilar do lançamento comercial dos VFF no mercado norte americano veio com a promulgação do Ato de Política Energética de 1992. De um lado, este conjunto de política energética definiu formalmente a mistura E85 como um combustível alternativo⁶⁸. De outro, gerou a demanda necessária a este tipo de veículos ao estabelecer percentuais mínimos de participação de veículos de motorização alternativa, dentre os quais veículos que rodem a E85, nas frotas públicas federais bem como obrigações de compra para frotas de propriedades de pessoas jurídicas envolvidas na comercialização e oferta de combustíveis⁶⁹. Conforme apontado por Mathieu (1998), outro importante elemento neste contexto foi o papel dos produtores de milho como grupo de pressão para definição do etanol como combustível alternativo. O país é um dos maiores produtores de milho do mundo e a produção de etanol era vista como uma forma de equilibrar oferta e demanda e, portanto estabilizar as receitas dos produtores.

⁶⁸ São considerados combustíveis alternativos incluídos no AMFA : o etanol, o metanol, (e misturas com o mínimo de 70% destes combustíveis na gasolina), o gás natural, o propano (GLP), combustíveis líquidos derivados do carvão ; hidrogênio, biodiesel e eletricidade. Todavia, veículos híbridos não são incluídos para efeitos do AMFA por rodarem essencialmente a gasolina EERE (2007)

⁶⁹ Segundo o EPA (1992) O governo federal deveria adquirir as seguintes quantidades mínimas de veículos alternativos (veículos leves): (A) 5.000 veículos leves no ano fiscal de 1993; (B) 7.500 veículos leves no ano de 1994 ; (C) 10. no ano de 1995. A partir de 1996, estes requerimentos passaram a ser estabelecidos em percentagem de aquisição de veículos: 25% em 1996 ; 33% em 1997 ; 50% em 1998 e 75% a partir de 2000. Veículos leves são veículos com até 8.500 libras de peso e o termo frota federal se refere a frota superior a 20 veículos situados em áreas metropolitanas com população acima de 250 mil habitantes que podem ser abastecidas centralmente e de controle de algum órgão de administração federal, à exceção de carros de polícia, veículos de emergência e veículos fora de estrada.

Como resultado de atos legislativos e a pressão de importantes grupos de interesse (indústria automobilística e produtores de milho) VFF com E85 foi comercialmente lançado em 1992 pela Ford⁷⁰. Entre 1992 e 1997, o Ford Taurus foi o único veículo disponível com esta motorização. A partir de 1998, outros produtores como a Chrysler, a própria Ford, e a GM lançam modelos já existentes com esta opção⁷¹. Os VFF compõem majoritariamente frotas públicas e/ou cativas, por conta dos requerimentos mínimos estabelecidos no Ato de Política Energética de 1992. Segundo dados a EIA (2006c), os VFF de propriedade governamental ou de fornecedores de combustíveis representam 74% dos VFF em uso no país. Destes, 66% são frotas federais e 32% são de frotas estaduais. Isto tende a condicionar o tipo de modelos disponíveis como veículos flexíveis: os modelos disponíveis no mercado americano são principalmente modelos do tipo utilitário (SUVs) ou caminhonetes. Modelos sedans e wagons são mais limitados a frotas cativas. Todavia, percebe-se um aumento na participação dos veículos nos veículos vendidos entre 2000 e 2005. Em 2000, os automóveis de passeio representavam 19% dos VFF vendidos nos EUA, enquanto utilitários e caminhonetes representava 52% e vans 29%. Em 2005, há um aumento na participação de automóveis – que passa para 23% e os utilitários e caminhonetes passam a representar 76%.

A partir destas políticas, os VFF se tornaram o tipo de veículo alternativo majoritário nos EUA. Em 2000, eles respondiam por 94% dos veículos alternativos vendidos naquele ano (definição de veículo motorização alternativa) e 93% nos anos de

⁷⁰ Segundo Teixeira (2005), os veículos flex fuel movidos com a mistura de 85% metanol e 15% gasolina (M85) foram lançados na Califórnia no final dos anos 80 pelo estabelecimento de uma frota piloto na Califórnia resultante das legislações relativas a emissões (California Air Resources Board)

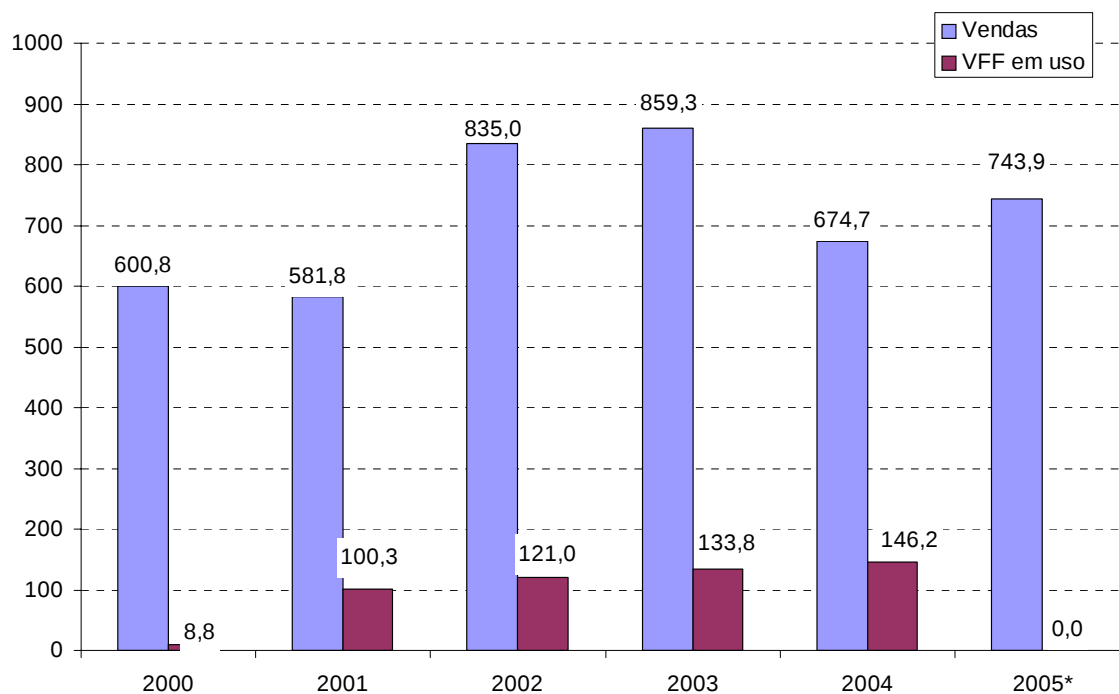
⁷¹ Para uma visão sobre os modelos de VFF disponíveis no mercado americano ver a página da internet da *National Ethanol Vehicle Coalition*

2001 e 2002 (EIA, 2005). Baseado em dados fornecidos pela EIA (2006) e por Prost et al (2006) pode-se inferir que a frota atual de VFF nos EUA é de 6,5 milhões de veículos. Segundo Prost et al (2006), VFF responderam por 4% das vendas de carros novos no país na primeira metade de 2006. O gráfico 4.4-1 apresenta um panorama dos VFF nos EUA.

A flexibilidade é uma característica fundamental graças à baixa densidade da rede de abastecimento no país. Os dados relativos a agosto de 2007 apontam a existência de 1267 postos de abastecimento capazes de fornecer E85 num universo de 170 mil veículos (*National Ethanol Vehicle Coalition*, 2007). De um lado a indústria petrolífera (distribuidores e varejistas) não tinha nenhum interesse em efetuar investimentos em postos e infraestrutura de abastecimento. De outro, o desenvolvimento dos FFV foi motivado pelo interesse dos fabricantes de automóveis em obter os créditos do AMFA. Assim, para estimular a venda destes veículos, não eram praticados diferenciais de preços, nem os consumidores eram informados da capacidade do veículo em rodar com E85⁷². Existem mesmo modelos que somente existem na versão *flex-fuel* e que são vendidos em todo o país, mesmo em áreas sem cobertura de postos de E85. Weiss (2007) cita como exemplo o estado de Nova Jersey, que dispõe de uma frota de 166,5 mil VFF e nenhum posto de abastecimento. Segundo o autor a situação é a mesma em outros 12 estados norte-americanos incluindo Washington DC que contariam com uma frota de 405 mil VFF.

⁷² De acordo com Weiss (2007) o diferencial de custo entre um veículo flex fuel e um a gasolina (mesmo modelo) é entre US\$ 50 e US\$ 100 por veículo. O Departamento de Transportes (2006) e a IEA, consideram o custo de produção aproximadamente o mesmo entre ambas as motorizações.

Gráfico 4.4-1 – Panorama dos veículos flex-fuel no mercado americano : número de veículos vendidos e em uso



Fonte : EIA, 2005b

* Não há dados disponíveis para os VFF em uso para o anos de 2005

Como pode ser visto no gráfico 4.4 - 1, o número de VFF em uso, isto é, aqueles que poderiam ser usados efetivamente como veículos alternativos ao rodar com E85, é substancialmente menor do que os veículos colocados a disposição no mercado pelos fabricantes. Os produtores de milho e fabricantes de automóveis argumentam que este impulso inicial nas vendas de veículos flex fuel foi essencial para a formação de uma demanda potencial de E85. Esta seria uma condição necessária para viabilizar a expansão da infraestrutura de abastecimento de E85 nos EUA. Atualmente, existe uma grande campanha de divulgação dos modelos flex-fuel com o fim de conscientizar os consumidores da capacidade dos veículos e formar um grupo de pressão neste sentido.

4.4.2 Suécia: a coordenação dos agentes público-privados

Na Suécia, a pesquisa sobre combustíveis alternativos começou após os choques do petróleo. Estes esforços faziam parte da estratégia nacional de aumentar a segurança energética do país em face do contexto de crise. Nos anos 80, com a reversão do quadro de preços de petróleo, o principal impulso a busca de combustíveis alternativos era a questão ambiental (Atrax Energi, 2005). Não havia um consenso sobre qual combustível deveria receber maior atenção de pesquisa e de recursos públicos. Havia competição entre duas possíveis alternativas: metanol e etanol. Segundo Grahm (2004) ambos os álcoois apresentam grosso modo as mesmas características químicas. Na década de 70 e 80, as pesquisas desenvolvidas no país estavam mais concentradas no metanol, principalmente no estímulo a produção deste álcool a partir de biomassa e do carvão. No que se refere à demanda, havia inclusive um projeto piloto de uso do M15 (mistura entre 15% metanol e 85% gasolina). Porém, há uma inflexão da política de busca por alternativas em favor do etanol na metade da década de 80. De acordo com Atrax Energy (2005), o governo sueco resolveu acompanhar as experiências exitosas de introdução do etanol como combustível nos EUA e no Brasil e decidiu concentrar seus esforços neste combustível. Além disso, o metanol apresentava algumas desvantagens em seu processo de produção, baseado no gás natural e em grandes plantas produtivas que requeriam elevados investimentos. Segundo Grahm (2004), as pesquisas a respeito da produção de metanol a partir da gaseificação haviam revelado que a produção a partir da biomassa demoraria muito tempo para se tornar competitiva com o metanol a partir do gás natural.

Organizações institucionais de apoio ao etanol como combustível foram formadas também nesta época e desempenharam papel importante nesta inflexão. A Fundação para o desenvolvimento do Etanol (*Swedish Development of Ethanol – SSEU*) foi fundada em 1983, com o objetivo de desenvolver pesquisas voltadas ao uso e a produção do etanol proveniente da biomassa no setor de transporte que satisfizesse os objetivos públicos na redução de gases poluentes. Desde o seu início, esta associação teve como foco o estímulo a produção de etanol a partir da celulose, uma vez que este é um recurso abundante no país e existia já uma grande experiência no manejo de resíduos florestais⁷³. Em 1999, a associação passa a denominar-se *Bio Alcohol Fuel Foundation (BAFF)*.

Também na década de 80 é criado um outro grande ator no mercado de etanol sueco, a empresa SEKAB, a principal distribuidora de etanol do país. Esta foi fundada em 1985 com uma planta de produção de etanol em Örensköldsvik a partir de polpa de “sulfito” como matéria prima. A empresa também se utiliza como insumo o álcool proveniente dos excedentes vinícolas da União Européia. Todavia, a maior parte da oferta de etanol da empresa tem origem nas importações de etanol do Brasil.

Entretanto, segundo Grahm (2004), o principal elemento da inflexão política em favor da elaboração de um programa de governo de apoio ao etanol ocorreu nos anos a partir do acordo entre os três países políticos do país em torno da política energética lançada em 1991. Desde os anos 80 as discussões sobre a eliminação do programa nuclear no país dividiam as posições dos três partidos político: o partido social democrata, os liberais e partido de centro. Este último era conhecido pela sua posição contra o programa

⁷³ O foco na pesquisa e desenvolvimento da produção de etanol a partir da celulose ganha apoio governamental na política energética lançada em 1991. São direcionados 4,7 milhões de euros. Na segunda metade da década, o apoio financeiro governamental para este fim passa para 23 milhões de euros (Atrax Energi 2005).

nuclear e pelo seu término. Por outro lado, este partido também advogava em prol dos interesses de agricultores suecos, que buscavam uma garantia do governo para entrar na produção de etanol. Nesse sentido, a autora ressalta que o partido do centro negociou a postergação da finalização do programa nuclear em troca de condições favoráveis para a produção em maior escala de etanol no país a partir de matérias agrícolas, como o trigo. Assim, o partido liberal conseguiu o apoio do partido central para a causa nuclear e fez a diferença na balança em prol deste programa, em detrimento da posição do partido social-democrata, totalmente a favor da eliminação do nuclear. Este acordo abriu espaço para a implementação de um conjunto de medidas políticas (isenções fiscais, direcionamento de recursos públicos a projetos voltados a produção ou ao uso de etanol, financiamento de P&D). Isto formou o arcabouço legislativo de apoio necessário ao aumento do uso de etanol no país. A opção era pelo uso em mistura com diesel em frotas de ônibus urbanos. A autora ressalta também que o apoio ao uso e produção de etanol ia ao encontro da política agrícola adotada em 90 no país, que visava a redução dos excedentes agrícolas em especial de grãos.

Com relação aos VFF, no início dos anos 90, a filial da Ford no país iniciou a importação dos veículos dos EUA. Já estava em curso o suporte governamental para o uso de etanol em ônibus urbanos, um programa de cooperação entre municípios (Estocolmo e outras 10 cidades) e a Scania com o objetivo de reduzir o nível de emissões de poluentes nas grandes cidades. Este programa teve o papel inicial de desenvolver expertise no uso e produção de etanol como combustível no país. Porém, a atividade de importação destes veículos enfrentava alguns impedimentos legais que restringiam a compra destes veículos a empresas jurídicas (Atrax Energy, 2005). Além disso, havia apenas um único modelo

disponível pela Ford em versão flex fuel, o Ford Taurus, que era considerado como inadequado para ser usado por empresas de serviços, municípios e inclusive particulares.

Com o objetivo de ultrapassar estes obstáculos, em 1998 foi criado um *technical procurement* para a introdução destes veículos no mercado sueco. Esta iniciativa envolvia, de um lado, uma associação de todos os possíveis interessados na compra de VFF, o consórcio dos compradores de veículos flex-fuel suecos (the Swedish Flexi-Fuel Buyers' Consortium), de outro o produtor interessado em viabilizar a oferta deste veículo no mercado sueco, a Ford. O objetivo desta iniciativa era o de compatibilizar os requerimentos dos demandantes com as condições de produção da ofertante. As negociações entre o consorcio e a Ford resultaram no desenvolvimento do primeiro VFF produzido na Europa, o Ford Focus 1.6. O primeiro acordo envolveu a entrega de 3000 veículos entre 2001 e 2003. O preço final era cerca de 500 euros abaixo do preço de um modelo equivalente em versão a gasolina, como resultado das reduções de IVA concedidos pelo governo (A taxa de veículos abastecidos com etanol ou gás natural é de 80% daquela incidente sobre um veículo similar a gasolina (Atrax Energi, 2005). Além deste incentivo, o projeto contou com financiamento governamental para a sua efetivação. Estimulados pelo sucesso da iniciativa, em 2005 a Saab e a Volvo entram no mercado com o lançamento de modelos em versão flex fuel no mercado. Em janeiro de 2007, a frota total de veículos flex chegava a 52,3 mil veículos (BAFF, 2007). As vendas destes veículos representaram 18% do total de veículos novos vendidos na primeira metade de 2006 (Prost et al, 2006). Cabe mencionar um outro tipo de incentivo menos convencional a aquisição de VFF é a isenção de pagamento de estacionamento públicos praticados por diversas cidades suecas, inclusive Estocolmo.

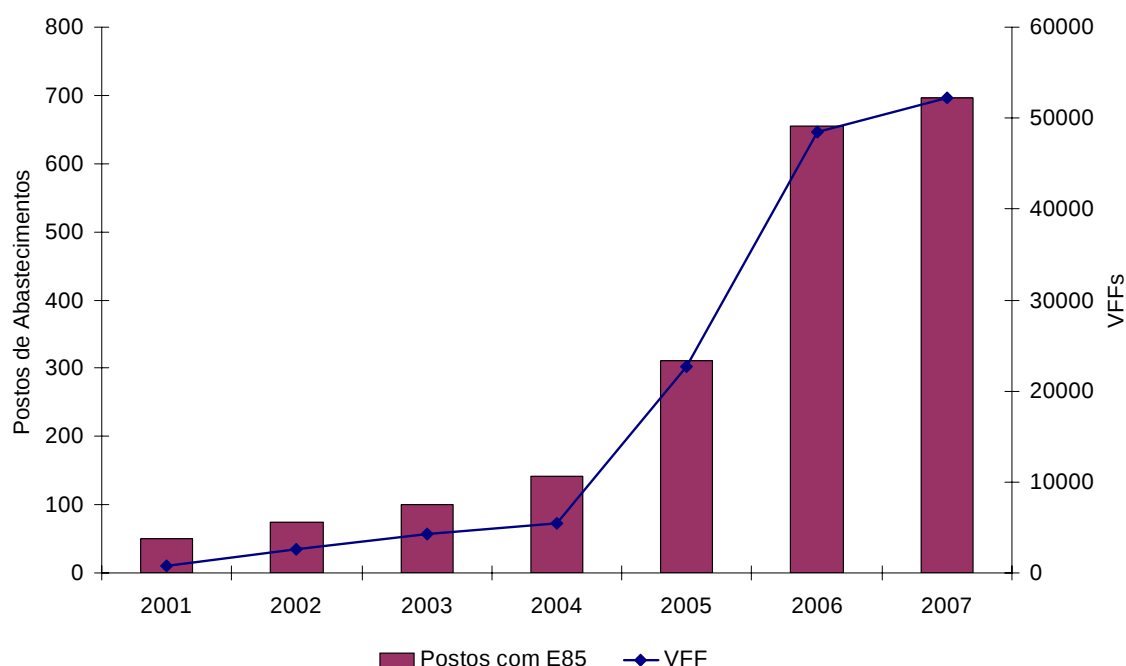
Com relação a rede de distribuição, o início de seu desenvolvimento foi baseado em esforços associativos dos diferentes *stakeholders*, com apoio financeiro nos programas de desenvolvimento local e/ou ambiental criados pelo governo sueco. Inicialmente, a empresa distribuidora de combustíveis derivados de petróleo, a OK-Q8, participante do *technical procurement* se comprometeu a investir em bombas de E85 em municípios com mais de 50 VFF (Atrax Energi, 2005). A empresa contou para isso com a cooperação da SEKAB para o abastecimento destas bombas. Este compromisso se beneficiou do suporte financeiro público, o qual abrange o investimento em bombas de E85 nos postos de combustíveis já existentes e o financiamento especial para a inclusão de bombas flexíveis E85 flexíveis (isto é bombas em que se pode determinar o *mix* entre etanol e gasolina no momento do abastecimento) bem como sistemas de armazenagem resistentes ao etanol em projetos de postos novos⁷⁴. Em seguida, a *BioFuel Region*, uma organização não governamental (ONG) criada em 2003 como arena de cooperação no que diz respeito ao uso de biocombustíveis, também teve papel importante. A ONG conta entre seus membros 16 municípios, 4 instâncias de governo (como secretarias de transporte e energia), 3 universidades e 6 agentes privados (dentre eles a SEKAB). Segundo a Atrax Energi (2005) os recursos disponíveis são captados de programas governamentais e também programas no âmbito da União Européia. Com base nestes recursos, a ONG cobriu 30% dos custos de investimento em 14 postos de abastecimento de E85 na cidade de Örnköldvik.

Finalmente, em 2005 o governo passa uma lei que torna obrigatório a implantação de bombas de E85 em todos os postos com volume de vendas acima de 3500 toneladas de gasolina ano a partir de 2006. Este volume mínimo será reduzido para 1000 toneladas ano a

⁷⁴ A inclusão de uma bomba de abastecimento flexível custa entre 3300 e 5000 euros, enquanto um tanque de estocagem custa entre 16 e 33 mil euros (Atrax Energi, 2005)

partir de 2009 (Silveira e Segerborg-Fick, 2006) Atualmente existem 696 postos de abastecimento com bombas de E85 na Suécia (BAFF, 2007).

Gráfico 4.4-2 – Evolução da Frota de veículos FFV e dos postos de abastecimento na Suécia : 2001 – 2007*



Fonte: BAFF, 2007
*até fevereiro de 2007

4.4.3 - Brasil: seleção adversa ou inovação tecnológica?

No Brasil, o desenvolvimento tecnológico dos veículos flex-fuel se deu em meados dos anos 90. Graças ao Programa de Apoio ao uso do Álcool (Pro-Álcool), o Brasil contava com uma ampla infra-estrutura de abastecimento de álcool. A cobertura desta rede de abastecimento alcança aproximadamente 92% dos cerca de 30 mil postos de abastecimento em todo o país.

Ao contrário do caso americano em que a flexibilidade é um elemento fundamental em face da baixa cobertura da rede de abastecimento e distribuição de etanol, no Brasil, a flexibilidade foi o elemento que permitiu a superação da aversão ao risco de desabastecimento. Com um veículo flexível o país poderia se beneficiar da rede de abastecimento existente e toda a experiência em produção do combustível para estimular o uso do álcool. O apoio ao uso do álcool se dá num contexto inteiramente diferente do contexto em que se deu nos anos 80. A época o elemento principal era a redução da dependência externa do país das importações de petróleo num ambiente de preços em elevação e restrições no balanço de pagamentos. Nos anos 2000, o uso do etanol teria como benefício principal a redução das emissões e o estímulo econômico a um setor de peso na economia brasileira.

Do ponto de vista da indústria automobilística, a produção de veículos flex seria também uma opção interessante uma vez que isto possibilitaria a produção de apenas um modelo de veículo em vez de duas versões: uma a gasolina e outra a álcool. Como ressalta Teixeira (2005) as pesquisas sobre os veículos *flex fuel* no Brasil foi levada a cabo inicialmente pelas empresas de auto-componentes – principalmente a Bosch e a Magnetti Marelli-de maneira independente da indústria automobilística. Estas pesquisas vêm sendo desenvolvidas desde meados dos anos 90 e apenas nos anos 2000 houve maior cooperação entre indústria automobilística e produtores de auto-componentes. Isto porque estas empresas apenas produzem a tecnologia de identificação do combustível e otimização do funcionamento do motor a partir da injeção eletrônica.

Do ponto de vista de política, o elemento que possibilitou a introdução dos veículos flex-fuel no mercado brasileiro foi a mudança no regime de Imposto sobre Produtos

Industrializados (IPI) sobre os automóveis. Em 2002, o governo incluiu os veículos flex-fuel na categoria de carros a álcool. Com esta vantagem fiscal, os veículos flex podiam ter preços mais próximos dos modelos similares na versão a gasolina e puderam expandir sua participação no mercado.

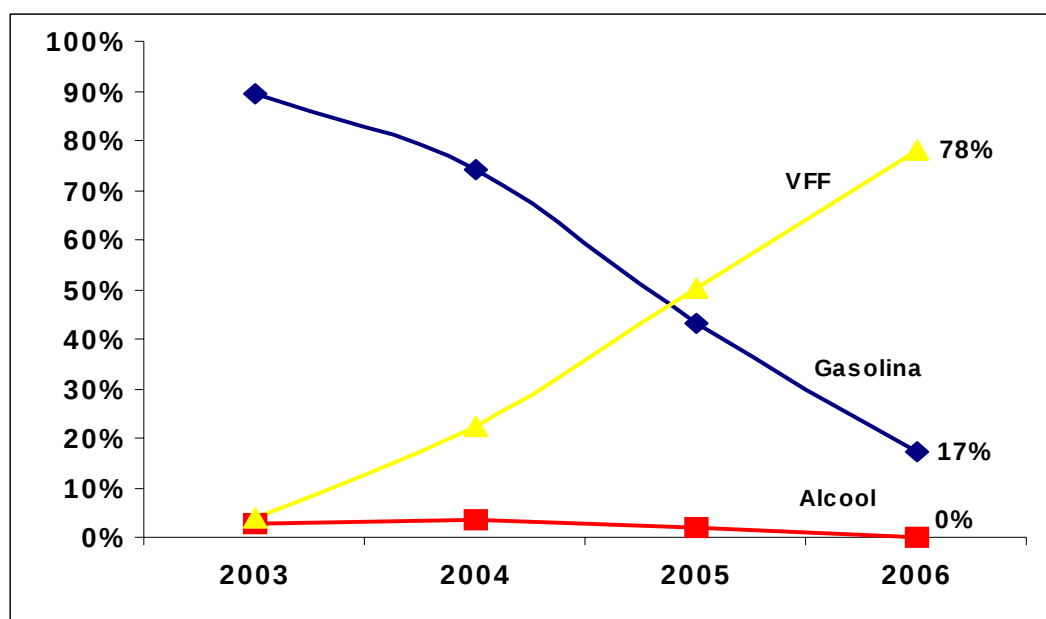
Tabela 4.4-1- Imposto sobre Produtos Industrializados: Alíquotas incidentes sobre veículos Flex Fuel e demais veículos de passageiros no Brasil (%)

Tipo de veículo	2000/2001	2002/2003	2004/2005
<1000 cc	10	9	7
>1000cc gasolina	25	----	----
>1000cc álcool	20	----	----
1000< x <2000cc gasolina	----	15	13
1000< x <2000cc álcool ou FFV	----	13	11
>2000 cc gasolina	----	25	25
>2000cc álcool ou FFV	-----	20	18

Fonte: Anuário estatístico Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), 2006

Assim em maio de 2003, a Volkswagen lança o primeiro flex fuel no mercado brasileiro, o Gol 1.6 Total Flex. A Chevrolet segue a concorrente ao lançar o Corsa 1.8 Flexpower. Atualmente, além das duas empresas citadas, a Fiat, a Ford, a Peugeot, a Renault e a Toyota produzem veículos flex fuel no mercado brasileiro. Não há como negar o sucesso comercial destes veículos. A frota brasileira era composta por aproximadamente 4 milhões de veículos (Almeida et al, 2007) e em 2006 eles representaram 70% das vendas de veículos leves no Brasil. Em julho de 2007 esta participação cresce para 88% das vendas de veículos novos (Anfavea, 2007).

Gráfico 4.4-3 – Vendas de veículos leves no Brasil entre 2003 e 2006: por tipo de combustível



Apesar do incontestável sucesso comercial, existe um debate sobre a importância destes veículos no Brasil. Quando se compara o desempenho de um motor dedicado a álcool desenvolvido no Brasil nos anos 80 e os veículos flex fuel, alguns como Sharp (2005) argumentam que houve uma distorção, pois foi selecionada uma tecnologia inferior, de menor eficiência. O autor argumenta que o risco incorrido pelo consumidor brasileiro de álcool é baixo dado a amplitude da rede de abastecimento. Alguns conceitos apresentados no primeiro capítulo se aplicam ao caso dos veículos flex-fuel e que trazem luz ao debate:

i) a flexibilidade não é gratuita e neste caso ela tem como custo a perda de eficiência dos motores em função das diferenças de octanagem e o estabelecimento de uma taxa de compressão intermediária.

ii) a flexibilidade permite uma reação a incerteza do ambiente que advém, não da cobertura de infra-estrutura de abastecimento, mas sim do risco da oferta de etanol ser insuficiente ao atendimento da demanda face a flexibilidade dos produtores;

iii) o atributo permite a adoção de uma postura ativa do consumidor que se beneficia de vantagens propiciadas por diferencial de preços relativos dos combustíveis;

iv) os rumos do progresso técnico são influenciados pelos desafios que o meio impõe as firmas e como este seleciona as alternativas encontradas por estas, com base nas possibilidades abertas pela própria trajetória tecnológica explorada. Neste sentido, o sucesso comercial dos veículos flex fuel são o elemento chave para estimular busca por soluções que reduzam o *trade-off* flexibilidade x eficiência destes motores.

Tabela 4.4-2 - Quadro síntese das experiências em ordem cronológica

País	Grupo de Interesse	Políticas	Resultados	Situação Atual
EUA	Indústria Automobilística e produtores de etanol	AMFA (1988) e EPA (1992)	Ford lança primeiro VFF em 1992	6,5 milhões de veículos e infraestrutura insuficiente
Suécia	Acordo político bi partite: interesses agrícolas x interesses nucleares	Políticas de apoio ao etanol em misturas com diesel e gasolina Políticas mandatárias de investimento em bombas de E85	Technical procurement em 1999 Primeiro VFF em 2001 – Ford Focus	Desenvolvimento equilibrado entre crescimento da frota e postos de abastecimento
Brasil	Produtores de álcool e açúcar	Redução da IPI para produção de VFF	VW – Gol em 2003	83% das vendas de veículos novos 8% da frota

4.4.4 – Conclusões: Perspectivas de evolução tecnológica e difusão da flexibilidade

Os principais desafios tecnológicos a serem enfrentados pela tecnologia flex-fuel dizem respeito à partida a frio e a taxa de compressão.

Com relação a partida a frio, as duas soluções atualmente em uso apresentam inconvenientes. O uso do E85 tem como principal inconveniente a limitação no uso do

combustível alternativo. Além disso, a proporção de gasolina no etanol pode não ser suficiente em determinadas temperaturas, por isso também não é uma proporção fixa, mas variável em função das estações do ano. No que concerne ao reservatório de partida a frio, deve-se levar em consideração o prazo de estocagem da gasolina neste tanque, que em geral é de quatro meses. Para reduzir este risco, a tendência é a confecção de reservatórios pequenos, de modo a reduzir o volume de gasolina armazenado, o que configura um *trade-off* entre autonomia em termos de números de partidas a frio e a validade do combustível. Outra solução vista pela indústria é a diminuição da temperatura necessária para a ativação da partida a frio. A alternativa contrária é a utilização de uma quantidade mínima da gasolina deste reservatório independente da temperatura ambiente, com a conseqüente introdução de uma luz no painel de indicação do nível de combustível neste reservatório⁷⁵. O segundo elemento se refere a um inconveniente para a indústria automobilística: todo o sistema de partida a frio (reservatório, chicote elétrico, tubos e bomba) aumenta o custo de produção do veículo, pois é todo um conjunto adicional em relação a um veículo a gasolina. Assim, as pesquisas da indústria automobilística têm se voltado para a busca de soluções menos inconvenientes. Os principais fabricantes de sistemas flexíveis – a Bosch, a Magnetti Marelli e a Delphi – realizam pesquisas de soluções alternativas. Segundo Moura (2005) a Bosch já apresentou um protótipo do seu sistema de aquecimento, o Flex-Start e a Magnetti Marelli também está em fase de testes do seu projeto ECSS (*Ethanol Cold Start System*). No Flex-Start, cada bico injetor recebe uma resistência elétrica; no ECSS, um injetor extra é responsável pelo aquecimento do combustível e o lança no coletor de admissão. Apesar

⁷⁵ O Renault Clio com motor 1.6 16 V Hi flex é o modelo no qual a Renault aposta na autonomia da partida a frio que é acionada em temperatura abaixo de 18°C e com mistura de combustível superior a 85% no tanque. A solução contrária é adotada pela Honda em seu modelo Honda Civic EXS flex e tem por objetivo evitar o envelhecimento da gasolina no reservatório de partida a frio. (Guia Quatro Rodas, 2006 e 2007)

de ser um projeto tocado no Brasil, o aquecimento de combustível vai ao encontro de necessidades comuns ao mundo todo. Por exemplo, atender às normas antipoluição, cada vez mais rígidas.

Existem alguns desafios a serem superados por estas soluções. O primeiro refere-se a necessidade de baterias elétricas maiores que as convencionais, que supram a maior demanda de energia num momento em que a bateria não é recarregada pelo alternador. Baterias são mais caras do que aquelas usadas em carros populares. Além disso, conforme ressalta Moura (2005), os pacotes de bicos injetores com aquecimento elétrico prevêm aumento da pressão de injeção do combustível no motor com o fim de aumentar a vaporização do combustível e proporcionar a conseqüente aumento da eficiência na queima.

A taxa de compressão é o ponto mais frágil da tecnologia flex-fuel. Existem duas soluções tecnológicas para este problema. Uma delas é o desenvolvimento de um motor com taxa de compressão variável. Segundo Nishihata (2007), há sete anos atrás, a Saab demonstrava o conceito SVC (*Saab Variable Compression*), um motor 1.6 cujo cabeçote e parte do bloco movimentavam-se para modificar o volume das câmaras de combustão. Um sistema como o SVC, além de apresentar vantagens em termos de potência e consumo, poderia solucionar a principal deficiência dos motores flex. Tal sistema seria a solução ideal para um veículo flex fuel, pois permitiria rodar com taxas entre 8:1 e 15:1 e extrair o máximo do álcool sem a necessidade de medidas antidetonantes⁷⁶.

⁷⁶ Com relação a taxa de compressão variável, existem três soluções em estudo pela indústria. A primeira consiste na instalação de uma válvula extra em cada câmara de combustão. Esta válvula seria acionada por um eixo-comando ligado ao virabrequim, variando sua abertura de acordo com o regime de funcionamento do motor. Ao abrir e fechar, a válvula varia o volume da câmara e assim altera o valor da taxa de compressão. As modificações mecânicas ficariam limitadas à região do cabeçote do motor. Esta solução está sendo analisada pela Volvo. Segundo a Quatro Rodas (2006) esse sistema tem como desvantagem o fato de gerar maiores perdas mecânicas, além do possível comprometimento da queima completa pelo espaço criado pela válvula. A segunda alternativa, a biela convencional é dividida em duas partes, uma ligada ao pistão e outra conectada a

Outra possibilidade refere-se ao uso de um turbocompressor nos motores flex-fuel. Um turbocompressor é uma forma de aumentar a pressão do ar que entra nos cilindros e pode aumentar a eficiência de um motor. Esta turbina aspira os gases de combustão e os pressiona para dentro do motor com o fim de aumentar a pressão da entrada de ar. Em geral, eles são inseridos em um motor com o objetivo de aumentar a performance e não para economia de combustível. A Saab é um exemplo de montadora que produz veículos flexfuel com o uso do turbocompressor. O objetivo é exatamente aumentar a taxa de compressão com o uso do etanol (E85) e com isso obter o máximo de performance possível com este combustível. A tecnologia intitulada Saab Biopower, permite um aumento de 20% da potência máxima conseguida com o consumo do E85 em relação a gasolina e de 15% de torque a mais⁷⁷. No que se refere ao consumo de combustível, porém, esta se mantém próxima a razão dos conteúdos energéticos. Cabe ressaltar que os veículos vendidos pela empresa são veículos esportivos ou veículos de luxo. Assim, estes conseguem ultrapassar a principal barreira a maior adoção desta solução, o custo. Segundo Moura (2005) uma turbina de compressor custa em média R\$ 1000. Assim, conforme ressaltado pela IEA (2006) o maior uso de turbocompressores deve se dar inicialmente em modelos mais caros.

Outras possibilidades de evolução desta tecnologia referem-se a possibilidade de uso de mais de dois combustíveis. Os chamados modelos tri-fuel que são desenvolvidos no

um eixo comando, por meio de uma articulação. Dessa forma, é possível variar o deslocamento do pistão, modificando a taxa de compressão de acordo com essa variação. A desvantagem deste sistema, buscado pela Nissan, Peugeot Citroën e Ford, se refere a vibração do motor. A terceira alternativa seria a variação da altura dos pistões, como o fim de limitar ao máximo as alterações na arquitetura da parte mecânica. A DaimlerChrysler e a Ford propõe sistemas com base nesta lógica. Segundo a Quatro Rodas (2006), esse mecanismo é, aparentemente, simples mas será um desafio criar um sistema que trabalhe com velocidade rápida o suficiente, sem se tornar demasiadamente complexo.

⁷⁷ Baseado em informações conseguidas com a própria empresa. Os dados de torque e potência decorrem do modelo Saab 9-5 2.0 Biopower. Este modelo prevê o uso de um turbo com 0,95 bar com o uso de E85. Ver <http://www.saabbiopower.co.uk/default.asp?docId=13003&ebro=95|94500&insert=true> (acessado em 15/08/2007)

Brasil seriam modelos que sairiam de fábrica com a possibilidade de uso da tecnologia flex-fuel em associação ao uso do GNV. Neste caso, as diferenças de octanagens dos três combustíveis exigiriam a presença de um turbocompressor para otimizar seu funcionamento. Os chamados modelos tetrafuel, além de integrar a possibilidade de uso do GNV, permitem o funcionamento com gasolina pura ou com baixo teor de álcool (5%), que é mais comum em outros países do América do Sul. Outra possibilidade apresentada recentemente é a integração da tecnologia *flex fuel* em modelos híbridos (elétricos).

Segundo a IEA (2006), os veículos flex podem se beneficiar da difusão de inovações tecnológicas direcionadas para o aumento da eficiência em veículos dedicados a gasolina. Além da difusão do maior uso de turbocompressores em motores, o uso da injeção direta de combustível e controle de válvulas variáveis⁷⁸ pode levar a um consumo de combustível 7% menor do que o obtido atualmente. O quadro 4.3-6 apresenta as perspectivas de evolução das tecnologias de motores dedicados a gasolina, motores dedicados a álcool e motores flex-fuel.

Algumas considerações merecem ser feitas a partir deste quadro. Em primeiro lugar, a tecnologia flex-fuel não deve responder por ganhos de economia de combustível nem de emissões em relação aos veículos a gasolina. Sobre este resultado, cabe lembrar que a IEA (2006) somente leva em consideração a introdução de avanços tecnológicos pensados para

⁷⁸ A injeção direta consiste em injeção do combustível a alta pressão por bicos instalados diretamente nas câmaras de combustão. Os sistemas de injeção eletrônica tradicionais são sistemas de injeção indiretos em que o combustível é injetado na porta ou coletores de admissão. O uso da injeção direta permite a combustão com uma mistura pobre (mais ar e menos combustível) em momentos na potência máxima. Nos momentos de solicitação de maior torque utiliza-se a mistura homogênea, que permite melhor eficiência termodinâmica e menores perdas de calor nas paredes. Além disso, a injeção direta permite uma taxa de compressão maior. GM (2007). O comando de válvulas variável permite otimização do processo de combustão. Enquanto num motor Otto comum o controle da admissão de ar é feito por meio de um estrangulador (borboleta), num Otto com VVEL isto é feito diretamente nas válvulas de admissão, controlando o tempo de abertura e fechamento e o levantamento de cada uma de admissão independentemente.

veículos a gasolina em veículos de tecnologia flex. Neste sentido, não se considerou a possibilidade da difusão de desenvolvimentos que permitem uma taxa de compressão variável. Cabe lembrar também que esta análise prospectiva está baseada nos veículos flex que usam o chamado E85. Em segundo lugar, esta comparação não apresenta o desempenho dos veículos em termos de torque e potência. Como mostrado anteriormente, a inclusão dos avanços tecnológicos nos motores de ciclo Otto (turbocompressor, injeção direta e controle de válvulas variável) com o uso de etanol em motores flex tende a tirar proveito das vantagens deste combustível. Em suma: a trajetória de evolução tecnológica dos veículos flex poderá se beneficiar tanto de progressos conseguidos na própria trajetória de evolução dos veículos a gasolina, como de evoluções voltadas a resoluções de gargalos particulares da tecnologia o que pode mesmo levar mesmo a novas trajetórias em direção a novos paradigmas, como a possibilidade de junção de modelos híbridos/flex.

Tabela 4.4-3 – Comparação entre o estado atual e perspectivas de evolução das tecnologias dos veículos a gasolina, etanol dedicados e flex-fuel⁷⁹

Motor	Classes	2003-2015	2015 – 2030	2030-2050
	Estágio tecnológico	Motor convencional	Introdução de turbo, injeção direta e controle de válvulas.	Técnicas de combustão avançada e tratamentos de NOx
Gasolina	Custo de LDV tamanho médio (10 ³ US\$)	15,3 – 16,9	15,4 - 17	15,5 – 17,1

⁷⁹ A tabela apresenta uma estimativa dos custos dos veículos e economias de combustíveis que levam em consideração progressiva adoção dos avanços tecnológicos referidos. Esta estimativa se refere a um veículo de tamanho médio e considera que metade do potencial de melhoria das tecnologias será destinada ao aumento na economia de combustível. Também leva em consideração maior difusão de tecnologias pós tratamento. A estimativa de custo pressupõe a adoção destes avanços em veículos médios e se referem ao preço no varejo dos veículos sem taxas. Entre 2010 e 2050, economias de escala e aprendizado respondem pela redução de custos IEA (2006).

	Economia de combustível (litros de gasolina equivalente/100km)	5,4 – 9,7	5,1 – 9,1	4,7-8,4
	Emissões de CO ₂ (veículo)	130 - 234	122-219	114 - 204
	Emissões de CO ₂ (WTW)	151 – 270	141 – 253	131 - 235
Dedicado a Etanol	Custo de LDV tamanho médio (10 ³ US\$)	15,3 – 16,9	15,5 – 17,1	15,6
	Economia de combustível (litros de gasolina equivalente/100km)	4,8 – 8,6	4,5 – 8	4,2 – 7,5
	Emissões de CO ₂ (veículo)	120 – 215	112 – 200	103 – 185
	Emissões de CO ₂ (WTW)	Depende de tecnologia de produção		
Veículo Flex Fuel com E85	Custo de LDV tamanho médio (10 ³ US\$)	15,6 – 17,2	15,6 – 17,2	15,6 – 17,2
	Economia de combustível (litros de gasolina equivalente/100km)	5,4 – 9,6	5-9	4,7 – 8,4
	Emissões de CO ₂ (veículo)	133 - 239	125 – 224	116 - 209
	Emissões de CO ₂ (WTW)	Depende de tecnologia de produção		

Fonte: IEA, 2006

Com relação às perspectivas sobre a adoção/difusão desta tecnologia Prost (2006) afirma que há um crescente interesse de outros países além dos mencionados anteriormente. Segundo o autor, estes veículos já estão disponíveis ao público, no Reino Unido, no Canadá e na Alemanha. Na França, os VFF foram introduzidos em 2007. Outros países que pensarem em estabelecer misturas com conteúdo de etanol entre 10 e 100% também poderão estimular o uso destes combustíveis, uma vez que estes já se encontram adaptados para este fim.

O papel desta tecnologia no futuro é estimado pelo conselho Europeu de Pesquisa e Desenvolvimento Automotivo (Drescher, 2007). Segundo as perspectivas desta associação para 2030, os veículos a combustão interna ainda responderão por 80% das vendas de

veículos leves na Europa, apesar do aumento da participação de outros veículos alternativos, como veículos híbridos, gasolina, hidrogênio. A evolução dos veículos a combustão interna, será na direção de permitir a utilização de misturas com crescentes conteúdos de biocombustíveis. Portanto, haverá espaço para aumento da participação desta tecnologia no médio prazo.

Todavia, cabe ressaltar que a maior difusão destes veículos encontra algumas barreiras. Além do debate em torno da sua eficiência energética, os custos de investimento em infraestrutura de abastecimento demandam maiores incentivos públicos a sua construção. Outro elemento importante nas perspectivas de difusão destes veículos se refere ao lado da oferta. Suprir as necessidades de uma demanda crescente de E85 tenderia a pressionar ainda mais o mercado de insumos para a produção de etanol. Desta forma, os VFF terão sua difusão baseada essencialmente em sua capacidade de utilizar misturas com volumes superiores a 10% de etanol, mas não necessariamente o E85.

Assim, pode-se concluir que a flexibilidade é o atributo diferencial desta tecnologia que permite a superação do chamado dilema “ovo e galinha” enfrentado por outras tecnologias alternativas no setor de transporte (IEA, 2006). Além disso, as condições de oferta do próprio etanol são suficientemente incertas para comprometer a adoção de tecnologias dedicadas. A tendência do setor de transporte é a do desenvolvimento de tecnologias flexíveis que permitam a transição para uma solução alternativa ao uso de combustíveis minerais. Atualmente esta é a tecnologia que melhor representa esta tendência. A tecnologia flex fuel é uma tecnologia que permite ganhos ambientais e de diversificação de fontes por possibilitar o uso do etanol. Neste sentido, a tecnologia acaba

deslocando o debate dos ganhos ambientais de sua adoção para as considerações do lado da oferta do combustível.

CAPÍTULO 5

INTEGRAÇÃO DOS MERCADOS ENERGÉTICO E AGRÍCOLA:

EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

A partir do arcabouço de análise desenvolvido nos primeiros dois capítulos desta tese e da apresentação do objeto de estudo nos dois capítulos seguintes, este capítulo apresenta a análise empírica. O objetivo desta análise é identificar em que medida, a flexibilidade produtiva e energética do caso brasileiro se reflete em relações de preços distintas daquelas ocorridas no mercado norte-americano. Dessa forma o estudo empreendido se procede em diferentes etapas, ao analisar as diferentes dimensões do processo de integração de mercados possíveis em torno da difusão do uso e produção do etanol, a saber: a dimensão geográfica do mercado de etanol; a dimensão produto pelo lado da demanda; a dimensão produto, pelo lado da oferta; e por fim, a perspectiva mais ampla da integração entre os mercados energético e agrícola.

5.1 Um panorama sobre o mercado mundial de combustíveis

A produção mundial estimada para 2007 é de aproximadamente 60 bilhões de litros, com EUA ultrapassando a posição de principal produtor mundial de etanol do Brasil (FO Licht, 2007 apud Steenblik, 2007)

Tabela 5.1-1 – Produção Mundial de Etanol Combustível (em milhões de litros) - 2000-2006

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Brasil	10656	11434	12565	14729	14663	16067	16745
EUA	6171	6684	8151	10617	12906	14755	18168
Canadá	238	238	250	250	250	250	250
China	---	---	289	800	1000	1000	1000
India	---	---	---	150	100	300	500
EU	210	280	420	545	640	950	1400
Total Mundo	17315	18676	21715	27131	29605	33592	38773

Fonte : F.O Licht, 2006

A produção apresentou um crescimento de 24% entre 2000 e 2006 e se tornou um pouco menos concentrada. Em 2000, o Brasil representava 62% da produção e os EUA 36% (ou seja, os dois países respondiam por 98% da produção), enquanto em 2006 esta participação cai para 43% e sobe para 47% no caso americano (90% da produção mundial). Em termos de transações internacionais, os principais países produtores são os maiores consumidores e, portanto o mercado internacional tende a ser restrito. Segundo Steeblick (2007), o comércio internacional de etanol representou 10% do consumo. A tabela 5.1-2 apresenta o significativo crescimento das transações internacionais verificado nos últimos anos a partir da evolução das importações norte-americanas e a evolução das exportações brasileiras.

Gráfico 5.1-1 – Evolução das transações internacionais de etanol combustível: importações norte-americanas x exportações brasileiras

Importações Norte Americanas					
Origem	2002	2003	2004	2005	2006
Brasil	0	0	342	118	1642
Costa Rica	45	56	96	126	136
El Salvador	17	26	22	90	146
Jamaica	110	149	139	137	253
Trinidad & Tobago	0	0	0	38	94
Total	172	231	605	511	2473
Exportações Brasileiras - Destino					
Destino	2002	2003	2004	2005	2006
EUA	na	na	425	260	1767
Costa Rica	na	na	117	100	91
El Salvador	na	na	29	149	181
Jamaica	na	na	134	135	131
Holanda	na	na	167	264	3467
Suécia	na	na	193	245	205
Trinidad & Tobago	na	na	7	36	72
Total	759	762	2408	2183	3426

Fonte : RFA, 2007 e Secex, 2007

Em termos de participação no consumo energético do setor de transportes, o etanol ainda representa uma parcela bastante reduzida do mesmo no mundo. Em 2006 esta participação foi de 1% (IEA, 2006b). Porém, esta participação supera 13% do consumo de combustíveis do setor de transporte no Brasil, supera a participação de 2% na Suécia e nos EUA chega a quase 2% (IEA, 2006b).

5.1 Fonte de dados e metodologia

O período de análise foi definido entre janeiro de 2000 a agosto de 2007, pois este período compreenderia a fase recente de maior impulso do mercado de etanol. A frequência dos dados é mensal, o que perfaz um total de 91 observações. As fontes, bem como a descrição dos dados utilizados foram as seguintes:

- Preços do etanol anidro e hidratado ao produtor: Indicador mensal de preços ao produtor calculados e divulgados pelo Centro de Pesquisa Econômica Aplicada (CEPEA) da Escola Superior Alfredo Luiz de Queiroz (Esalq) da Universidade de São Paulo (USP)⁸⁰.
- Preços do etanol hidratado e da gasolina ao varejo no mercado brasileiro: média mensal calculada e divulgada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Os dados foram convertidos para dólar pela taxa de câmbio média mensal cotação de venda divulgada pelo Banco Central (Ipeadata, 2007)⁸¹.
- Preços do açúcar no mercado brasileiro: o indicador mensal foi construído a partir do indicador diário do açúcar cristal no mercado de São Paulo, calculado pelo CEPEA/ Esalq. Adotou-se o mesmo procedimento do caso do etanol ao produtor.

⁸⁰ O CEPEA realiza um levantamento diário dos preços aos produtores no estado de São Paulo e o indicador se refere à média ponderada (pelos volumes) dos contratos efetivamente transacionados. O indicador mensal se refere a média ponderada do último dia útil do mês em R\$/litro. Este foi convertido a dólares correntes pela cotação de fechamento do último dia útil do mês (câmbio comercial de venda) segundo os dados do Banco Central.

⁸¹ Também utilizou-se uma série preços de indicador mensal, baseada nos indicadores diários do mesmo centro de pesquisa. A série foi formada pelos cotações do último dia útil convertida a dólares pelo taxa de câmbio igualmente de venda do último dia útil do mês. Os resultados qualitativos dos testes não mostraram alterações.

- Petróleo: referem-se às cotações mensais do WTI, fornecidos pela Administração de Energia do Departamento de energia norte-americano (EIA/DOE).
- Milho: foram utilizadas as médias mensais dos preços de mercado (milho n.2 amarelo) fornecidos pelo serviço de pesquisa econômica (ERS) do departamento de agricultura norte-americano (USDA). Foram tomados por base os preços nos mercados de Chicago, por ser o principal mercado e por ser sede da bolsa de valores (na qual são transacionados contratos futuros do produto), bem como o mercado de Omaha, pois é o mercado para o qual se dispõe de preços do etanol anidro no mercado norte americano.
- Etanol Anidro e Gasolina no mercado norte-americano: Os únicos dados (gratuitos) disponíveis sobre os preços do etanol anidro neste mercado, são os preços médios mensais no atacado (rack prices) no mercado de Omaha, fornecidos pelo Departamento de Energia do estado de Nebraska (NEO, 2007). Em função desta disponibilidade de dados, a análise da integração de mercado – dimensão produto – foi feita com base na comparação destes preços com a média mensal dos preços da gasolina no atacado neste mesmo mercado.
- Açúcar – mercado internacional: os dados referentes ao preço internacional foram baseados no contrato n. 11 do açúcar bruto na bolsa de Nova York (The ICE)⁸². As cotações de fechamento do último dia útil de cada mês dos

⁸² Em 2007, a New York Board of Trade (NYBOT) foi comprada e passou a ser denominada International Commodity Exchange (ICE).

contratos de expiração mais próxima foram consideradas boas aproximações do comportamento do mercado internacional e, foram, portanto adotadas⁸³.

As análises empíricas foram realizadas com os preços destas variáveis em logaritmo neperiano. Como as variáveis foram convertidas para dólares nominais, ignorou-se o efeito da inflação norte-americana⁸⁴. As ressalvas particulares serão feitas em cada seção. Os testes foram realizados com os softwares Eviews (versão 5.0) e Jmulti (versão 4.22).

A tabela 5.1.1 apresenta as estatísticas descritivas dos referidos preços. Pelo que se pode ver desta tabela, a estatística de Jarque Bera indica que todas as variáveis em logarítmicos são aceitas como distribuídas como uma normal ao nível de significância de 10% exceto o preço do milho no mercado americano. A tabela 4.1.2 apresenta os resultados dos testes de raiz unitários para as variáveis em logarítimo e para a primeira diferença dos preços. Como foi visto no segundo capítulo, o primeiro passo da análise de co-integração é determinar a ordem de integração entre as variáveis.

Os testes realizados confirmam a hipótese de que todas as variáveis consideradas são $I(1)$. Apenas para uma variável houve resultados divergentes: o teste KPSS permite aceitar a estacionaridade do etanol hidratado ao produtor brasileiro ao nível de 5%. Porém, como os outros dois testes realizados indicam o contrário, optou-se por interpretar as variáveis como $I(1)$.

⁸³ Outra bolsa de transações importante para o mercado internacional de açúcar é a bolsa de Londres, a LIFFE. Todavia, os dados referentes as cotações desta bolsa não estavam disponíveis gratuitamente. Além disso, o peso das exportações brasileiras nesta bolsa, pode permitir aos produtores brasileiros maior margem de manobra de preços.

⁸⁴ O fato de ignorar a inflação pode ter como efeito o aumento na probabilidade em se aceitar a hipótese de cointegração entre os dados, uma vez que eles estarão compartilhando uma tendência em comum que é a inflação norte americana. Este elemento tem maior força nas comparações ocorridas no mercado norte americano, isto é dimensão produto na oferta e na demanda. Apesar dessa ressalva, os resultados encontrados em termos nominais não parecem indicar que a presença desta tendência em comum tenha sido o elemento determinante pois, ainda sim, a rejeição da hipótese de cointegração não foi raro na análise.

Tabela 5.1-1 – Séries de Preços consideradas : estatísticas descritivas

Variável (nível) (Log)	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Jarque Bera p-valor
Etanol Anidro Brasil ¹	0,30	0,097	0,56	0,13	0,06
	3,36	0,32	4,02	2,6	0,53
Etanol Anidro EUA ¹	0,44	0,14	0,95	0,25	0,00
	3,74	0,31	4,55	3,22	0,15
Etanol Hidratado ao produtor ¹	0,28	0,09	0,56	0,11	0,05
	2,79	0,33	3,56	1,99	0,57
Etanol Hidratado ao varejo ¹	0,54	0,17	0,93	0,27	0,08
	3,94	0,31	4,88	3,83	0,25
Gasolina Brasil ¹	0,87	0,24	1,32	0,46	0,03
	4,43	0,28	4,54	3,28	0,08
Gasolina EUA ¹	0,33	0,13	0,70	0,15	0,00
	3,45	0,37	4,25	2,69	0,17
Milho EUA ²	0,23	0,05	0,39	0,16	0,00
	3,12	0,20	3,66	2,76	0,00
Açúcar Brasil ³	22,06	7,80	43,7	11,29	0,00
	3,04	0,32	3,77	2,42	0,16
Açúcar Internacional ³	19,72	6,51	39,72	10,25	0,00
	2,83	0,30	3,59	2,23	1,12
WTI ⁴	41,33	16,3	74,41	19,39	0,01
	3,65	0,38	4,3	2,96	0,03

¹US\$/l ; ²US\$/l equivalente ; ³US\$ cents/kg ; ⁴US\$ / barril

Fontes : Cepea/ Esalq, Nebraska Ethanol Coalition, EIA/DOE, ERS/USDA, ANP

Tabela 5.1-2 – Testes de Raiz Unitária

Variável \Teste	log			Δ log		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
Etanol Anidro Brasil	-2,07*	-1,87*	0,57	-4,68	-6,65	0,07*
Etanol Anidro EUA	-1,49*	-1,64*	0,86	-8,12	-7,05	0,06*
Et. Hidratado ao Produtor	-2,26*	-1,92*	0,42*	-5,09	-6,73	0,06*
Et. Hidratado ao Varejo	-1,10*	-0,27*	0,99	-4,65	-7,59	0,17*
Gasolina Brasil	-1,25*	-1,07*	0,86	-5,61	-5,6	0,07*
Gasolina EUA	-0,54*	-0,75*	1,08	-5,41	-10,21	0,16*
Milho EUA	-2,31*	-1,74*	0,50	-4,62	-5,76	0,06*
Açúcar Brasil	-1,79*	-1,67*	0,53	-4,73	-8,20	0,08*
Açúcar Internacional	-1,92*	-2,02*	0,56	-10,05	-10,06	0,08*
WTI	-0,39*	-0,28*	1,06	-7,50	-8,81	0,14*

Obs.: Nos testes ADF e PP, Ho= possui raiz unitária, enquanto no KPSS Ho= estacionaridade.

Testes realizados apenas com constante, sem tendência nos dados.

* Aceita Ho a 5%.

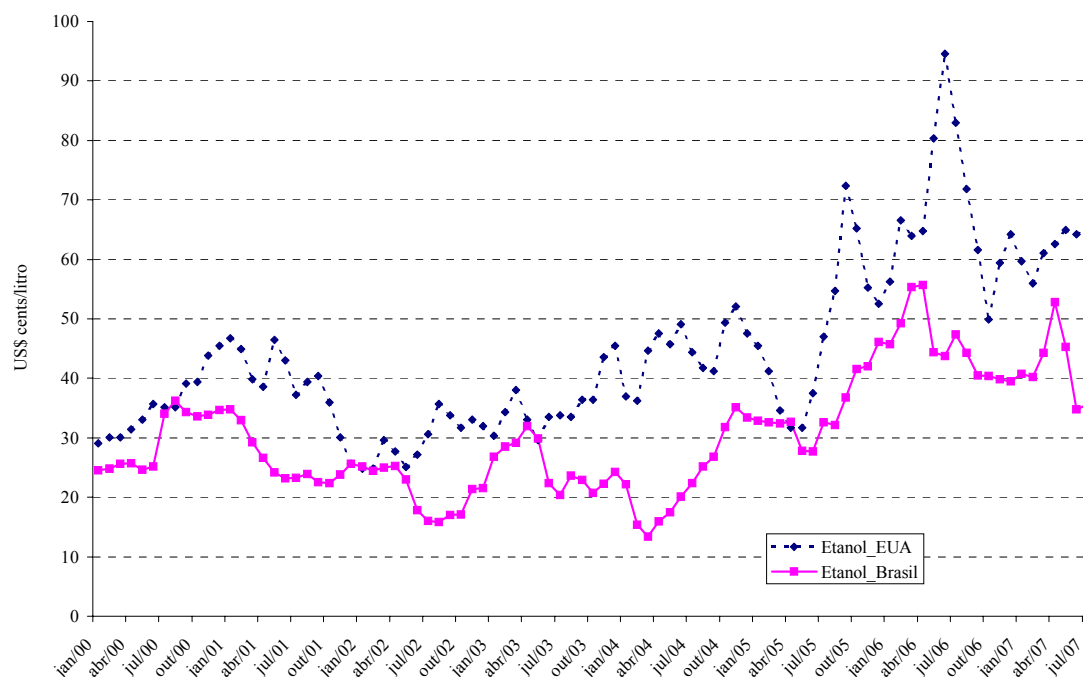
5.2 A Lei do Preço Único no Mercado de Etanol

Uma das características do mercado de etanol é a presença de barreiras tarifárias ao comércio internacional, o que, por si só, já se constitui em obstáculos a formação de um mercado integrado de etanol. Todavia, conforme ressalta Goodwin e Pigot (2001) a integração entre mercados geográficos não precisa estar apoiada nas transações comerciais diretas entre eles, mas na existência de um (ou mais) mercado (s) que possa (m) se constituir de conexão entre eles.

O maior estímulo ao uso deste combustível, sobretudo nos EUA impulsionou as transações internacionais deste produto entre os principais mercados: EUA e Brasil. Pode se identificar um crescente movimento de exportações do Brasil em direção aos EUA, seja de maneira direta, seja através dos países do caribe cujas exportações de álcool são isentas de impostos (Almeida et al, 2007). Estes países poderiam ser considerados como elemento conector entre estes dois mercados.

Neste sentido, algumas questões importantes merecem ser respondidas: i) é possível identificar um movimento conjunto entre os preços dos bens nos mercados brasileiro e norte-americano; ii) qual seria o preço diretor entre ambos, isto é, existe uma relação de causalidade entre eles. A resposta a estas questões é importante para se analisar o impacto das políticas de estímulo ao uso de etanol em um mercado sobre o outro. O movimento dos preços dos bens pode ser visualizado no gráfico abaixo.

Gráfico 5.2-1– Preços do Etanol Anidro nos mercados Brasileiro e Norte-americano : 2000 - 2007
(US\$ cents/litro)



Fonte: elaboração própria a partir de dados da CEPEA/Esalq (2007) e NEO (2007).

O gráfico acima parece indicar dois elementos: a existência de um movimento conjunto de preços e uma mudança de nível na relação e no movimento de preços do etanol a partir de 2005. Com relação à existência de um movimento conjunto de preços, os testes de estacionaridade apresentados na tabela 5.1.2 permitem interpretar as variáveis são $I(1)$. Os resultados dos testes do traço, do máximo valor próprio e de Saikkonen e Lutkepohl estão resumidos na tabela 5.2-1. Dos três testes, apenas o teste do máximo valor próprio aceita esta possibilidade ao nível de 5%. Um elemento que pode responder pela ambigüidade é a presença de uma ruptura estrutural nos dados não captada pelos testes de co-integração. Quando se observa o gráfico 5.2.1 percebe-se que existe uma mudança no comportamento dos dados entre o final de 2004 e meados de 2005 (novembro de 2004 e

maio de 2005). Assim, realizam-se testes de co-integração com a inclusão de diferentes datas de ruptura estrutural entre as variáveis no período analisado. Com a inclusão das datas de ruptura em novembro e dezembro de 2004 e em maio de 2005, os testes de co-integração permitem aceitar a presença de uma relação de longo prazo.

Tabela 5.2-1 – Testes de Co-integração entre os preços do etanol anidro nos mercados americano e brasileiro (p=3)

Posto	Traço	Máximo auto valor	S& L	Traço Ruptura 11/2004	Traço Ruptura 12/2004	Traço Ruptura 01/2005	Traço Ruptura 05/2005
R=0	18,56*	16,25	10,31*	25,12	27,14	29,74	25,29
R=1	2,3	3,26*	0,2	7,81*	9,68*	11,39*	10,56*

¹ Ruptura em 11/2004 – Normalidade conjunta $p=0,02$; Portmanteau (16) =0,84 VARCH(5) = 0,87

²Normalidade conjunta $p=0,06$; Portmanteau (16) =0,69 VARCH(5) = 0,78

Como forma de confirmar o resultado, as tabelas 5.2.2 e 5.2.3 apresentam duas formas de abordar o mesmo problema. Na primeira, são mostrados os resultados de testes de co-integração em duas amostras diferentes: uma do início de 2000 até novembro de 2004; e a segunda de dezembro de 2004 até julho de 2007. Nesta segunda sub-amostra, é possível aceitar a hipótese de co-integração e é estimado um vetor. A partir desta estimativa, é possível testar a hipótese da lei do preço único, de que o vetor seria (1, -1), isto é $\beta=-1$, , bens são percebidos como substitutos perfeitos, pois são trocados a uma razão constante.

De fato, os resultados dos teste de Wald sobre os parâmetros do vetor de co-integração, permitem aceitar a LPU, em sua versão fraca. A versão forte da LPU que implica adicionalmente na inexistência de um prêmio entre os mercados, isto é $\alpha = 0$ é rejeitada. O resultado é coerente com a existência de tarifas de importação e outras restrições como custos de transportes entre os mercados. Adicionalmente, foram estimados vetores de co-integração, com a inclusão de uma ruptura, com base nos testes apresentados

na tabela 5.2.1. Os resultados da tabela 5.2.3 podem ser traduzidos da seguinte forma: a hipótese da LPU é aceita pelos modelos (no terceiro ela é aceita ao nível de significância de 10%). O prêmio entre os mercados, representado pelo α é significativo, e o preço do etanol no mercado americano pode ser percebido como o preço diretor, uma vez que este é o sentido de causalidade que pode ser aceito nos dois primeiros dois modelos. Cabe ressaltar, que visualmente no gráfico, a ruptura estaria mais para meados do ano de 2005. Os resultados dos vetores de co-integração com esta ruptura são pouco robustos: alterações na data ou no método de estimação alteram radicalmente os resultados, o que não ocorre quando se consideram as outras rupturas. Isto pode ser resultado da ruptura estar próxima do final do período analisado. De qualquer maneira, os resultados dos diferentes testes permitem concluir pela hipótese de integração destes mercados a partir de final de 2004 e pela LPU.

Tabela 5.2-2 - Testes de Johansen (traço e máximo valor próprio) e S&L para sub-períodos e com ruptura 2004:11

	Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L	Vetor de co-integração	LPU ¹ (1,-1) (1,-1) e $\alpha = 0$
T= 2000:01 a 2004:10	R=0	11,07*	8,24*	7,38*	---	---
	R=1	3,47	3,47	0,66		---
T= 2004:11 a 2007:07	R=0	20,3	17,04	13,42	$\alpha = -0,5$ (-1,009)	P= 0,22
	R=1	3,3*	3,3*	2,85*	$\beta = -0,79$ (-6,99)	P=0,0016

¹ Teste de Wald sobre os coeficientes da relação de co-integração

Tabela 5.2-3- Diferentes vetores de co-integração entre os preços do etanol no mercado norte-americano e brasileiro- Metodologia de Johansen para $p=3$ (estatística t)⁸⁵

Relação de co-integração	Ruptura 11/2004	Ruptura 12/2004	Ruptura 05/2005
α	0,64 (2,592)	0,74 (3,26)	-0,726 (-1,45)
β	-0,776 (-3,32)	-0,767 (-2,52)	-2,13 (-4,35)
Dummy (nível)	-0,13 (-0,95)	0,191 (1,5)	-0,676 (-2,22)
Wald (1,-1)	0,36	0,13	0,02
Causalidade: EUA não → BR	0,05	0,02	0,35
Causalidade: BR não → EUA	0,47	0,36	0,26

Conforme visto no capítulo anterior a existência de barreiras ao comércio entre os mercados norte-americano e brasileiro poderia se constituir a um entrave a integração entre estes mercados. Porém, estes mercados são integrados, ainda que de maneira imperfeita através das relações de comércio com um terceiro mercado, o mercado da América Central, que seria a “ponte” de livre comércio entre estes dois mercados⁸⁶.

⁸⁵ Os testes de cointegração, bem como a estimativa dos vetores de cointegração foram baseados no número de defasagens determinado pelo critério de Akaike. Os testes sobre os resíduos do modelo VCE (normalidade conjunta, autocorrelação e heterocedasticidade conjunta) mostram que a hipótese de normalidade conjunta somente pode ser aceita ao nível de 10%, quando se leva em conta o número de defasagens de 3, definida por este critério. Foram igualmente realizados testes de cointegração e consequente estimativa de vetores com apenas 1 defasagem, seguindo o critério de Schwartz. Os testes de normalidade conjunta apresentam melhores resultados, permitindo aceitar esta hipótese ao nível de 5% para todas as rupturas. Os resultados qualitativos destes modelos, entretanto são os mesmos : aceitação de cointegração nas rupturas apresentadas, aceitação da hipótese da LPU, baixa significância do parâmetro referente às rupturas, e a direção de causalidade entre os dados. Por este motivo optou-se por apresentar a apenas os resultados dos modelos com $p=3$, para seguir o critério adotado ao longo da tese.

⁸⁶ Uma ressalva que pode ser feita com relação ao resultado encontrado, isto é, a maior integração geográfica entre estes mercados, seria a da relação dos preços destes bens com um fator em comum: a gasolina. Desta maneira, o resultado encontrado não seria efeito da maior integração, mas sim da relação de ambos os bens nos distintos mercados com o preço da gasolina. E este último bem, sim teria seu mercado integrado geograficamente.

5.3 Integração de Mercado pelo lado da Demanda - Etanol x Gasolina nos mercados norte-americano e brasileiro

Estudos realizados sobre o mercado de etanol nos EUA afirmam que neste país, os preços do etanol são mais influenciados por variações nos preços da gasolina e por mudanças nas regulamentações governamentais do que por variações ocorridas pelo lado da oferta, isto é, pelo preço do milho (Elobeid e Tokgoz, 2006; Schmidhuber, 2005). Segundo Elobeid e Tokgoz (2006) o etanol é usado como aditivo tanto para aumento de octanagem quanto para aumento do conteúdo de oxigênio. A forma mais comum e generalizada de consumo de etanol nos EUA é através da mistura de 10% de etanol na gasolina. Este seria o maior determinante na relação de preços entre os bens, com o fim de identificar a relação que se estabelece entre estes preços a partir da introdução dos flex.

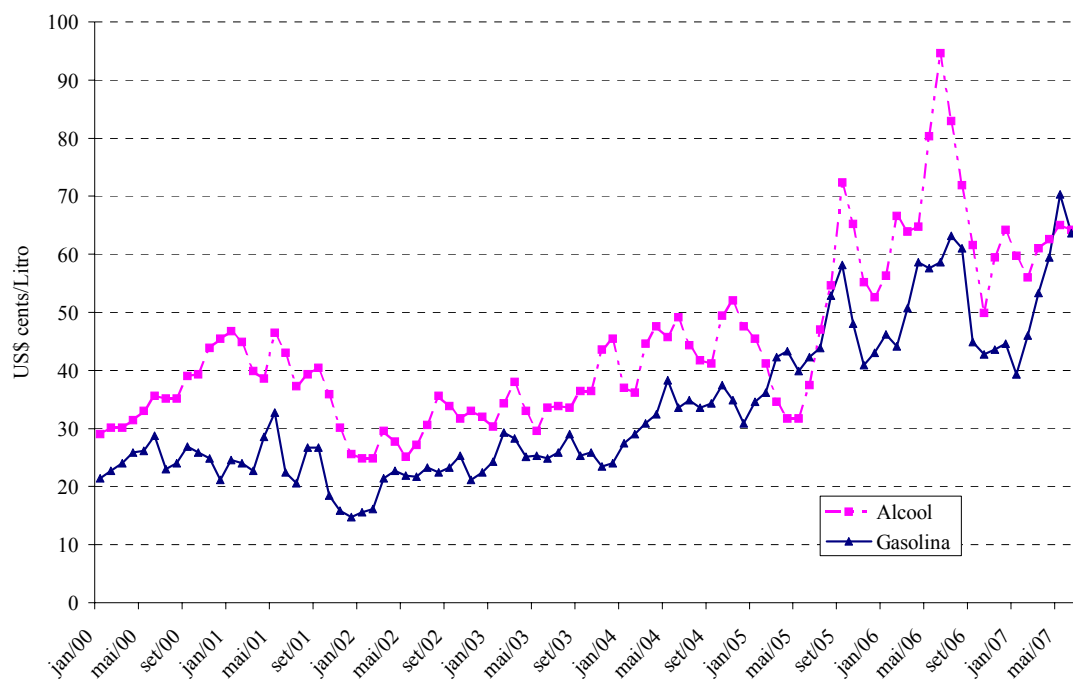
Já no mercado brasileiro, os dados disponíveis permitem avaliar esta relação ao nível do consumidor, isto é a relação será testada entre o preço do álcool hidratado e a gasolina C. com o fim de identificar a relação que se estabelece entre estes preços a partir da introdução dos flex. Dessa maneira, analisam-se os movimentos dos preços da gasolina e do etanol no mercado norte-americano e no mercado brasileiro de modo a identificar: i) a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo; ii) a existência de um prêmio de qualidade entre os preços.

5.3.1 Mercado norte-americano

Segundo Kojima e Johnston (2005), historicamente, o preço do etanol nos EUA tem sido em média US\$ 0,14 / litro mais caro que o da gasolina. Isto refletiria um

comportamento dos produtores de buscar se apropriar do crédito fiscal concedido aos refinadores e *blenders* pelo uso do etanol ao cobrar preço mais próximo da gasolina.

Gráfico 5.3-1 – Preços de Gasolina e Etanol no atacado (Rack Prices) – 2000 a 2007 (US\$ cents/litro)



Fonte: NEO (2007)

O gráfico parece indicar um movimento conjunto entre as variáveis e, a exemplo do que ocorre com os preços do etanol nos mercados brasileiro e norte-americano, há uma mudança de nível nesta relação no ano de 2005.

Tabela 5.3-1- Testes de Co-integração entre os preços da gasolina e do etanol no mercado norte-americano (2000 – 2007) – Johansen (p=2)

Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L	Traço ruptura 11/2004	Traço ruptura 12/2004	Traço ruptura 01/2005	Traço ruptura 02/2005	Traço ruptura 03/2005
R=0	18,23*	16,78	11,3*	27,53	26,82	25,44	27,86	30,86
R=1	1,04	1,04*	0,7	7,91*	8,93*	7,9*	6,8*	5,9*

Número de defasagens foi definido com base no critério Akaike para um VAR em nível

Dos testes de co-integração realizados no período, o único que permite aceitar a hipótese de uma relação de longo prazo é o teste do máximo autovalor. Todavia, a análise gráfica parece indicar a existência de uma mudança estrutural na relação entre os preços destes dois bens, sobretudo entre o final de 2004 e início de 2005. Desta maneira, foram realizados testes de co-integração com base em diferentes datas de ruptura neste período. Como se pode ver na tabela 5.3-2, os testes com ruptura entre novembro de 2004 e março de 2005 permitem aceitar a hipótese de uma relação de coitegração entre as variáveis. O passo seguinte foi o de estimar, então a relação de co-integração propriamente dita, contendo as seguintes rupturas.

Tabela 5.3-2- Relação de co-integração entre os preços da gasolina e do etanol no mercado norte-americano - Metodologia de Johansen para $p=2$ (estatística t)

Relação de co-integração	Ruptura 11/2004	Ruptura 12/2004	Ruptura 01/2005	Ruptura 02/2005	Ruptura 03/2005
α	0,035 (0,064)	-0,2 (-0,426)	-0,072 (-0,14)	0,66 (1,04)	2,35 2,44
β	-0,901 (-6,01)	-0,83 (-5,7)	-0,87 (-6,08)	-1,077 (6,14)	-1,55 (-5,8)
Dummy (nível)	-2,57 (-2,88)	-2,96 (-3,48)	-0,28 -3,18	-0,15 (-1,45)	0,13 0,79
Wald (1,-1)	P=0,51	P=0,23	P=0,37	P=0,65	P=0,04
Causalidade Gasolina não → etanol	0,0017	0,006	0,006	0,008	0,012
Etanol não → gasolina	0,88	0,78	0,82	0,86	0,84

Exceto pelo último modelo com ruptura em março de 2005, o álcool pode ser considerado como um substituto perfeito a gasolina uma vez que a LPU não pode ser rejeitada ao nível de significância de 5% (isto é, $\beta=-1$). Além disso, parece não haver um prêmio significativo entre eles, uma vez que o α da relação de longo prazo, além de assumir um baixo valor, foi pouco significativo em todas as estimativas. As rupturas são

estatisticamente significativas para o final de 2004 janeiro 2005. Além disso, o preço da gasolina pode ser considerado como o preço diretor entre os dois bens, uma vez que o sentido de causalidade definido a partir dos testes de causalidade de Granger é unidirecional da gasolina para o etanol em todos os modelos.

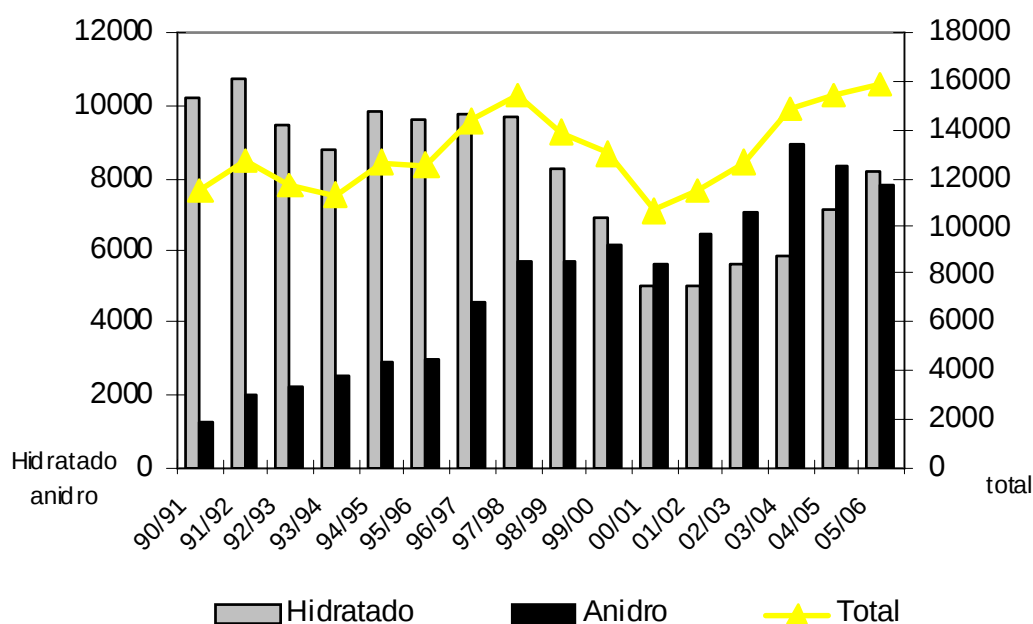
Como conclusão, pode-se dizer que o etanol é visto como um substituto a gasolina, uma vez que o sinal do parâmetro β é sempre negativo. Assim, políticas de *blending* parecem ser suficientes para atrelar o preço do etanol combustível ao preço da gasolina. Segundo Kojima e Johnston (2005), este resultado é esperado enquanto o etanol contar apenas por uma parcela do mercado de combustíveis líquido, seu preço é determinado pelo preço do combustível principal. Além disso, a ausência de um prêmio significativo de preços, demonstra que o etanol combustível tem sido consumido por suas características diferenciais como octanagem e aumento no índice de oxigênio. Além disso, o fato de ser misturado a gasolina, mitiga a perda de conteúdo energético decorrente do seu consumo e portanto esta característica não se reflete em seu valor. Outrossim, as políticas de uso compulsório por parte de misturas, reduzem o poder de barganha dos refinadores face aos produtores de etanol. Os produtores de etanol são tomadores de preços definidos pela gasolina no mercado de combustíveis, e somente em períodos de excesso de capacidade produtiva tendem a reduzir o prêmio exigido aos refinadores (Kojima e Johnston, 2005).

5.3.2 Mercado Brasileiro

Já no mercado brasileiro, os dados disponíveis permitem avaliar a relação será testada entre o preço do álcool hidratado e a gasolina C. Em 2005/2006 a produção e o consumo de etanol hidratado superaram o de etanol anidro, tendência que havia sido

revertida a partir dos anos 2000, como resultado do declínio dos carros dedicados (gráfico 5.3.2). O Gráfico 4.3-3 apresenta o movimento dos preços no período analisado e a tabela 5.3-3 apresenta os testes de co-integração realizados.

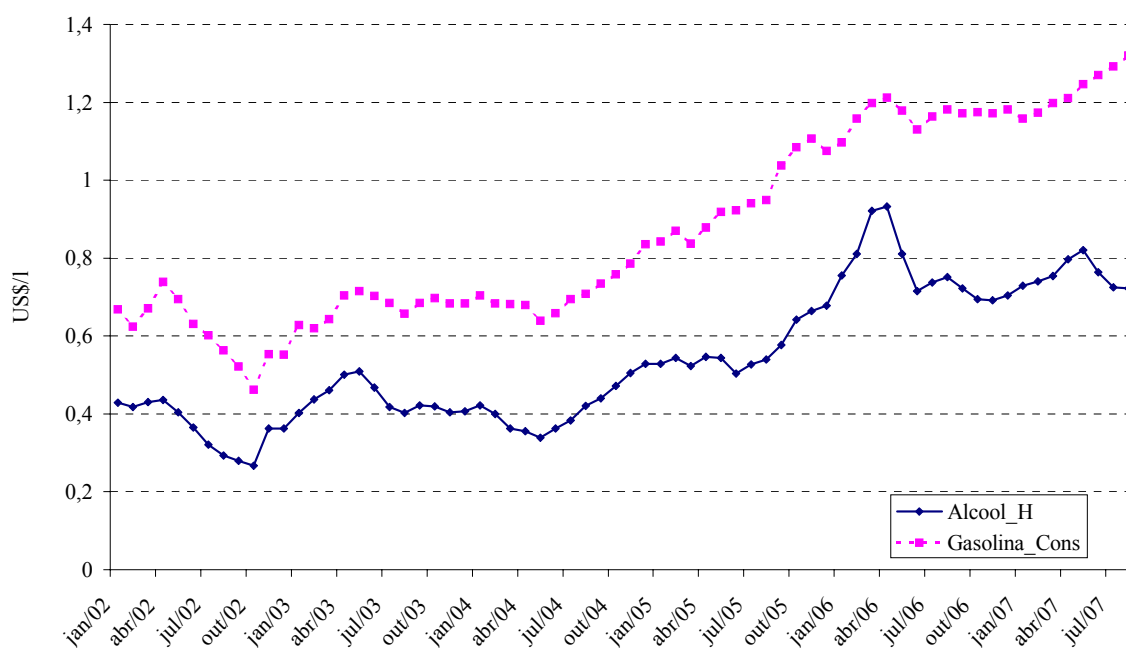
Gráfico 5.3-2 – Produção de Álcool Combustível no Brasil : álcool anidro x álcool hidratado (90 – 2006) em milhões de litros



O mesmo que se verificou no mercado norte-americano, ocorre no mercado brasileiro: os testes de co-integração somente permitem aceitar a hipótese de co-integração na presença de uma ruptura. Pela visualização do comportamento dos dados no gráfico pode-se dizer que no mercado brasileiro ocorre uma mudança no comportamento dos dados em 2004. De fato ao se testar diferentes datas de ruptura entre 2003 e 2004, a primeira data de ruptura para a qual se aceita a hipótese de co-integração entre os dados é janeiro de 2004. Em comparação ao ocorrido no mercado norte americano, a ruptura no caso

brasileiro se passa antes. Isto seria coerente com a introdução dos veículos flex, ocorrida em 2003 mas que tende a tomar impulso maior a partir de 2004.

Gráfico 5.3-3 – Comportamento dos preços do Álcool Hidratado e da Gasolina ao Consumidor no mercad brasileiro : janeiro de 2002 a julho de 2007 (em US\$/l)



Fonte: ANP, 2007

Tabela 5.3-3 – Testes de co-integração para o preço do álcool hidratado e da gasolina ao consumidor : janeiro de 2002 a julho de 2007)

Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L	Traço ruptura 01/2004	Traço ruptura 02/2004	Traço ruptura 03/2004	Traço ruptura 04/2004	Traço ruptura 05/2004
R=0	18,95*	16,07	10,88*	24,87	25,75	25,4	26,33	25,3
R=1	2,88	2,88*	0,74	5,62*	7,74*	7,4*	9,99*	9,24*

No caso brasileiro então cabe, além de testar a lei do preço único, testar se a constante, além de ser significativa, pode ser próxima ao valor de 0,36 que representa o logaritmo neperiano de 0,7, a relação aproximada do conteúdo energético entre ambos os combustíveis.

Tabela 5.3-4 - Estimativas do vetor de co-integração com ruptura, teste da LPU e testes de causalidade entre os preços da gasolina C e do etanol hidratado ao consumidor no mercado brasileiro (janeiro de 2002 e julho de 2007)

	α	β	Dummy (nível)	Wald (1,-1)	Wald (1,0,36,- 1)	Causalidade Gasolina não $\rightarrow$ Etanol H	Causalidade Gasolina não $\rightarrow$ Etanol H
Ruptura ¹ 01/2004	0,41 (10,57)	-1,13 (-16,2)	0,09 (2,42)	P=0,05	0,73	0,22	0,032
Ruptura 02/2004 ²	0,47 (9,6)	-1,03 (-11,4)	0,021 (0,406)	P=0,7	0,0056	0,20	0,03
Ruptura ³ 03/2004	0,49 (9,2)	-1,00 (-9,9)	-0,005 (-0,08)	P=0,99	0,04	0,18	0,03
Ruptura 04/2004 ⁴	0,52 (8,6)	-0,94 (-8,24)	-0,043 (0,667)	0,64	0,17	0,22	0,04

¹testes de especificação: Multinormalidade:p=0,19; Portmanteau (16): p=0,95, VARCH: p=0,0023 (arch1=0,64; arch2=0,82)

²Multinormalidade:p=0,09; Portmanteau (16): p=0,94, VARCH: p=0,0025 (arch1=0,43; arch2=0,82)

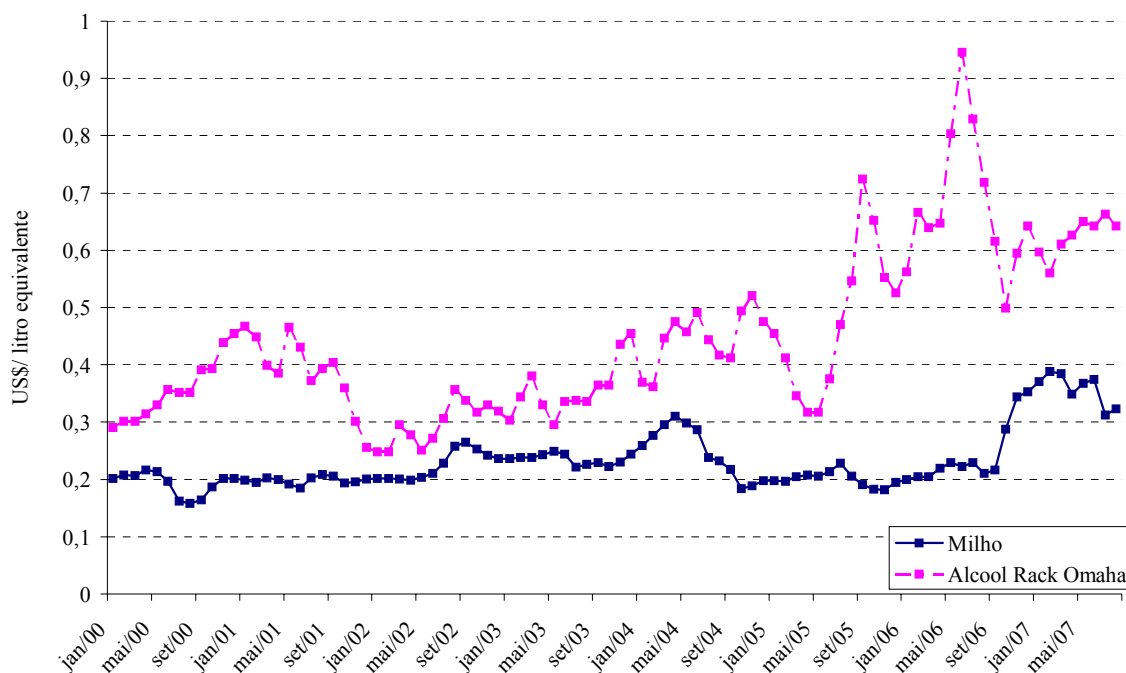
Com ruptura em janeiro de 2004 os dados confirmam as hipóteses acerca da entrada dos Veículos Flex, a co-integração é aceita após a entrada destes bens. Além disso, aceita-se a hipótese de que os bens são substitutos perfeitos, uma vez que em todos os modelos a LPU é aceita ao nível de 5%. No que concerne a existência de um prêmio entre os bens, bem como em três dos quatro modelos não se pode rejeitar a hipótese de que α é próximo de 0,36 em valor absoluto, o que se aproxima do valor do logaritmo neperiano da razão entre os bens. Outro elemento que pode ser ressaltado da tabela é o sentido da causalidade. Pode parecer contra-intuitivo a primeira vista o fato de aceitar uma relação de causalidade do etanol hidratado para a gasolina. Todavia, isto tende a ser coerente com a influência do preço do etanol anidro ao produtor, no preço do etanol hidratado. Como este é um componente da gasolina ao consumidor, é bastante provável que esta seja a razão pela qual o sentido da causalidade captado pelos dados seja unidirecional, do etanol hidratado para a gasolina. Ver-se á mais a frente estas hipóteses. Quando da análise do lado da oferta.

5.4 Integração de Mercado pelo Lado da Oferta - Etanol x Gasolina nos mercados norte-americano e brasileiro

Os objetos dos testes nesta seção são os preços do milho e do etanol nos EUA, de um lado, e entre os preços do etanol e do açúcar no mercado brasileiro. A produção de etanol concorre com usos alternativos de suas matérias prima agrícola. No caso dos principais produtores, Brasil e EUA, o etanol substitui a produção de açúcar no caso brasileiro e o uso do milho na alimentação animal e/ou humana. Dessa forma, a substituição pelo lado da oferta levaria a um movimento conjunto de preços destes bens ao longo do tempo.

Nesta seção, são analisadas as relações de preços pelo lado da oferta nos mercados norte-americano e brasileiro, com o fim de identificar a existência de um movimento conjunto entre os preços do milho e do etanol nos EUA e entre os preços do etanol e do açúcar no mercado brasileiro. A metodologia que se segue é a mesma: a aplicação de testes de co-integração sobre o movimento de preços nos dois mercados. Antes, porém, vale visualizar a evolução de ambos no período analisado.

Gráfico 5.4-1 – Preços do Milho e do Álcool Anidro no mercado norte-americano : 2000 – 2007 : US\$/litro equivalente*



*1 bushel de milho produz 8,7 litros de etanol (2,7 galões)

Os testes de raiz unitária confirmam que as série de preços são I(1). Os testes de co-integração foram realizados com base no número de defasagens determinados tanto pelo critério de Akaike ($p=4$) quanto pelo critério de Schwartz ($p=2$). Os resultados, resumidos na tabela 5.4.1, corroboram a impressão visual de que os preços não apresentam um movimento conjunto explícito. Com efeito, todos os testes permitem rejeitar a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Também não existe, a exemplo do que ocorre com a análise dos mercados de combustíveis, uma nítida mudança estrutural nos dados. Como os resultados dos testes tradicionais de co-integração não mostraram divergências quanto aos resultados, não foram realizados testes de co-integração com rupturas.

Tabela 5.4-1 – Testes de Co-integração entre os preços do milho e do etanol no mercado norte-americano.

Lags	Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L
2	R=0	11,52*	8,73*	7,83*
	R=1	3,26	3,26	0,27
4	R=0	12,01*	10,86*	9,48*
	R=1	2,02	2,02	0,01

A inexistência de uma relação de longo prazo não significa que não haja uma relação de causalidade entre os dados. Dessa forma, foram realizados testes de causalidade de Granger em um VAR ajustado a primeira diferença das variáveis⁸⁷. O teste de causalidade seria interpretado em termos da influência de variações percentuais nos preços de um bem sobre variações percentuais nos preços do outro bem. Levando-se em conta o número de defasagens determinado pelo critério de akaike, isto é, $p=4$, o teste permite aceitar a hipótese nula de que o preço do milho não causa o preço do etanol ($\text{Prob} = 0,17$) e ao mesmo tempo, o teste permite rejeitar a hipótese nula contrária de que o preço do etanol não causa o preço do milho ($\text{Prob} = 0,04$). Desta forma, segundo este resultado, existiria uma relação clara de causalidade : pode-se afirmar que o preço do álcool exerce influência sobre o preço do milho nos EUA no período analisado e não o contrário. Porém, a contar pela análise de co-integração, não se pode verificar a existência de forças de atração entre estas duas variáveis que leve a constituição de uma relação de equilíbrio estável de longo prazo.

Este resultado pode decorrer de dois fatores. Em primeiro lugar, decorre de um fator estrutural, isto é, a substituição entre os usos alternativos do milho e a produção de etanol

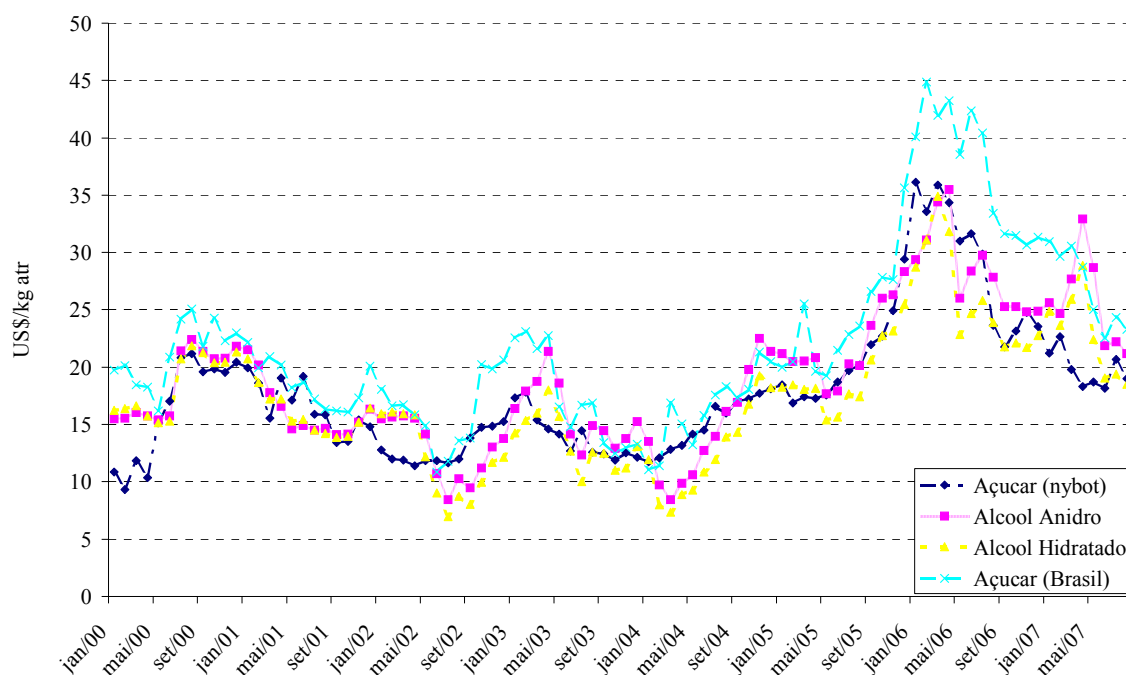
⁸⁷ Como as variáveis não são estacionárias, nem co-integradas, um VAR ajustado as variáveis em nível não seria o mais adequado. Ainda sim, foi estimado um VAR em nível e os testes de causalidade de Granger apresentam o mesmo resultado qualitativo.

não é direta, como no caso brasileiro em que as plantas de produção são flexíveis. Dessa maneira, a maior demanda por etanol, derivada de políticas de misturas de maior percentual de álcool na gasolina, exercem apenas uma pressão sobre o mercado de insumos – no caso o milho – elevando o seu preço. O segundo fator se refere aos custos de produção do etanol. Neste sentido, apenas quando o preço do etanol ultrapassa um determinado valor mínimo, é que as forças econômicas de substituição seriam ativadas. Em outras palavras haveria uma co-integração não linear entre os dados (*threshold cointegration*). Neste caso, o fato de ser um fenômeno recente dificultaria a identificação desta relação. No entanto segundo a metodologia de Balke e Fombi (1997), se este fosse o caso, os testes de co-integração tradicionais, deveriam ao menos indicar alguma evidência de co-integração, o que não é o caso.

De acordo com o Deutsche Bank (2006) o impacto das variações dos preços do milho tende a pesar mais sobre as margens dos produtores e não sobre os preços finais, que são dados pela gasolina. Relações estruturais distintas pelo lado da oferta no caso brasileiro tendem a produzir diferentes resultados, como o indica a análise gráfica apresentada a seguir.

Os testes de estacionaridade permitem assumir que o etanol hidratado, bem como o açúcar no mercado doméstico brasileiro sejam $I(1)$. Prossegue-se então aos testes de co-integração, com o fim de confirmar a impressão passada pelo gráfico anterior, de que os preços do açúcar e do etanol no mercado brasileiro compartilham uma tendência em comum. A tabela 5.5.1 resume os resultados encontrados.

Gráfico 5.4-2 – Comportamento dos preços do Açúcar – mercados internacional e brasileiro – e do etanol – anidro e hidratado : janeiro de 2000 a julho de 2007 (em US\$/ kg ATR)*



*A conversão para Açúcar Total Recuperável (ATR) é feita com base nas informações da Unica com relação ao total de cana de açúcar colhida, o total de ATR o percentual destinado a produção de açúcar e a etanol.

Fonte : Cepea (2007) e Nybot (2007)

Os resultados da tabela confirmam a integração dos mercados de álcool e açúcar no mercado brasileiro. Os teste de co-integração tradicional permitem concluir pela existência de relações de co-integração entre os mercados de açúcar tanto no mercado doméstico quanto no mercado internacional, e os preços do etanol anidro e hidratado. De acordo com os resultados apresentados, além da integração destes mercados, pode se verificar, que o preço do açúcar tende a ser o preço diretor. Em outras palavras, o sentido da causalidade ainda se dá do mercado agrícola para o mercado de combustíveis. Outro elemento interessante que merece ser destacado dos resultados é a inexistência de uma relação de longo prazo entre os preços do álcool anidro e hidratado. O resultado a princípio parece

contra-intuitivo, mas ele parece indicar que os dois mercados são desconexos, com lógicas distintas. Isto reflete o fato de que o principal elemento de decisão para os produtores de etanol tende a ser a relação de preço do açúcar e etanol no nível do produtor. Também não foi verificado um sentido claro de causalidade entre estes preços ao nível do produtor. As decisões entre produção de etanol anidro e hidratado, parece depender menos da relação de preços entre os produtos do que das condições de mercado de combustíveis, com a maior difusão dos veículos flex. De qualquer maneira, o mercado de álcool anidro foi o principal mercado para a produção de etanol, como visto no capítulo anterior.

Com base nestes resultados, conclui-se que no mercado brasileiro a existência de relações de equilíbrio de longo prazo é clara e parece decorrer da relação física de substituição pelo lado da oferta disponível aos produtores brasileiros, isto é a flexibilidade das plantas produtivas do complexo sucroálcooleiro. Este é um fenômeno já conhecido da literatura e que, pela tradição brasileira no estímulo ao etanol, tem sido generalizada como um elemento característico do mercado de biocombustíveis. Entretanto, em comparação com o mercado norte-americano, o que se pode perceber é que estas relações tendem a ser particulares do caso brasileiro.

Gráfico 5.4-3- Testes de co-integração : preços do açúcar nos mercados brasileiro e internacional e os preços do etanol anidro e hidratado ao nível do produtor no Brasil

Variáveis	p	Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L	Causalidade de Granger
Açúcar Internacional x álcool anidro	2	R=0 R=1	27,3 4,9*	22,3 4,9*	12,6 0,96*	Açúcar Int não → p=0,00 Álcool anidro não → p=0,68
Açúcar Internacional x álcool hidratado	2	R=0 R=1	25,9 5,1*	20,7 5,1*	17,19 1,8*	Açúcar Int não → p=0,00 Álcool hidratado não → p=0,08
Açúcar Brasil x álcool anidro	2	R=0 R=1	21,3 2,95*	18,3 2,95*	12,49 1,85*	Açúcar Br não → p=0,00 Álcool anidro não → p=0,04
Açúcar Brasil x álcool hidratado	2	R=0 R=1	13,5 0,003* ²	13,5 0,003* ²	14,82 2,4*	Açúcar Br não → p=0,00 Álcool hidratado não → p=0,25
Açúcar dom x açúcar internacional	1	R=0 R=1	37,9 3,5* ³	34,4 3,5* ³	26,05 0,61*	Açúcar Br não → p=0,14 Açúcar Intern. não → p=0,00
Álcool anidro x álcool hidratado	2	R=0 R=1	11,92* 3,18	8,73* 3,18	5,98* 3,61	Álcool anidro não → p=0,75 Álcool Hidratado não → p=0,28

²os testes do traço e do máximo auto valor não permitem aceitar a existência de uma relação de longo prazo entre álcool hidratado e açúcar no mercado doméstico, ao nível de 5% quando se considera a existência de uma constante na relação de co-integração. Assim, os resultados computados para os dois se referem aos testes realizados sem constante na relação de co-integração. Todavia, os testes de especificação apresentam resultados insatisfatórios quando não se considera a constante. Os testes de normalidade e homocedasticidade conjunta somente podem ser aceitos ao nível de 10% (normalidade conjunta – Doornik e Hansen (1994) p=0,02; e Heterocedasticidade – teste de White, p=0,013). Desta forma, a partir do teste de S&L, que aceita a co-integração a 5% com a inclusão de uma constante, o modelo foi ajustado com esta especificação, pois nesta os resultados dos testes de especificação são satisfatórios ao nível de 5%.

³os testes permitem aceitar co-integração ao nível de 5% em todas as hipóteses, porém os resultados do teste de heterocedasticidade indicam que os resíduos não são homocedásticos (teste de White, p=0001). Dessa forma o modelo foi ajustado com 2 defasagens, pois os testes também aceitam a coitegração e o teste de heterocedasticidade conjunta é satisfatório a 10%.

⁴Os resultados se referem ao teste de co-integração sem constante, pois neste caso os testes de erro de especificação foram mais favoráveis a escolha de duas relações de co-integração sem constante. O teste realizado com constante na relação teve resultado coerente com o teste bivariado, isto é, aceitou apenas uma relação de co-integração, entre açúcar no mercado internacional e etanol hidratado. O teste de normalidade conjunta apresentou p=0,03, enquanto no caso sem constante este foi de p=0,13.

**aceito a 10%.

Neste momento, porém, cabe analisar se é possível identificar uma mudança significativa nas relações de co-integração identificadas ao longo do tempo entre os mercados de açúcar e etanol no Brasil. Em outras palavras, a introdução dos veículos flex, ao mudar a lógica da demanda por etanol hidratado implicou ou não em mudança nas relações tradicionais entre açúcar e etanol no mercado. Para se obter indícios desta questão, foram realizados testes de estabilidade sobre as relações de co-integração, do tipo autovalores recursivos (*recursive eigenvalues*).

As figuras a seguir apresentam os resultados dos testes de estabilidade. Como se pode perceber, a estatística de teste em nenhum momento e em nenhum dos casos ultrapassa o nível crítico. Portanto, os testes efetuados nas relações de co-integração levam a conclusão de que estas relações são estáveis. Não são encontrados indícios estatisticamente significativos de uma mudança nestas relações.

Figura 5.4-1 – Teste de Estabilidade da Relação de Co-integração entre o preço do açúcar no mercado internacional e o preço do etanol anidro – Intervalo de confiança a 5%.

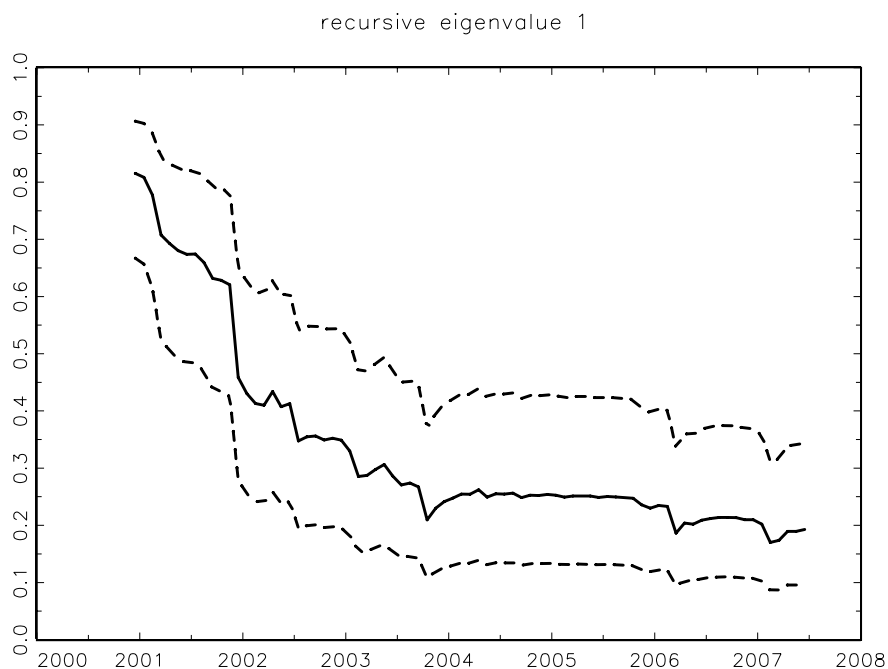


Figura 5.4-2 - Teste de Estabilidade da Relação de Co-integração entre o preço do açúcar no mercado internacional e o preço do hidratado – Intervalo de confiança a 5%.

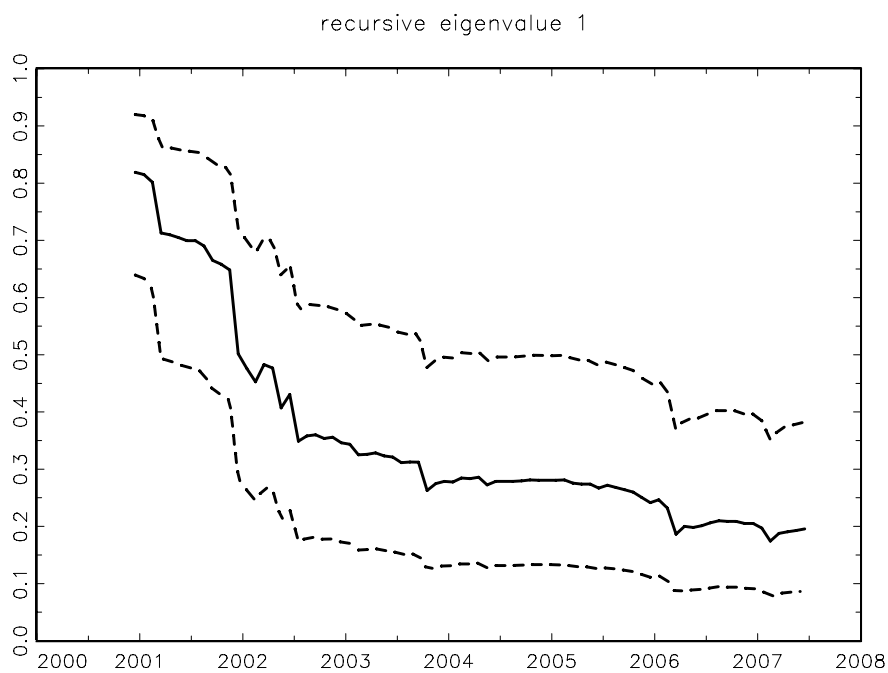


Figura 5.4-3 Teste de Estabilidade da Relação de Co-integração entre o preço do açúcar no mercado doméstico e o preço do álcool anidro – Intervalo de confiança a 5%.

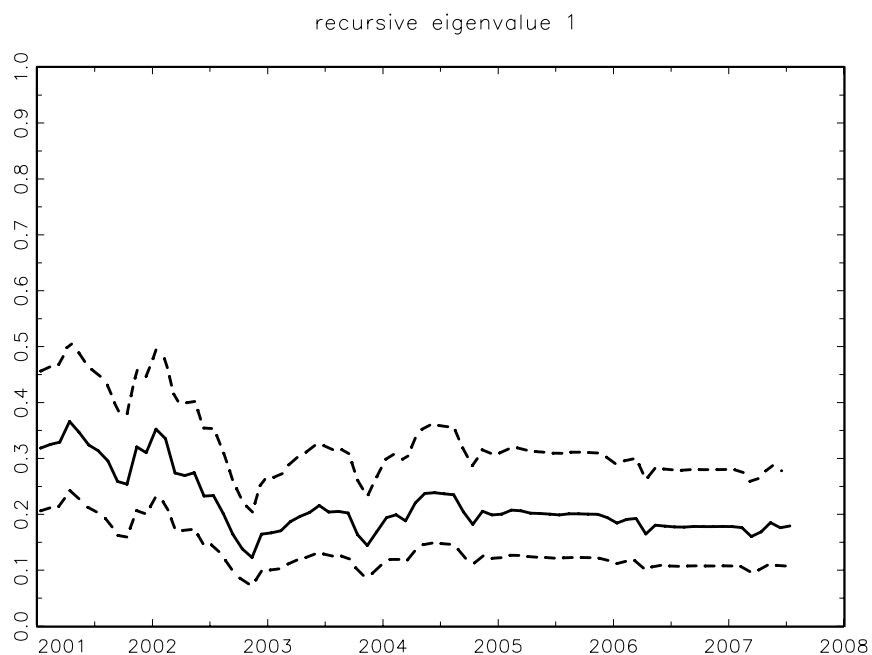
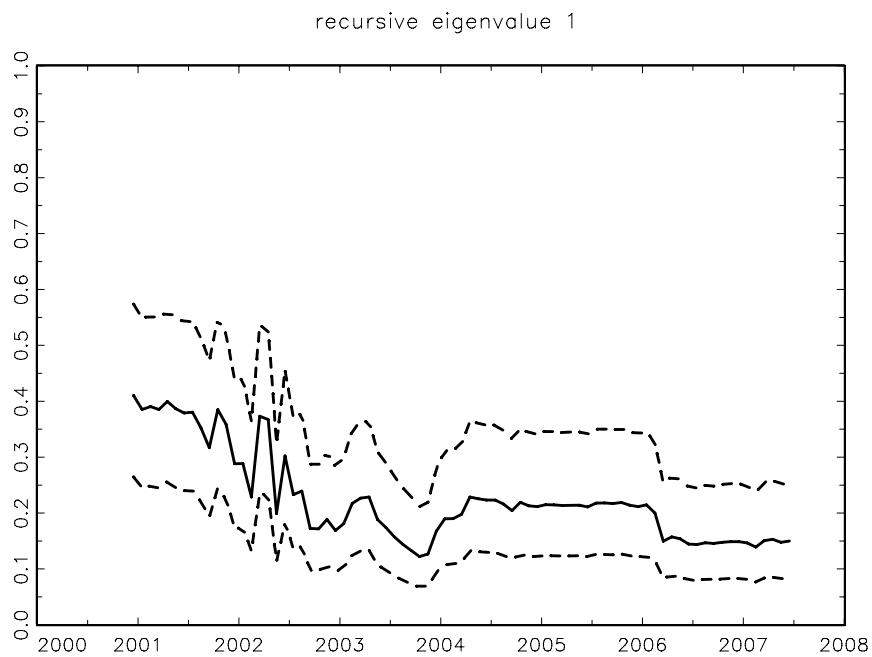


Figura 5.4-4 Teste de Estabilidade da Relação de Co-integração entre o preço do açúcar no mercado doméstico e o preço do álcool hidratado – Intervalo de confiança a 5%.



5.5 Integração dos Mercados Agrícola e Energético:

De acordo com estudos recentes sobre as relações de preços entre os mercados de energia e agrícola (Schmidhuber, 2007 e Kojima e Johnston, 2005), os preços dos produtos agrícolas e os preços dos energéticos sempre apresentaram alguma correlação. Isto se deve ao impacto indireto dos preços dos combustíveis nos custos do transporte e dos insumos (fertilizantes) deste setor. Todavia, não existe um consenso sobre a integração de mercados. Segundo o Kojima e Johnston (2005) apesar desta relação indireta, os preços dos energéticos e dos produtos agrícolas não tendem a moverem-se juntos (Kojima e Johnston, 2005), pois estes últimos tendem a responder por fatores ligados a demanda e a oferta dos mercados de alimentos (humanos e/ou animais). Este fato é exatamente o elemento que inviabiliza a produção de biocombustíveis, em épocas de baixas colheitas e baixos preços de petróleo. Já Schmidhuber (2007) ressalta que o maior impulso ao uso dos biocombustíveis tende a estreitar a relação de preços dos bens no sentido de criar um “pisso” de preços para os produtos agrícolas. Segundo o autor, este era um fenômeno bastante evidente no caso brasileiro, em que a produção de etanol se faz a partir da cana de açúcar em competição com o açúcar. Atualmente, o cenário de preços energéticos elevados aumenta a demanda por insumos agrícolas para a produção de biocombustíveis, o que tende a espalhar este fenômeno para outros mercados além do mercado de açúcar.

Segundo, o mesmo autor é possível identificar uma relação de co-integração entre os preços do açúcar e do petróleo no mercado internacional, sempre que os preços do petróleo superam o patamar de US\$ 35/barril. Este valor seria o patamar de preços mínimo necessário para tornar competitiva a produção de etanol a partir da cana de açúcar no Brasil

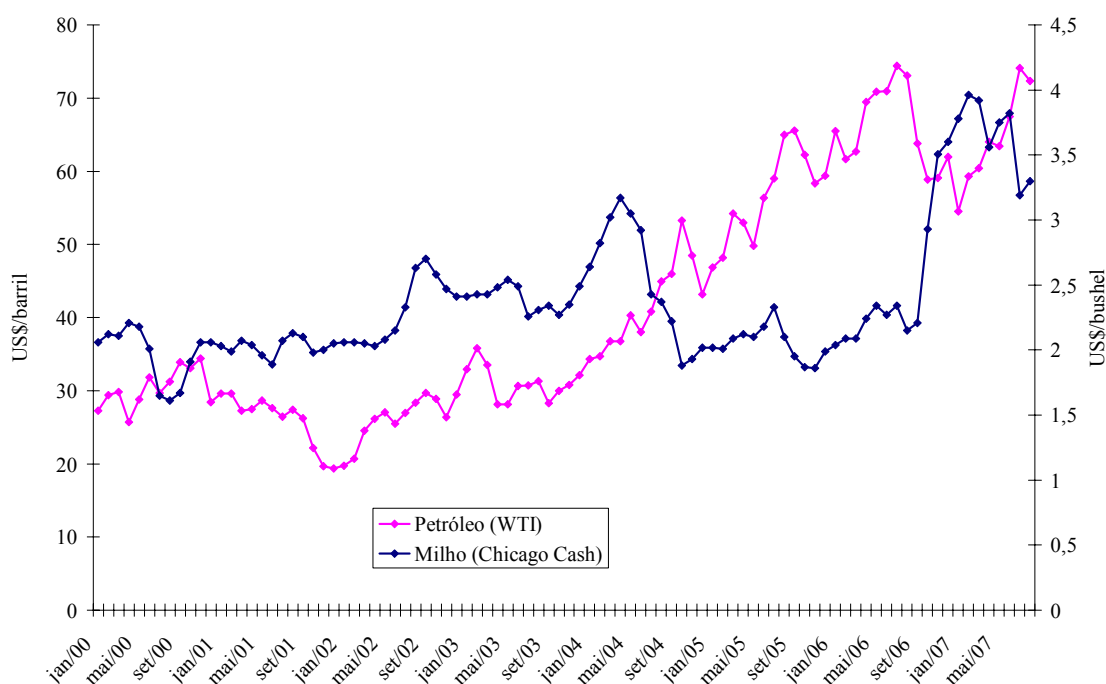
(*break even point*). Desta forma, quando o preço do petróleo ultrapassa este patamar, se formam as forças econômicas necessárias para estabelecer uma relação de ajuste automático entre os preços destes bens (isto é, existe *threshold cointegration*). Já o estudo do Banco Mundial (Kojima e Johnston, 2005), ao analisar a relação entre os preços da gasolina e os preços do açúcar bruto, identifica uma correlação entre os preços destes bem no período entre janeiro de 1978 e junho de 2005. Porém, os autores afirmam que esta correlação tende a ser fruto da influência de um período particular, sobre o restante da série. Segundo o estudo, quando a análise se concentra no período entre janeiro de 1982 e junho de 2005, a mesma conclusão se torna falsa.

Conforme visto até aqui, o argumento teórico fundamental para a hipótese da integração dos mercados energéticos e agrícolas - identificada a partir da convergência de preços – é o de que os choques em um mercado seriam transmitidos ao outro, em função das relações de substituição pelo lado da demanda e da oferta. Vale então investigar estas hipóteses a luz da metodologia empregada até o momento.

5.5.1 Petróleo x milho;

O gráfico 5.5.1 apresenta o comportamento dos preços do milho e do petróleo no período considerado. Pela análise gráfica, é difícil visualizar um movimento conjunto claro dos preços do milho com a gasolina ou com o petróleo.

Gráfico 5.5-1 – Evolução dos preços do Petróleo (em US\$/barril) e do Milho (em US\$/bushel)



De fato, os testes de co-integração realizados entre os preços do milho e do petróleo não mostram indícios acerca da existência desta relação. Com base na análise gráfica, também não é possível identificar uma mudança estrutural nos dados que pudesse responder pelos resultados dos testes de co-integração. Contudo, de acordo com Schmdhuber (2007) o preço mínimo do petróleo que passa a viabilizar economicamente a produção de etanol a partir do milho se refere a US\$ 45/barril. Assim, este poderia ser considerado o “gatilho” de preço a partir do qual passa a existir um movimento de ajuste entre os preços, já que é o piso mínimo a produção de etanol.

A referência a um valor específico e não a um ponto no tempo, levaria a realização de um teste de co-integração do tipo não linear. Todavia, a observação do movimento dos preços do petróleo no período analisado mostra que o petróleo ultrapassa este valor em um

determinado ponto do tempo e não retorna a patamar inferior. Além disso, conforme ressalta Balke e Fomby (1997) este tipo de análise tem por objetivo identificar formas de ajustes não lineares a relação de equilíbrio e na presença deste tipo de movimento, os testes de co-integração tradicionais deveriam ser capazes de captar a existência de uma relação de equilíbrio entre as variáveis. Desta maneira, procedeu-se como nas seções precedentes: realizaram-se testes de co-integração com ruptura, com o fim de saber se a existência deste elemento responde pelos resultados dos testes de co-integração.

Tabela 5.5-1- Testes de Co-integração entre os preços do milho e do petróleo (wti) e do milho no mercado norte-americano (2000 – 2007) – Metodologia de Johansen sem e com ruptura

(p – VAR não restrito)

Par de variáveis	p	Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L	Ruptura 09/2004	Ruptura 10/2004	Ruptura 12/2004	Ruptura 01/2005	Ruptura 02/2005
WTI e milho	2	R=0 R=1	9,7* 1,7	7,9* 1,7	8,04* 0,45	14,2* 4,4	13,8* 4,3	13,0* 4,7	19,2* 5,04	19,4* 5,8

Os resultados dos testes realizados não encontram indícios estatisticamente significativos de uma relação de longo prazo entre os preços do milho e do petróleo. Duas podem ser as razões para este resultado. A primeira é estrutural: a falta de uma conexão produtiva que permita a substituição entre a produção de etanol e outros produtos derivados do milho. Ao contrário do que ocorre no caso brasileiro, em que os produtores podem alternar a produção de etanol e açúcar, isto não ocorre no caso americano. Em função disto, as relações entre os mercados energéticos e agrícolas seriam mais tênues. A segunda se refere ao período de análise. As transformações ocorridas tanto no mercado de petróleo, com a escalada de preços, como nos mercados agrícola com o aumento da produção de biocombustíveis, são fenômenos recentes, e por isso, a identificação destas relações se tornar complicada do ponto de vista estatístico. Se este é o caso, a formulação de

conclusões e de regras de comportamento gerais para estes preços se torna difícil, pois levará algum tempo para se verificarem.

Embora não haja uma relação de ajuste a uma relação de longo prazo, pode haver uma relação de causalidade entre as variáveis. Para isto, foram realizados testes de causalidade de Granger cujos resultados estão resumidos na tabela 5.5-2.

Tabela 5.5-2 - Teste de causalidade de Granger entre os preços do milho e do petróleo a partir de um VAR em diferenças logarítmicas.

Par de variáveis	Prob Amostra total (p= 2)	Prob amostra 11/2004 (p= 1)	Prob amostra 12/2004 (p= 1)	Prob amostra 1/05 (p= 1)	Prob amostra 02/05 (p= 1)
Milho não → WTI	0,30	0,19	0,21	0,20	0,22
WTI não → milho	0,24	0,03	0,03	0,02	0,02

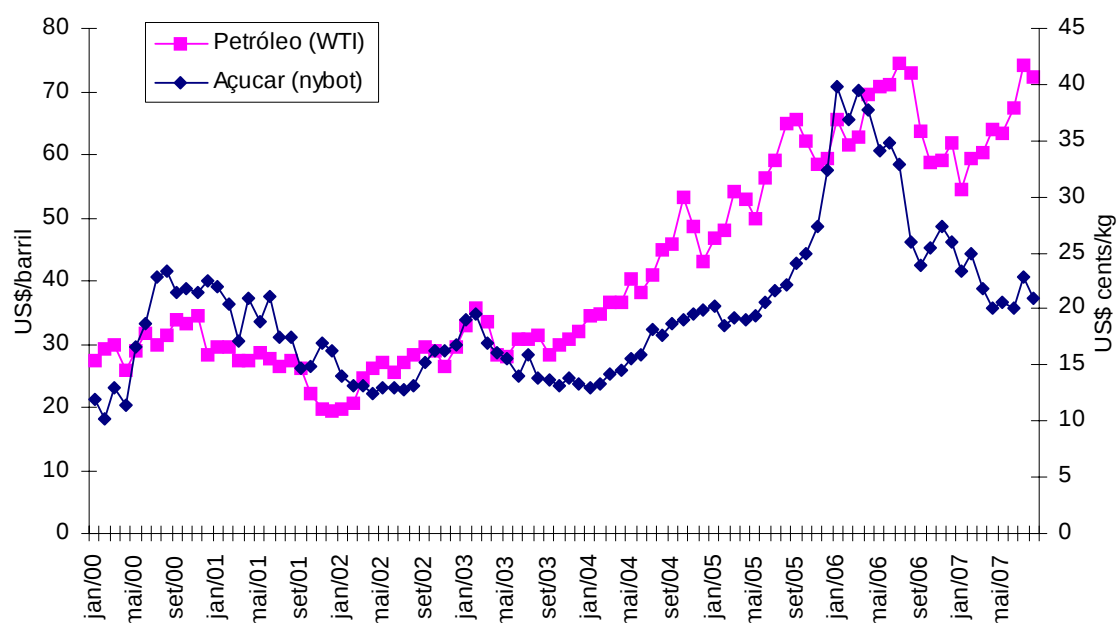
No que diz respeito às relações de causalidade entre os dados, os testes não permitem identificar um sentido claro de influência entre os preços dos bens. Como isto pode ser reflexo de um fenômeno recente não captado quando se considera o período total, foram realizados testes com base em diferentes sub-períodos, que se iniciam respectivamente em novembro de 2004; dezembro de 2004 ou janeiro de 2005. Como se pode ver a partir da tabela 5.6-2, no sub-período mais recente pode se verificar uma relação de causalidade no sentido do preço do petróleo para o preço do milho.

5.5.2 Petróleo x Açúcar

As conexões entre os mercados de petróleo e açúcar estão baseadas na posição do Brasil como principal produtor de etanol e açúcar no mundo e na flexibilidade produtiva

entre etanol e açúcar. A decisão do produtor entre destinar a cana de açúcar para a produção do etanol e /ou do açúcar dependerá da receita que este obterá com a venda de um produto ou de outro, já que de uma tonelada de cana de açúcar, um produtor pode obter 85 litros de etanol ou 142 kgs de açúcar. Desta maneira, se o preço do etanol está atrelado ao preço da gasolina e conseqüentemente ao do petróleo, pela substituição pelo lado da demanda, as relações de substituição pelo lado da oferta estabeleceriam a conexão entre os mercados de açúcar e petróleo. Além desta flexibilidade do caso brasileiro, é importante lembrar que outros produtores marginais de etanol também apóiam a produção em matérias primas açucareiras, como a União Européia.

Gráfico 5.5-2- Comportamentos dos preços do petróleo e do açúcar – preços representativos do mercado mundial – janeiro de 2000 a agosto de 2007.

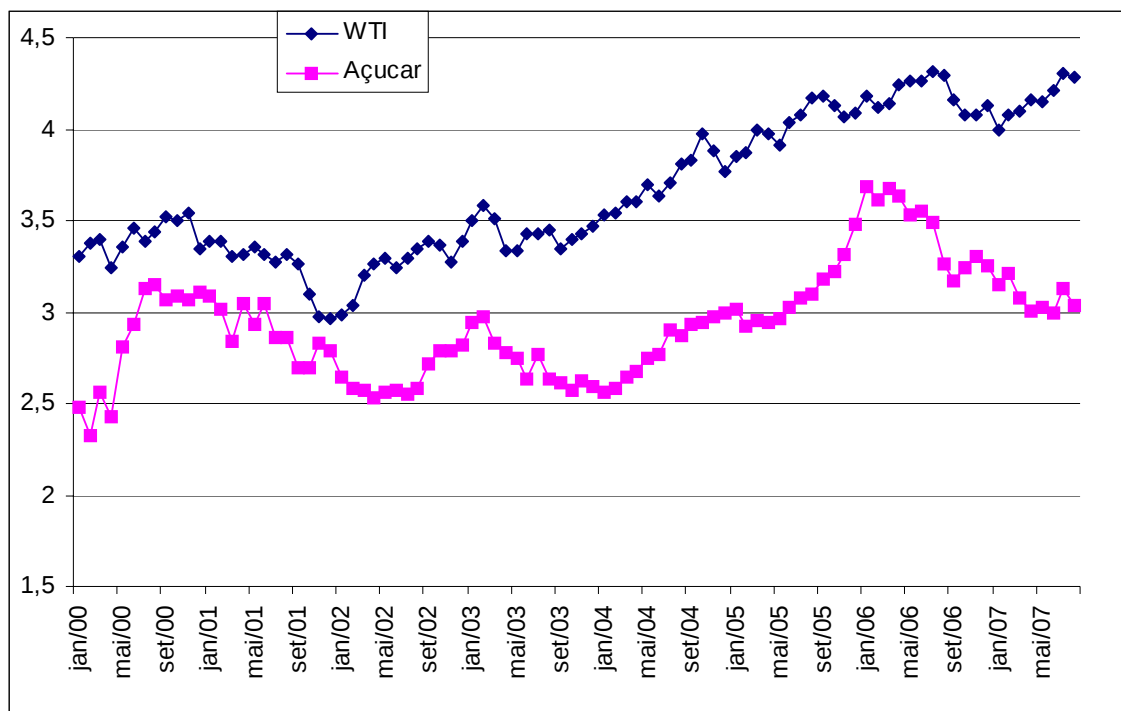


Fontes: EIA (2007) e NYBOT (2007)

A visualização gráfica do comportamento dos preços do petróleo e do açúcar tem levantado o debate acerca da influência dos preços do petróleo no comportamento dos

preços do açúcar no mercado internacional. De fato, em dois eixos distintos parece haver um movimento conjunto dos preços dos bens, o gráfico 5.5-3 apresenta a evolução dos preços em escala logarítmica.

Gráfico 5.5-3- Comportamento dos preços do açúcar e petróleo no mercado mundial janeiro 2000 a agosto de 2007 – em Logaritmos.



Os testes de co-integração realizados apresentam resultados ambíguos. Em primeiro lugar, o critério de definição de defasagens priorizado nesta tese – o critério de akaike – levou a um grande número de defasagens incluída no teste, isto é, $p=7$. Em outras palavras, as relações entre os preços do petróleo e do açúcar se processariam ao longo de 7 meses, segundo este critério. A considerar o número de defasagens de 7 meses, os testes do traço e do máximo autovalor permitem concluir pela presença de uma relação de co-integração no período. Todavia, o teste de S&L rejeita a hipótese de co-integração, ao mesmo número de

defasagens. Considerando o número nulo de defasagens, os testes são unânimes em rejeitar a hipótese de co-integração. Em suma: os resultados dos testes são inconclusivos.

Os resultados obtidos devem ser interpretados a luz de algumas considerações. Em primeiro lugar, no período de análise houve eventos que interligaram os dois mercados, porém por razões distintas ao impulso no mercado de biocombustíveis. Conforme ressaltado por Almeida e Silva (2006), em 2005, o furacão Katrina que atingiu o sul dos EUA, não apenas comprometeu a produção petrolífera do país, como também a produção açucareira. Além disso, cabe ressaltar que a referência ao preço internacional do açúcar – as cotações de expiração mais próxima do contrato n.11 da Bolsa de Nova York – estão sujeitas às especulações deste mercado. Portanto, a possível conexão identificada pode ser essencialmente resultado da antecipação de expectativas dos investidores quanto a maior interconexão física futura destes mercados.

Schmidhuber (2007) afirma que existe uma relação de co-integração entre os preços do açúcar e do petróleo quando este ultrapassa o valor de US\$ 35/barril, que seria o *break even point* médio da produção de etanol no Brasil. Assim, como no caso do milho, pode-se observar que os preços do petróleo ultrapassam a barreira dos US\$ 35/barril a partir de março de 2004, tendo alcançado este valor apenas pontualmente em novembro de 2000 e em fevereiro de 2003. Assim, testes de co-integração com ruptura foram realizados para verificar a hipótese levantada pelo autor.

Com relação aos testes de causalidade, os resultados encontrados também diferem em função do número de defasagens considerado. Ao se considerar apenas uma defasagem, o sentido de causalidade é claro do petróleo para o preço do açúcar. Por outro lado, quando

se considera um número maior de defasagens, isto é, $p=7$, não foi possível identificar um sentido de causalidade entre os dados.

Tabela 5.5-3 – Testes de co-integração entre os preços do petróleo e do açúcar – 2000 e 2007 com e sem ruptura.

p	Posto	Traço	Maximo autovalor	S& L	Ruptura 04/2004	Ruptura 05/2004	Ruptura 06/2004 ¹
7	R=0 R=1	21,3 4,04*	17,2 *	6,73* 2,4	20,4* 4,7	22,2* 5,7	27,3 5,9*
1	R=0 R=1	10,5* 1,6	8,8*	3,6* 0,35	16,6* 5,6	14,9* 5,5	16,2* 5,4

¹Todos os testes realizados considerando rupturas entre junho e dezembro de 2004 apresentam os mesmos resultados qualitativos (aceitam hipótese de co-integração com $p=7$ e rejeitam a mesma hipótese com $p=1$)

Com relação aos testes de causalidade, os resultados encontrados também diferem em função do número de defasagens considerado. Ao se considerar apenas uma defasagem, o sentido de causalidade é claro do petróleo para o preço do açúcar. Por outro lado, quando se considera um número maior de defasagens, isto é, $p=7$, não foi possível identificar um sentido de causalidade entre os dados.

A partir dos resultados, pode-se dizer que existem indícios de uma relação de longo prazo entre os preços do açúcar e do petróleo, mas é forte afirmar que exista uma integração de mercado, pois os resultados não são unânimes. Mesmo para valores de preço de petróleo acima de US\$ 35/barril, os resultados são ambíguos. Esta ambigüidade pode ser decorrente do fato de que apenas no Brasil, existe uma conexão produtiva que possibilite a substituição da produção de um bem energético (etanol) por um produto alimento (açúcar) em função de variações dos preços. Apesar do peso do Brasil no mercado internacional de açúcar, este conta com outros produtores, bem como tem uma estrutura de funcionamento que está longe de ser caracterizada por um mercado livre.

Tabela 5.5-4- Teste de causalidade de Granger : açúcar x wti.

Par de variáveis	Prob Amostra total (p= lags)	Prob amostra 1/05 (p= lags)	Prob amostra 02/05 (p= lags)
Açúcar não → WTI	0,69 p=1	0,48 p=1	0,48
WTI não → açúcar	0,04	0,24	0,07

Ao que parece a relação de causalidade entre o preço do petróleo e milho, parece se fortalecer no período recente, enquanto no caso do açúcar, as sub-amostras não permitem aceitar o sentido de causalidade ao nível de 5%.

5.6 Conclusões

O capítulo buscou analisar as diferentes dimensões da integração de mercado possíveis a partir do maior uso do etanol. No que concerne a dimensão geográfica, aparentemente existe integração entre os mercados norte-americano e brasileiro, cujo ponto de conexão seria o mercado caribenho (El Salvador, Costa Rica, Jamaica e Trinidad e Tobago). Sem dúvida, a redução das barreiras de comércio entre os principais mercados de produção e consumo ampliaria esta integração.

Pelo lado da demanda, os resultados comprovam que o etanol é um bem substituto a gasolina. A partir do caso brasileiro, pode se concluir que o maior teor de etanol em misturas de combustíveis se reflete na existência de um prêmio significativo de preço, que tende a ser equivalente a diferença relativa no conteúdo energético. No que concerne à flexibilidade, ela não parece se constituir num atributo necessário para a integração de mercados, visto que tanto no mercado brasileiro quanto no mercado norte-americano, esta

hipótese foi aceita (após a introdução de uma ruptura). Porém, quando a flexibilidade está presente, tende a ser um atributo suficiente para este resultado. Cabe ressaltar que o mercado de etanol ainda responde por uma fração muito reduzida do consumo energético no setor de transportes (1%) e, segundo alguns autores, enquanto permanecer como um produto marginal terá seu preço determinado pelo produto principal. À medida que cresça esta participação o preço tenderá a ser definido por forças de oferta e demanda. Pelo lado da oferta, o papel da flexibilidade produtiva é mais evidente e se constitui num ponto diferencial entre os mercados norte-americano e brasileiro. Com relação à integração entre os mercados energético e agrícola, o estudo não encontra evidências neste sentido. De fato é possível perceber uma maior influência do mercado energético sobre o mercado agrícola, mas a integração entre eles tende a ser perspectiva tende a ser vista ainda como uma forma forte de perceber a relação entre estes mercados. De toda forma, este é um assunto recente e apresenta uma agenda aberta de pesquisa.

A análise econométrica empregada retratou relações que se estabelecem entre os mercados analisados. Com base neste entendimento, é válido analisar quais são os possíveis rumos destes padrões de integração identificados e qual o possível papel da flexibilidade produtiva e energética. Este será o objeto do próximo capítulo.

CAPÍTULO 6

PERSPECTIVAS SOBRE A INTEGRAÇÃO DOS MERCADOS ENERGÉTICO E AGRÍCOLA

O objetivo deste capítulo é traçar as perspectivas sobre os padrões de integração de mercado identificados no capítulo anterior. Vale lembrar que as perspectivas acerca da flexibilidade produtiva e energética foram delineadas no final dos capítulos relativos a estes temas. Desta maneira, a discussão realizada neste capítulo buscará identificar qual o possível papel da flexibilidade neste processo. Além disso, serão levantadas questões que comporão uma futura agenda de pesquisa sobre o tema. O capítulo está estruturado da seguinte maneira: a primeira seção apresenta as perspectivas sobre o uso do etanol no mundo; a segunda analisa os impactos esperados deste aumento no uso do etanol sobre os mercados agrícolas, a terceira seção discute as perspectivas do padrão de integração de mercado; a quarta analisa o papel do Brasil e da flexibilidade no mercado internacional de etanol e a quinta discute o impacto da segunda geração sobre a integração entre os mercados.

6.1 Perspectivas sobre o uso de etanol no mundo

De acordo com a Agência Internacional de Energia, os biocombustíveis devem representar entre 4% e 7% do consumo energético no setor de transporte em 2030, em contraste com a contribuição em 2006 de 1% (IEA, 2006). Este maior incremento no uso será concentrado nos EUA, na União Européia e no Brasil, países que atualmente são os maiores produtores e consumidores. Isto é fruto essencialmente das políticas de metas e misturas obrigatórias, dos incentivos fiscais bem como do cenário de preços elevados da fonte energética principal. Dentre os biocombustíveis, a agência aponta o etanol como sendo o responsável por este aumento da participação, uma vez que seus custos de produção são e devem continuar mais baixos que os do biodiesel. Ainda segundo o estudo, a produção de biocombustíveis baseada na primeira geração poderá estar restrita pela concorrência no aproveitamento de terras de cultivo e pastagens com os fins alimentares, principalmente nos EUA e Europa. Cerca de 14 milhões de hectares de terra são agora usados para a produção de biocombustíveis, o que equivale a cerca de 1% das terras aráveis no mundo. Este percentual sobe para 2% no Cenário de Referência e para 3,5% no Cenário de Políticas Alternativas. Em 2030, segundo o cenário de referência, a quantidade de terra arável que seria necessária é superior a superfície total da França e Espanha, e de acordo com o cenário de políticas alternativas, seria necessária a área de todos os países da OCDE no Pacífico, incluindo a Austrália.

Nos EUA, por exemplo, segundo projeções do departamento de energia norte-americano (EIA, 2007), o etanol deve aumentar rapidamente sua participação no consumo de combustíveis no setor de transporte. Este deve passar de uma participação estimada de

4,3% (em volume) em 2006 para 7,5% em 2012 e 7,6% em 2030. Como visto, a produção de etanol nos EUA se baseia essencialmente no milho como matéria prima. De acordo com projeções da FAO (2007) o percentual da produção de milho dos EUA direcionada a produção de etanol passará dos 20% (55Mtons) em 2006 para 32% em 2016 (110 Mt). Isto será necessário para atingir as expectativas de produção de 45 bilhões de etanol em 2016. De acordo com Baker e Zahnister (2006), o etanol adicional necessário vai reduzir os excedentes de exportações norte-americanos. Vale lembrar que os EUA respondem por 60% das exportações mundiais de milho.

Na Europa, o Instituto Francês do Petróleo (Lorne, 2006) estima que o consumo de etanol deveria alcançar 5,5 Mtep, o que somados aos 11 Mtep de biodiesel, conseguiria atender a meta da União Européia de substituição de 5,75% do consumo energético do setor de transportes em 2010. A considerar pelos atuais níveis de produtividade agrícola e rendimento na conversão, isto implicaria no uso de 14% da produção de trigo e 27% da produção de beterraba de 2005 que deveriam ser destinadas a produção de etanol⁸⁸. Segundo o estudo, o alcance destas metas apenas com produção interna na Europa, tende a ser um desafio, pois significaria mobilizar todas as exportações extra-européias de trigo⁸⁹.

No Brasil, segundo estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2006) o consumo de etanol combustível no país alcançará 28,5 bilhões de litros de etanol em 2015 que serão provenientes de 60% da produção total de cana de açúcar estimada de 715 milhões de toneladas. Cabe ressaltar que ainda serão produzidos cerca de 8,5 bilhões de litros ao mercado externo, o que totalizaria a produção de 37 bilhões de litros. No caso

⁸⁸ Em 2005, 0,2% dos cereais produzidos na Europa e 4,3% da produção de beterraba foram absorvidos pela produção de etanol (Lorne, 2006).

brasileiro, a disponibilidade de terras agricultáveis não é um limitador da oferta. De acordo com um estudo realizado pela Universidade de Campinas (Unicamp, 2006), o Brasil teria disponibilidade para a produção de etanol equivalente a substituição de 5% (em volume) do consumo estimado de gasolina em 2025. Isto iria requerer 1,2 bilhões de toneladas de cana de açúcar e a utilização de toda a área agrícola disponível e apta a esta produção, 21 milhões de hectares (7 vezes superior a área atualmente dedicada a cultura de cana para a produção do etanol).

Adicionalmente, cabe mencionar as expectativas quanto à produção de etanol na China, realizadas pela FAO (2006). Segundo a instituição a produção de etanol no país deve crescer continuamente e atingir o montante de 3,8 bilhões de litros em 2016, comparados aos 1,5 bilhões de litros produzidos em 2006.

Quadro 6.1-1 – Quadro Síntese das Perspectivas de crescimento no uso de biocombustíveis

Região ou País	Perspectivas	Implicações
Mundo	Biocombustíveis representarão entre 4% e 7% do consumo de energético do setor de Transporte em 2030	Uso de 2% a 3,5% das terras aráveis no mundo em 2030
EUA	Etanol corresponderá a 7,5% da demanda do setor de transportes em 2012	Percentual da produção de milho absorvida para a produção de etanol subirá de 20% para 32 % em 2016
União Européia	Consumo de etanol deve alcançar 5,5 Mtep para atingir meta do bloco para 2010 (5,75% do consumo energético do setor transportes)	Implicaria no uso de 14% da produção de trigo e 27% da de beterraba, isto é, o bloco deixaria de exportar trigo
Brasil	País tem potencial agrícola para produzir o equivalente a 5% do consumo de gasolina (em volume) estimado para 2025	Isto requereria a ocupação de toda a área agrícola disponível e apta a produção de cana no país

6.2 Impactos sobre os mercados agrícolas

As expectativas sobre o aumento da participação dos biocombustíveis no consumo energético do setor de transporte no mundo estão apoiadas, sobretudo nas políticas de misturas obrigatórias e metas. Políticas de misturas obrigatórias se refletem no mercado de combustíveis como uma demanda rígida que os refinadores (ou distribuidores) devem cumprir, independente do preço do biocombustível. Por outro lado, a oferta deve se ajustar de modo a suprir esta quantidade adicional, o que poderá esbarrar na concorrência por terras agricultáveis com os fins alimentares.

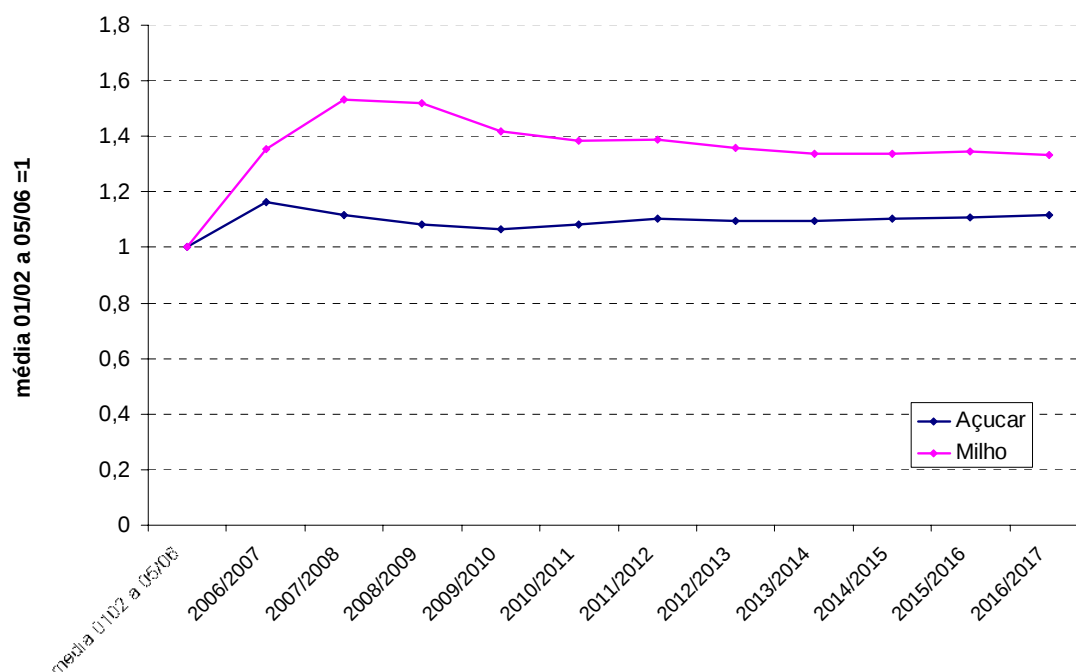
Como resultado deste ajuste, tem-se um grande impacto sobre os preços dos insumos agrícolas usados para a produção do etanol. Os testes realizados no capítulo anterior confirmam a maior influência dos preços dos produtos energéticos sobre os preços do milho, mesmo que a hipótese de integração pareça forte. Aliás, o impacto dos preços dos energéticos nos preços das *commodities* agrícolas tem sido um ponto de discussão recorrente. Ao contrário do que ocorreu após as crises do petróleo nos anos 70/80, a recente escalada de preços não havia gerado impactos inflacionários significativos. Diversos fatores contribuem para este aparente disjunção entre preços do petróleo e atividade econômica: menor dependência da atividade econômica dos insumos petrolíferos, seja pelo uso mais eficiente da energia no setor industrial, seja pelo maior peso do setor de serviços; efeito desvalorização do dólar; políticas de controle de preços nas grandes economias emergentes

notadamente China e Índia; e o sucesso das políticas monetárias de metas inflacionárias, sobretudo nos países desenvolvidos⁹⁰ (FAO, 2007).

Sobre a evolução recente dos preços das *commodities* agrícolas, a FAO/OCDE (2007) afirma que este fenômeno está relacionado tanto a fatores conjunturais, como o baixo nível dos estoques agrícolas e condições climáticas severas, quanto a fatores estruturais, como mudança na dinâmica no crescimento econômico, o uso destas *commodities* para a produção de biocombustíveis e as restrições ao comércio internacional e presença de subsídios. A produção destes combustíveis responderia apenas por uma parcela deste aumento, embora esta parcela tenha sido considerável no caso do milho nos EUA, onde esta demanda respondeu por 60% do aumento dos preços do milho em 2007 (FMI, 2007). Segundo a FAO/OCDE (2007) as políticas de uso obrigatório de biocombustíveis implementadas em diferentes países, expectativas acerca da continuidade do crescimento mundial, e expectativas de preços do petróleo acima da média histórica levarão a preços de *commodities* mais elevadas nos próximos 10 anos. O gráfico a seguir apresenta as projeções dos organismos para os preços do açúcar e do milho nos mercados internacionais, entre 2006 e 2016.

⁹⁰ Segundo a FAO (2007) a expectativa é de que o nível de inflação nos países OCDE caia para 2,0%^{aa} em 2010

Gráfico 6.2-1 – Projeções de Preços de Commodities: Açúcar e Milho* 2006 a 2016



*Os preços do açúcar se referem ao contrato n. 11 da Bolsa de Nova York, FOB Caribe; e do milho se referem a cotação do Milho amarelo n. 2 FOB Golfo do México.

Fonte: FAO/OCDE (2007)

Como se pode perceber a partir do gráfico, as projeções dos preços da FAO indicam que os preços de ambas as commodities serão mais elevados que a média de preços entre 2001 e 2005. Porém, cabe notar que a elevação nos preços do açúcar será inferior aquela alcançada pelo preço do milho: espera-se que os preços do açúcar em 2016 estejam 11% acima da média obtida entre 2001 e 2005, enquanto para o milho esta expectativa é de 33%. Além disso, cabe reparar também que as projeções de preços do açúcar serão de preços inferiores aos alcançados em 2006, quando houve o pico de preços no mercado internacional. Segundo a instituição, a elevação ocorrida em 2006 nos preços do açúcar, foi decorrência de problemas climáticos que reduziram a oferta em grandes países ofertantes como a Tailândia, bem como expectativas acerca do ajuste do mercado face às mudanças

nas regras de subsídios agrícolas na União Européia, e a maior destinação da produção brasileira de cana de açúcar para a produção de etanol. As projeções acerca dos preços futuros deste commodity pela instituição, leva em conta que as exportações brasileiras de açúcar devem aumentar, apesar da maior produção de etanol, com o incremento da produção de cana de açúcar no país. Outros países como a Índia e a Tailândia podem aumentar suas exportações de modo a suprir o mercado. Pelo lado da demanda, com a mudança na forma de organização do mercado comum de açúcar na Europa, esta tenderá a reduzir exportações e mesmo se tornar um importador líquido.

No caso do milho, a maior demanda para a produção de etanol estará combinada com a maior demanda para o uso do cereal como ração alimentar, em função da mudança dos padrões alimentares em países em desenvolvimento, sobretudo na China. De acordo com a FAO, o impacto inicial na demanda ocasionado pela maior produção de etanol nos EUA deve ser reduzida no médio prazo, com o reajuste do mercado. O reajuste deve se dar pela ampliação resposta da oferta a este cenário de preços, com a produção em áreas de “descanso” na Europa, áreas de conservação nos EUA, re-alocação de terra em grandes produtores (Austrália e Canadá) e entrada de produção de novos países na África e América Latina.

6.3 *Perspectivas sobre a integração entre os mercados agrícola e energético*

Tendo visto as perspectivas sobre o aumento do consumo de etanol e sobre o possível impacto deste nos preços das principais matérias primas agrícolas usadas na sua produção,

cabe analisar, quais são as perspectivas acerca da integração entre os mercado agrícola e energético. As perspectivas serão apresentadas como itens a seguir.

- Perspectivas de aumento da parcela das matérias primas agrícola voltada à produção de biocombustível deve estreitar a relação entre os mercados agrícola e energético

A participação dos biocombustíveis na oferta total de combustíveis no setor de transporte é baixa em todo mundo, representando 1% em 2007 (FMI, 2007). Mesmo no cenário mais otimista levantado pela Agência Internacional de Energia, eles devem chegar a 7% do setor de transporte. Por outro lado, a parcela da produção agrícola destinada a este fim tende a ser superior (só nos EUA a parcela do milho destinada a este fim é prevista para 32% em 2016). Desta maneira, pode-se dizer que o mercado agrícola seria pequeno relativamente ao mercado energético. Assim, o efeito substituição entre a oferta para o mercado de alimentos e para o mercado energético tenderá a fazer convergir o movimento de preços entre estes mercados, mesmo na ausência de plantas produtivas flexíveis. Isto estreitará os laços entre os dois mercados, sendo o preço diretor o preço dos energéticos.

Segundo Schmidhuber (2007), os preços do mercado energético formarão um piso mínimo de preços para os produtos agrícolas. Um produtor de milho, por exemplo, será indiferente a vender sua produção a um produtor de etanol ou a um industrial agro-alimentar, somente se a receita marginal da venda for igual entre os dois mercados. Por sua vez, um produtor realizará a produção de etanol, sempre que a receita marginal obtida

supere o custo marginal de produção do mesmo. A receita marginal do produtor de etanol será uma função do preço da gasolina (uma vez que os preços são co-integrados e o mercado de gasolina é o preço diretor) e o custo, uma função do preço da matéria prima. Assim, a transmissão de variações tenderá a se dar de maneira unidirecional do mercado energético para o agrícola, que então se ajustará a variações de preços nos mercados energéticos. Na presença de flexibilidade produtiva, esta relação de preços é direta, pois a produção entre os dois mercados tende a se ajustar mais rapidamente. Na ausência, o ajuste tende a se processar de forma mais gradual. Essa é uma das razões pelas quais pôde se verificar atualmente a relação entre os mercados agrícola e energético, quando se analisou o preço do etanol e do mercado de açúcar no Brasil e a mesma relação não foi verificada ainda no mercado de milho e etanol. Todavia a expectativa é de que esta relação passe a ser verificada também neste mercado, a diferença seria a velocidade de ajuste aos preços a uma posição de equilíbrio.

Assim, uma possibilidade de estudo futura, seria a estimação de modelos com o objetivo de analisar e comparar as velocidades de ajustes a choques entre os mercados de etanol e a sua principal matéria prima nos diferentes mercados. Esta seria uma das formas de se verificar a hipótese descrita acima

- Integração de mercados implica em convergência a um nível de preços de equilíbrio

Como se viu, a integração entre os mercados energético e agrícola é uma tendência, que se verifica a partir do aumento da produção e demanda por bio-combustíveis. Porém, a forma pela qual se processa o ajuste em relação a uma posição de equilíbrio depende de um

lado das estruturas de produção e de outro, das estruturas de demanda. E neste ponto a flexibilidade desempenha papel importante, tanto pelo lado da oferta, quanto pelo lado da demanda, conforme se verá no próximo item. Aqui cabe ressaltar que a integração dos mercados agrícola e energético não será uniforme, mas dependerá da tecnologia de produção e uso em cada mercado.

Além disso, a integração entre estes dois mercados significa que existe um ponto de equilíbrio de longo prazo entre eles. Nesse sentido, ao mesmo tempo em que existirá um piso de preços dado pelos produtos energéticos, haverá também um teto de preços, que será dado por estes mesmos preços. O efeito teto é explicado Schmidhuber (2007). Segundo o autor, os preços dos produtos agrícolas não podem subir a taxas mais elevadas do que a taxa de elevação dos preços dos energéticos, pois, caso contrário, haverá um cenário de “*cost-price-squeeze*” na produção de etanol. Este efeito se reflete em perda de competitividade do insumo agrícola como fonte energética, o que levaria ao abandono de projetos de produção de combustíveis a partir destas fontes. O fechamento e/ou abandono de projetos de produção arrefeceria o impacto da demanda pelo insumo o que os levaria de volta a posição de equilíbrio de longo prazo. Movimentos neste sentido podem ser visto a partir do segundo semestre de 2007 nos EUA. A elevação dos preços do milho tem reduzido as margens da produção de etanol e com isso, alguns projetos de construção têm sido adiados e a produção reduzida⁹¹. Portanto, isso significa que as preocupações com

⁹¹ A conjuntura no segundo semestre de 2007 nos EUA é a de preços elevados do milho, que atingem US\$ 3,795 em setembro enquanto o excesso de oferta doméstico levou a uma queda no preço do etanol a US\$ 1,865/galão (US\$ 0,49/litro). Isto levou a redução pela metade da produção da usina da VeraSun em Indiana, bem como o cancelamento de outros 5 projetos de produção que representariam 539 milhões de galões anuais (2 bilhões de litros) (Bloomberg, 2007)

elevações indeterminadas dos preços das matérias primas agrícolas usadas com o fim de produzir bio-combustíveis seriam infundadas.

À medida que o aumento nos preços agrícolas inviabiliza a produção de etanol, a pressão no mercado de insumo tende a se reduzir e os preços dos mesmos tendem a desacelerar. De acordo com este raciocínio, os preços das commodities energéticas somente seguiriam uma tendência de preços continuamente crescentes, caso os preços dos energéticos tivessem este mesmo comportamento. Como este processo depende da redefinição de decisões de investimentos, o tempo de ajuste dos preços a uma posição de equilíbrio tende a ser maior.

- Formas de consumo (políticas de misturas obrigatória x flexibilidade do consumo) condicionarão a forma de integração.

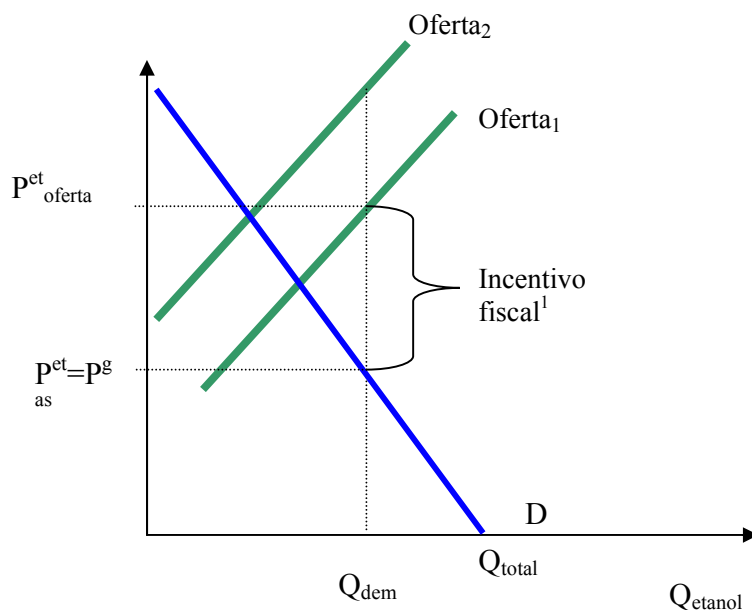
As formas de consumo também desempenham um papel importante na forma de integração realizada entre os mercados agrícola e energético. Conforme visto no capítulo anterior, os preços do etanol são co-integrados aos preços da gasolina, e podem ser considerados substitutos perfeitos para o combustível mineral. Entretanto, a forma de prêmio exigido difere, caso o etanol seja consumido em misturas obrigatórias, caso seja consumido em maior conteúdo em veículos flex-fuel. Em outras palavras, no primeiro caso, o prêmio em termos de preço por volume pode ser considerado como nulo, enquanto no segundo caso, o preço do etanol tem um redutor em função do menor conteúdo energético. Assim, a primeira diferença que se pode apreender é que o impacto de variações nos preços

da gasolina tende a ser amortecido sobre os preços do etanol, caso a demanda seja determinada principalmente pelo uso em veículos flex-fuel.

A segunda diferença existente se refere à elasticidade da demanda, e como esta afeta o ajuste em direção ao equilíbrio de mercado. Os gráficos a seguir servem para expressar as diferenças no equilíbrio de mercado de etanol na presença de demanda determinada a partir de políticas obrigatórias e a partir da presença de veículos flex-fuel. No caso em que a demanda é determinada a partir de misturas ou metas obrigatórias, podem se configurar duas situações de equilíbrio de mercado. A primeira se refere ao caso clássico em que a política de mistura obrigatória (ou meta) é definida em função de um percentual exigido. O gráfico 6.3.1 ilustra esta situação. Neste gráfico, a curva de demanda por etanol (D) é derivada da curva de curva de demanda no mercado de gasolina (isto é, $x\%$ da demanda, sendo x o percentual da mistura obrigatória). O preço do etanol de equilíbrio (p^e) será igual ao preço da gasolina (p^g) o qual é definido no mercado de gasolina a partir do equilíbrio entre demanda e oferta neste mercado. A este preço será determinada uma quantidade Q_{dem} que seria a quantidade de etanol necessária para satisfazer a demanda por etanol definida pela política. Contudo, pode acontecer que o preço da oferta para esta quantidade demandada seja superior ao preço da gasolina. Esta seria então uma das justificativas para o estabelecimento de isenções fiscais e/ou subsídios para a oferta de etanol como forma de garantir a igualdade entre oferta e demanda. Cabe ressaltar que este ajuste de mercado ocorre no nível da distribuição de combustíveis. Dessa forma, a isenção fiscal ao etanol tem o papel de evitar impactos negativos sobre a margem dos distribuidores e/ou o repasse de preços aos consumidores (que pagarão o preço final do combustível já com o percentual de etanol e desempenham papel reduzido no ajuste de mercado).

É possível perceber a partir do gráfico que variações ocorridas pelo lado da oferta, por exemplo, aquelas que levariam a redução da produção (representada no gráfico pelo deslocamento de Oferta₁ para Oferta₂), tendem a aumentar a necessidade de incentivos fiscais. Por outro lado, aumentos nos preços da gasolina *ceteris paribus* tenderiam a reduzir a necessidade de incentivos fiscais. Assim, outra forma de ajustar este modelo pode ser o aumento do preço da gasolina (p_g) via aumento da tributação incidente sobre este combustível.

Gráfico 6.3-1– Equilíbrio de Mercado de Etanol cuja demanda é determinada por misturas obrigatórias.

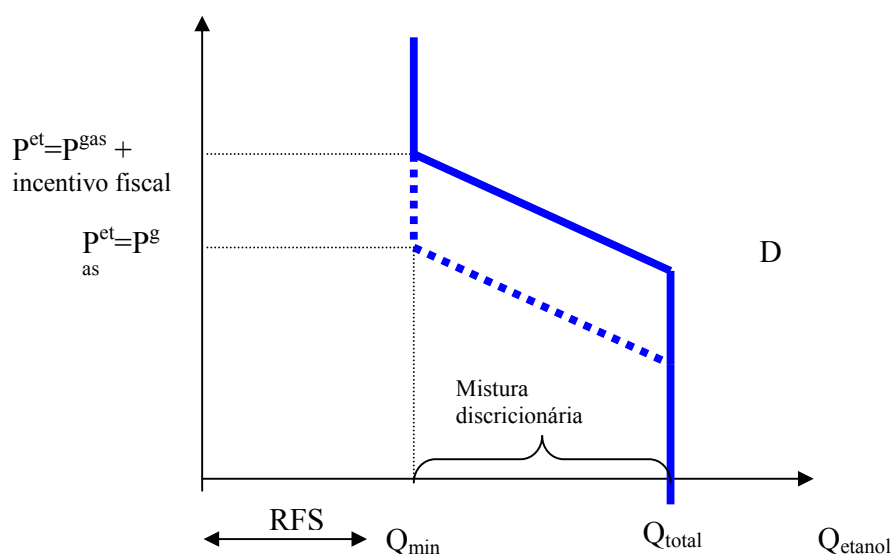


Fonte: Elaboração Própria

Sankey et al (2006) delineiam uma forma alternativa de equilíbrio no mercado de etanol, quando as políticas de uso obrigatório determinam uma quantidade mínima em volume que deve ser usada nas vendas de gasolina. Este é caso particular da política norte-

americana baseada no Padrão dos Combustíveis Renováveis (RFS). Este exemplo será representado no gráfico 6.3-2.

Gráfico 6.3 -2 - Equilíbrio de Mercado de Etanol cuja demanda é determinada por misturas obrigatórias.



Fonte: Adaptado de Sankey et al (2006).

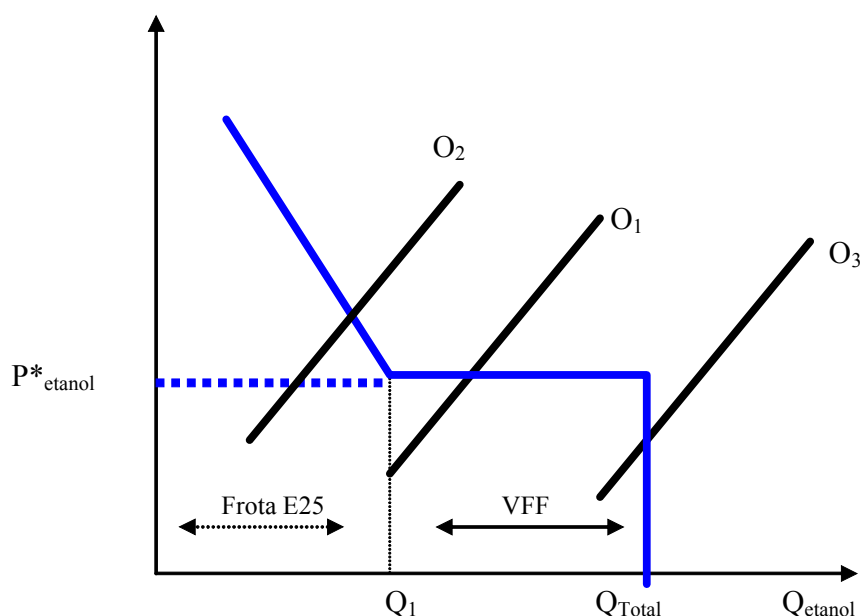
Segundo Sankey et al (2006), se o preço do etanol, estiver acima do preço da gasolina adicionado do incentivo fiscal atualmente concedido no mercado norte-americano, a quantidade total de etanol no mercado de combustível será igual a quantidade mínima definida pela política energética. Caso o preço do etanol situe-se abaixo deste patamar, há um incentivo econômico aos refinadores e distribuidores para aumentar a quantidade de etanol na mistura com a gasolina, uma vez que estes poderão se beneficiar também em parte do incentivo fiscal. Isto ocorre até o momento em que se supre a totalidade do mercado, isto é a quantidade que a frota está adaptada para consumir. Este incentivo

somente se converte em misturas discricionárias em mercados onde não existem regras adicionais sobre qualidade da gasolina, isto é em mercados convencionais de gasolina nos EUA⁹². O gráfico acima apresenta também o efeito do crédito fiscal sobre a disposição dos refinadores/distribuidores em aumentar a quantidade de etanol no *pool* de gasolina.

No caso da presença de veículos flex-fuel, a possibilidade de substituição imediata entre dois combustíveis – um com alto conteúdo de etanol (E85 ou E100) e outro com alto conteúdo em gasolina (entre E0 e E25) – torna a demanda significativamente mais sensível a variações de preços. Dado que os consumidores percebem ambos os combustíveis como substitutos perfeitos – estão dispostos a substituir um pelo outro a uma razão fixa - caso os preços estejam fora da posição de equilíbrio, o consumidor destinará seu orçamento a apenas um combustível e consumirá nada do outro combustível. Cabe lembrar que a posição de equilíbrio neste caso é aquela em que o preço relativo seja igual a razão de conteúdo energético (que representaria a taxa marginal de substituição – TMS - entre os combustíveis). Este comportamento levará a configuração de uma curva de demanda por etanol combustível infinitamente elástica até que se atinja a totalidade do mercado. Assim, os produtores de etanol somente serão capazes de vender quantidades positivas caso o preço da oferta corresponda ao preço de equilíbrio de longo prazo, p^* , isto é, corresponderá a $TMS \cdot P_{\text{gasolina}}$. O gráfico 6.3-3 a seguir ilustra esta configuração.

⁹² Segundo os autores, cerca de 60% do mercado norte-americano de gasolina utiliza algum tipo de gasolina reformulada. Neste tipo de mercado, em geral existem restrições relativas a pressão de vapor do produto final, o que tende a impedir maior incorporação do etanol, principalmente no verão.

Gráfico 6.3-3 – Equilíbrio no Mercado de etanol combustível: presença de veículos flex-fuel.



Fonte: Elaboração Própria

No gráfico acima, a quantidade total de etanol que pode ser consumida (Q_{Total}) é a quantidade total que pode ser consumida pela frota de veículos a gasolina com baixo conteúdo de etanol (no caso brasileiro, por exemplo, o E25) e por veículos flex-fuel. Assim, a curva de demanda (linha pontilhada) dos VFF segue o raciocínio descrito anteriormente: nenhuma quantidade de etanol é consumida para preços acima do preço de equilíbrio, e qualquer quantidade oferta ao preço de equilíbrio será absorvida, até que se atinja a totalidade do mercado. Todavia, cabe ressaltar que para preços acima do preço de equilíbrio ainda haverá uma quantidade consumida de etanol referente à mistura obrigatória. Dessa forma, a curva de demanda total seria a curva completa, para preços acima do preço de equilíbrio, tem-se a demanda apenas referente a mistura obrigatória, e a preços iguais ao

preço de equilíbrio, qualquer quantidade pode ser consumida até o total da frota. Nesta configuração de mercado, variações pelo lado da oferta que levem a sua retração irão se refletir em ajustes de quantidade de etanol vendida no mercado de combustíveis. Em outras palavras, variações pelo lado da oferta tenderão a ter efeitos transitórios de preços em função da capacidade de ajuste imediato da demanda. Por outro lado, como o mercado é limitado pela parcela de VFF presente na frota, podem existir configurações de preços de equilíbrio abaixo do equilíbrio de longo prazo, caso a oferta supere a quantidade total do mercado. Neste sentido, o ajuste em direção a posição de equilíbrio dependerá do lado da oferta.

Caso a curva de oferta cruze a curva de demanda antes da porção relativa a demanda dos veículos flex, o consumo de etanol será apenas em função da política de mistura obrigatória. Assim, se for do objetivo do governo o estímulo do consumo além deste patamar, o recurso a incentivos fiscais pode ser uma alternativa (Curva O_2). Contudo, se a curva de oferta já cruza a curva de demanda na faixa infinitamente elástica, incentivos fiscais seriam desnecessários (Curva O_1). Com base neste comportamento da demanda, a única possibilidade em que o preço do etanol possa se situar abaixo do preço de equilíbrio, se refere à situação em que a curva de oferta cruza a curva de demanda no ponto além do total do mercado (Curva O_3). Isto se refere ao fato de que o mercado de etanol no Brasil, ainda esteja em crescimento e pequeno em relação ao mercado de gasolina. À medida que a participação dos veículos flex fuel aumente, este tipo de equilíbrio tende a ser mais raro.

A partir destas configurações de mercado, podem-se tirar algumas conclusões acerca da integração destes mercados na dimensão produto. Em primeiro lugar, quando a demanda é definida essencialmente por misturas obrigatórias parece haver pouca atuação

de forças econômicas que levem os preços do etanol a se ajustar ao preço da gasolina. Segundo a análise realizada, quando os preços do etanol se encontram acima do preço da gasolina, a tendência de política é a de conceder incentivo fiscal de modo igualar o preço dos dois combustíveis, e se atingir a quantidade de etanol necessária ao alcance da meta definida. Movimentos descendentes do preço da gasolina aumentam o tamanho do incentivo fiscal necessário ao cumprimento da mistura obrigatória. Por outro lado, aumentos dos preços da gasolina, dado o mesmo incentivo fiscal, tendem a estimular a oferta de etanol, pois aumenta a atratividade da produção do combustível. Aumento da oferta do produto pode levar a um descolamento dos preços dos bens. Para enxugar o excesso de oferta, o governo pode implementar políticas de maior incorporação com o fim de absorver o excesso de oferta. No caso descrito por Sankey et al (2006), situações em que a mistura obrigatória seja inferior a possibilidade máxima de incorporação de etanol na gasolina e não haja restrições regulatórias à incorporação superior a meta definida, preços inferiores podem estimular o aumento da incorporação discricionária por parte dos agentes do mercado. Esta seria a única força econômica que agiria pelo lado da demanda no sentido de re-estabelecer o equilíbrio. Caso contrário, o ajuste somente se daria pelo desestímulo que preços baixos exerceriam sobre os projetos cessando o estímulo econômico inicial para a sua realização.

Em suma, em um mercado com demanda determinada a partir de misturas obrigatórias, a paridade de preços entre os dois combustíveis é o ponto de partida do mercado e não um resultado do livre jogo das forças de mercado. Situações em que o preço do etanol esteja acima do equilíbrio, não existem forças econômicas que restabeleçam o equilíbrio. Ao contrário, quando se encontram abaixo, forças pelo lado da oferta tendem a

restabelecer a paridade de preços entre os dois combustíveis. A co-integração identificada entre os preços dos dois combustíveis está apoiada no fato de ser o mercado de etanol um mercado marginal em relação ao mercado de gasolina.

Outro ponto a ressaltar da presença de misturas obrigatórias se refere ao efeito dinâmico perverso que a política de metas obrigatórias e incentivos fiscais exerce: metas e incentivos fiscais tornam a produção de etanol economicamente viável, o que implica em pressão no mercado de insumos que por sua vez eleva os custos da própria produção. Desta forma, para realizar a quantidade necessária para o suprimento da meta, sem maiores impactos sobre o preço final ao consumidor e/ou sobre as margens dos distribuidores necessita-se de mais incentivos fiscais. Em outras palavras, um cenário de preços de gasolina elevados, o que em tese, reduziria a necessidade de incentivos fiscais, pressiona o mercado de insumos e não ameniza a necessidade fiscal. Como conclusão, tem-se que os incentivos fiscais mitigam o quadro de *cost-price-squeeze* decrito por Schmidhuber (2007), que seria necessário para reduzir a demanda sobre o mercado de insumos agrícolas. Conforme apresentado no terceiro capítulo, os incentivos fiscais para o uso do etanol representam elevado montante de renúncia fiscal por parte dos diferentes governos, o que em geral supera o benefício ambiental relativo a economia no uso da gasolina. Além disso, são instrumentos que na prática tem durado por longos períodos, como no caso brasileiro e norte-americano. Alguns países, no entanto buscam romper esta dinâmica perversa, como é o caso da Holanda, que implementou isenção fiscal temporária ao etanol, a qual foi eliminada quando da implementação da política de mistura obrigatória.

No caso dos veículos flex-fuel, as variações do comportamento da demanda em função das variações de preços são as forças que restabelecem a posição de equilíbrio de

longo prazo entre os preços dos combustíveis. Neste caso, ao contrário dos dois primeiros, a paridade de preços, e, por conseguinte a integração na dimensão produto é um resultado das forças econômicas.

- O papel dos elos faltantes da cadeia

Para finalizar esta seção cabe ressaltar a importância de elos faltantes na cadeia de produção e consumo de etanol na integração de mercado. A paridade de preços entre etanol e gasolina, ponto de partida para o ajuste no mercado na presença de políticas de uso obrigatória tem como pressuposto o fato de ser o mercado de gasolina grande o suficiente para absorver a oferta marginal de etanol. Na prática, porém, existem barreiras a esta total absorção: gargalos na distribuição, logística e transportes; restrições regulatórias a maior incorporação e baixa disponibilidade de veículos capazes de rodar com maiores proporções de combustíveis. Segundo Schmidhuber (2007), ainda existem diversos elos faltantes na cadeia do “campo ao posto”, o que tende a refrear a integração entre estes mercados (refletido sempre no ajuste a paridade de preços). Mesmo no caso brasileiro, o qual segundo o autor, seria o único mercado fisicamente completo⁹³, a ainda limitada parcela de VFF na frota, restringe o movimento de ajuste de preços automático pelo lado da demanda e leva a situações de equilíbrio com preços abaixo da paridade com a gasolina. O movimento de preços de etanol, verificado ao longo de 2007 no Brasil, indica que a expansão da oferta superou a quantidade de demanda total possível de ser absorvida pelo mercado.

⁹³ Segundo Schmidhuber (2007) o mercado brasileiro conta com os seguintes elementos, que o diferencia dos outros: i) alta penetração de veículos flex-fuel; ii) uma rede de transporte e distribuição de etanol em todo o país; iii) parcela crescente de usinas de produção flexíveis entre álcool e açúcar; iv) parcela crescente de usinas dedicadas; v) sistema de produção de energia integrado com a presença de unidades de cogeração e venda de energia elétrica.

- Barreiras Comerciais e a Integração Geográfica

O comércio atual de biocombustível é modesto, mas em rápido crescimento, segundo a agência internacional de energia (IEA, 2006). De acordo com Steenblik (2007), espera-se que o comércio internacional de biocombustíveis em geral cresça, pois o alcance das metas estabelecidas nos EUA e na Europa tenderão a exercer grande pressão sobre a disponibilidade agrícola, o que aumentará o custo social destas políticas. Os resultados do capítulo anterior permitem aceitar a hipótese de integração geográfica no mercado de etanol, quando se inclui uma ruptura estrutural. Contudo, como os preços do etanol, também são co-integrados com os preços da gasolina pelo lado da demanda, e que esta sim tende a ter um mercado integrado em nível internacional, resta a dúvida se o resultado anterior (integração geográfica), não seria um simples reflexo deste segundo resultado (integração da dimensão produto). A presença de barreiras comerciais, bem como o baixo volume de comércio relativamente a produção e consumo do bem, tendem a corroborar esta hipótese.

De acordo com o FMI (2007), a eliminação das barreiras comerciais existentes no mercado de etanol, bem como das políticas de apoio fiscal implementadas pelos EUA e União Européia mitigaria a influência dos preços dos energéticos sobre os produtos agrícolas nestes mercados. Segundo a instituição, num exercício hipotético de redução das barreiras tarifárias levaria ao aumento das importações de países de produção a menores custos, como o Brasil. Isto teria como impacto a redução de 20% nos preços do milho e

uma elevação nos preços do açúcar se elevariam em 15%, impacto mitigado pela capacidade de expansão da oferta no Brasil e nos grandes produtores de açúcar.

Um mercado integrado geograficamente, para o que contribuiria a redução das barreiras comerciais, acelera o ajuste de preços entre os mercados. A redução das barreiras comerciais entre o Brasil e os EUA, por exemplo, mitigariam a pressão no mercado de milho, pois reduziria a pressão pela produção no país, bem como seria uma solução para os produtores brasileiros, pelo menos no ano de 2007, ao reduzir o excesso de oferta doméstico e re-estabelecer a paridade com os preços da gasolina neste mercado. Todavia, conforme visto no capítulo 3, o cenário de redução das barreiras comerciais ainda não é um cenário provável, pelo menos não no curto prazo.

Outro efeito esperado de uma maior integração de mercados a partir da ampliação dos fluxos de comércio e possíveis reduções de barreiras comerciais, é a elevação do preço doméstico no mercado brasileiro. Como visto, a integração de mercados leva a unificação de preços. Como na maior parte dos países a demanda por etanol se dá com base em políticas de misturas obrigatórias, em que o preço do etanol mantém paridade com o preço da gasolina sem redutor de preços, isso levaria a uma elevação do preço do etanol no Brasil. Na seção anterior foi visto, que a medida que a proporção de veículos flex-fuel aumente na frota de veículos, a demanda no país tende a se tornar cada vez mais sensível a variações de preços. Como consequência o ajuste no mercado deste combustível tende a se dar mais por variações na quantidade consumida, com variações na participação do etanol no total de combustíveis consumidos no setor de transporte. Dessa forma, o resultado tende a ser uma menor quantidade de etanol destinada ao mercado doméstico e maior quantidade a ser exportada. Ver-se-á na próxima seção, uma estimativa deste possível efeito

6.4 O Papel do Brasil e os impactos da flexibilidade

O Brasil é um dos maiores produtores de etanol no mundo e o maior exportador, respondendo por 80% do total mundial (Jank, 2007). O país apresenta o menor custo de produção por litro e sua produção baseada na cana de açúcar apresenta balanço energético positivo e mais favorável que seu concorrente baseado no etanol.⁹⁴ Estas vantagens combinadas com as perspectivas de aumento do uso do etanol combustível em nível mundial estão motivando a adoção de uma estratégia do país mais direcionada ao mercado internacional. O objetivo desta seção então é o de analisar qual o papel possível do país no mercado internacional, tendo por base a flexibilidade da demanda de seu mercado interno.

Evolução Potencial da produção de Etanol: 2006-2015

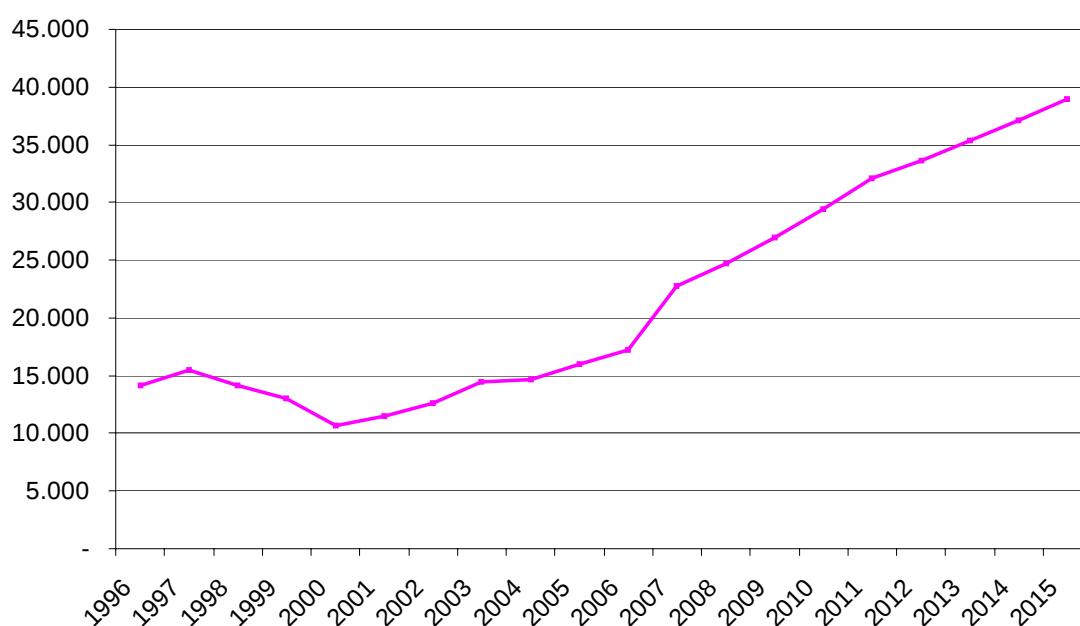
O potencial das exportações brasileiras no médio prazo dependerá inicialmente da evolução da produção do país. Esta por sua vez, dependerá da expansão da produção de cana de açúcar, to percentual da mesma a ser direcionado a produção de etanol e da produtividade industrial. O cenário estudado levou em conta as projeções acerca da produção de cana de açúcar no país realizada pela Única (2006). De acordo com esta associação, o país deve alcançar a produção de 570 milhões de toneladas em 2010 e 731 milhões de toneladas em 2015. Foi assumido também que 60% da cana de açúcar será direcionada para a produção de etanol, proporção que é superior a média ocorrida em 2006.

Esta hipótese está de acordo, por exemplo, com as perspectivas apresentadas pela F.O Licht

⁹⁴ Por exemplo, De Oliveira et al (2005) mostram que o balaço de energia do etanol a partir da cana de açúcar é 3,7, comparado com 1,04 obtido pela produção a partir do milho nos EUA.

(2006) e pela Única (2006). Outro pressuposto adotado foi o de que ocorrerá um aumento na produtividade industrial, dos atuais 80 litros/ tonelada para 85 litros/tonelada. Com base nestas premissas, espera-se que a produção de etanol no Brasil alcance o total de 39 bilhões de litros em 2015.

Gráfico 6.4-1 - Projeção de Produção de Etanol no Brasil (milhões de litros) 1996 – 2015



Fonte: Elaboração Própria

Potencial de Evolução da Demanda de Etanol no Brasil: 2006 - 2015

O consumo de etanol no Brasil está sendo impulsionado pela evolução das vendas de veículos flex-fuel. Neste sentido, a evolução desta frota é elemento fundamental da

análise do comportamento futuro da demanda deste combustível no país. Mas o consumo de etanol combustível também depende daquela parcela de etanol anidro que é adicionado a gasolina. Considerou-se nesse modelo a parcela média vigente em 2006 de 23%. A partir da projeção acerca da participação dos VFF na frota de veículos brasileiros, foram estimados dos cenários de consumo de etanol:

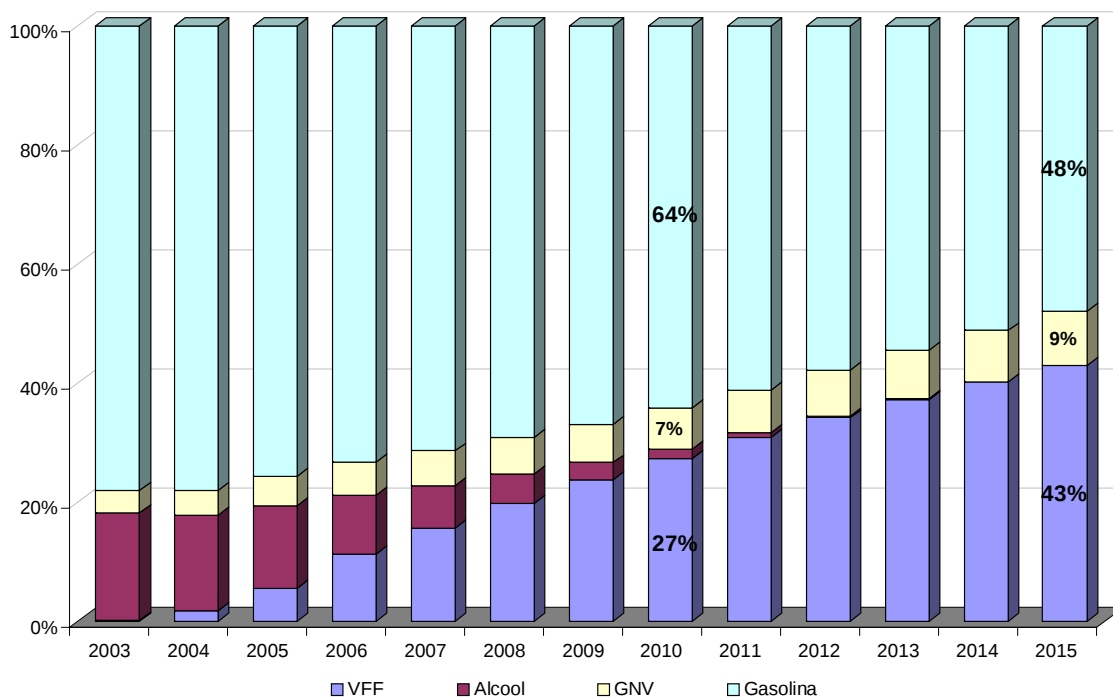
- Cenário de consumo máximo: aquele em que se considera que o total da frota de VFF consumirá etanol, o que será decorrência de uma situação de preços relativos favoráveis ao consumo de etanol em detrimento da gasolina
- Cenário de consumo mínimo: aquele em que se considera que a frota de VFF não consumirá etanol pelo motivo contrário e então o consumo será apenas aquele relativo a mistura obrigatória.

Estes dois cenários são interpretados como os limites inferior e superior do consumo doméstico de etanol e balizam, portanto os cenários de exportação do país.

Projeção da Frota

O cenário de evolução da frota foi estimado com base nos dados disponíveis acerca da frota atual de veículos leves, a projeção das vendas e o desempenho dos veículos. Cabe ressaltar que não existe uma série histórica sobre a evolução da frota brasileira e a maioria dos estudos estima a frota a partir dos dados de venda anual de veículos fornecidos pela Anfavea. Por simplicidade e com o fim de utilizar dados oficiais, estimou-se um modelo simples de tendência ($y = \alpha + \beta t$) com base nos dados do Departamento Nacional de Transportes (Denatran) entre 1998 e 2005. Ao longo deste período, a frota de veículos leve cresceu 6,3% a.a. Esta foi a base da projeção da frota de veículos entre 2006 e 2015.

Gráfico 6.4-2 Composição da frota de veículos leves no Brasil, 2006 - 2015



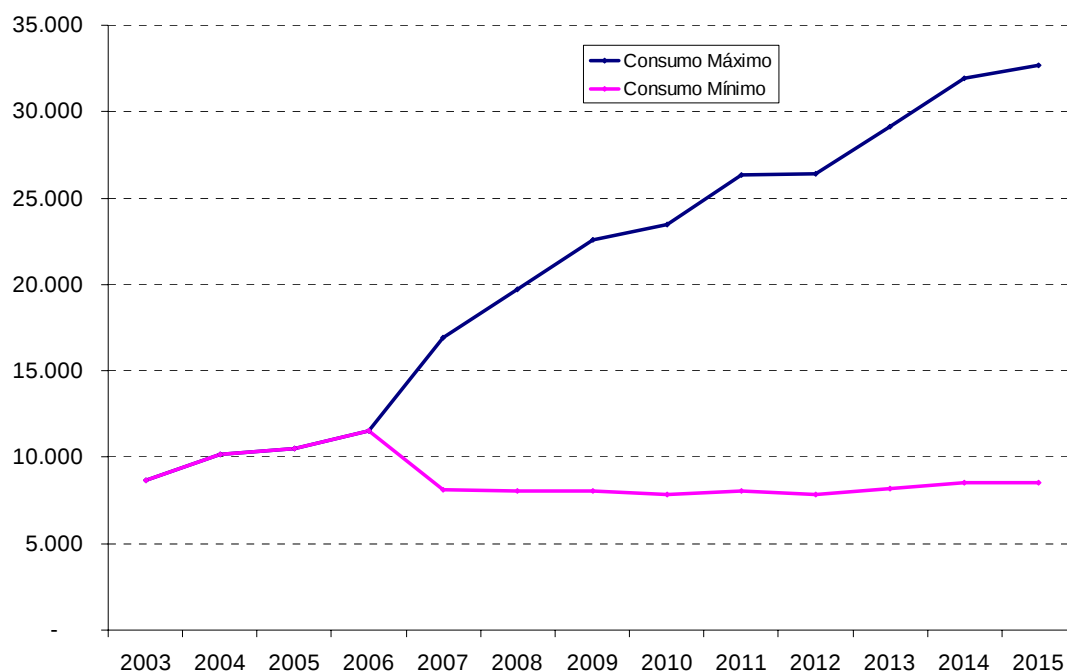
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Denatran (2006) e Sindipeças (2006)

Com o fim de analisar a composição da frota de veículos por tipo de combustível, foi necessário projetar as vendas de veículos leves no país. A opção foi pela estimação de uma função de vendas de veículos em função do PIB, com base nos dados de vendas de veículos entre 1969 e 2005 (Anfavea, 2006 e Ipeadata, 2006). Adotou-se a hipótese de que o PIB crescerá em média 3,3 % ao ano no período estudado. Além disso, assumiu-se que os VFF representarão em média 75% do total de vendas entre 2007 e 2015⁹⁵. Assumiu-se também que a frota remanescente de veículos dedicados a etanol irá desaparecer progressivamente dado que se trata de uma frota já madura com idade média de 9 anos (Sindipeças, 2006). Por fim, assumiu-se que a frota de veículos a gás natural, continuará a crescer a uma taxa de 10% ao ano, o que é sensível menor do que a média de crescimento

⁹⁵ A idéia subjacente é a de que alguns tipos de veículos de classes de consumo mais elevadas não teriam modelos flex-fuel.

anual de 25%. Baseado nestas premissas, a frota de veículos seria composta Segundo apresentação no gráfico 6.4-2.

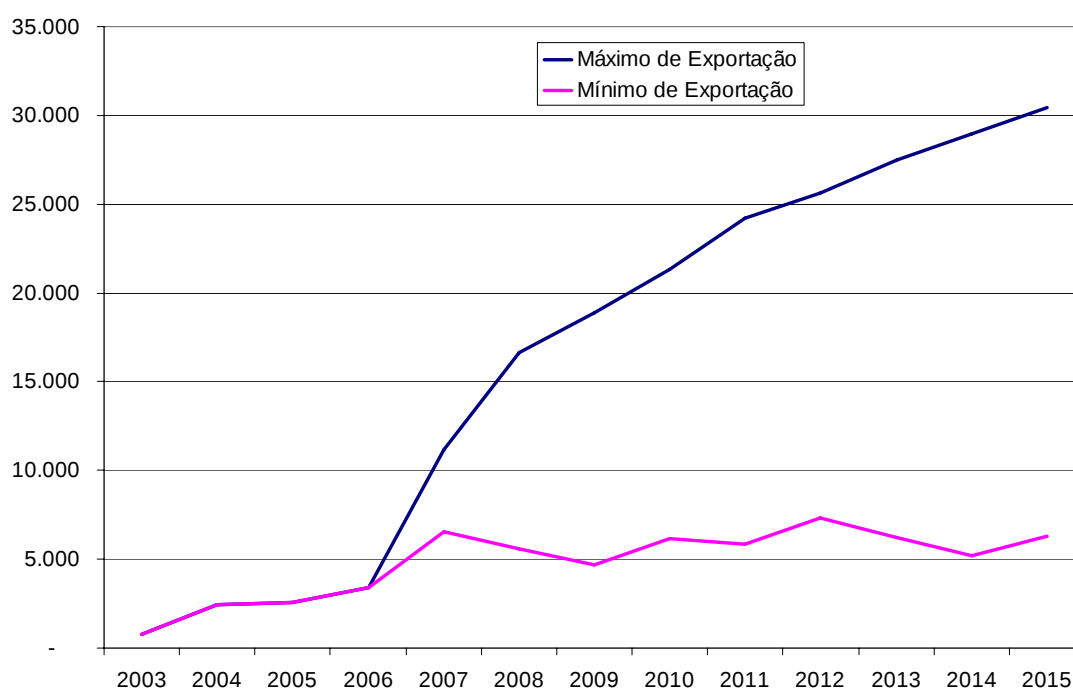
Gráfico 6.4-3 – Cenários de consumo de etanol no Brasil 2006 – 2015: Cenários máximo e mínimo



Fonte: Elaboração Própria

Por último, seguem-se os dois cenários extremos de exportações de etanol do Brasil. Conforme mostrado na figura 6.4-4 as exportações brasileiras poderão variar entre 6,3 e 30 bilhões de litros por ano.

Gráfico 6.4-4 – Cenários de Exportações Brasileiras de Etanol 2006 – 2015: Cenários Máximo e Mínimo



Fonte: Elaboração Própria

Nenhum destes cenários é muito provável na prática. O custo de transporte do álcool para regiões distantes dos centros produtores desfavorece o consumo do etanol pela frota de VFF nestes locais. Segundo a Única (2006), o máximo de consumo seria 80% da frota brasileira de VFF a consumir etanol. No outro extremo, num cenário de redução das barreiras de comércio, a tendência seria a formação de um preço único de referência do etanol mundial. Conforme visto, em todos os outros grandes consumidores, a demanda é

impulsionada essencialmente por misturas obrigatórias. Em outras palavras, o preço de referência tende a ser de paridade com a gasolina, sem redutor de conteúdo energético. O aumento no custo de oportunidade da venda para o mercado doméstico tenderá a levar os produtores a preferir as exportações. Como resultado, tem-se no limite que toda a produção doméstica poderia ser exportada. Cabe ressaltar que os incentivos fiscais no Brasil desempenham papel importante nos preços relativos entre os dois combustíveis. Além disso, como os incentivos fiscais são de responsabilidade de cada estado, não é provável que ocorra uma uniformidade de preços relativos entre os diferentes estados. Assim, mesmo em uma situação hipotética de redução das barreiras comerciais internacionais que tenderia a elevar os preços do etanol no Brasil, pode-se assumir que em algum estado os incentivos fiscais (via ICMS) tornarão favorável o consumo de etanol pela frota de VFF. Por exemplo, no estado de São Paulo, maior produtor do biocombustível é também aquele que fornece o maior incentivo fiscal em termos da diferença de tributação entre gasolina e álcool. Supondo que num cenário de redução de barreiras comerciais, este estado ainda seria consumidor de etanol. Neste caso, o excedente exportável seria de 17 bilhões de litros.

O objetivo desta análise não é propriamente fornecer um número X de bilhões de litros que o Brasil exportará em 2015, até porque os parâmetros usados na análise estão sujeitos a ajustes que alterariam estes números. A contribuição desta análise está em mostrar como o preço relativo etanol/gasolina pode alterar a capacidade de exportação do país e a participação deste combustível no consumo doméstico. Por exemplo, se o preço relativo etanol gasolina permanece abaixo dos 70%, o país terá pouco excedente exportável, uma vez que o consumo doméstico tenderá a absorver grande parcela da produção. Isto se constitui em um risco para países que buscam implementar políticas de uso obrigatório do

etanol por meio de misturas e que contaria para isso, com o suprimento do maior exportador mundial. Este efeito coloca em destaque, a necessidade do estabelecimento de contratos de longo prazo entre o Brasil e seus parceiros. Menos pela incerteza proveniente da flexibilidade produtiva do país, mas principalmente pela flexibilidade energética de sua demanda. Por outro lado, sob a ótica de uma política brasileira de incentivo ao uso do etanol no país e de expansão das exportações, um cenário de redução das barreiras comerciais pode colocar em conflito os dois objetivos o que requererá definição de uma prioridade e medidas compatíveis.

6.5 Perspectivas sobre a integração entre os dois mercados e o papel da 2a. Geração.

Conforme visto na primeira seção deste capítulo, uma das grandes preocupações sobre o uso de biocombustíveis, e em particular o etanol, se refere ao impacto dos preços dos energéticos sobre as matérias primas alimentares. Ao longo deste capítulo, foram mostradas as perspectivas acerca desta relação. Características de base para o uso e produção de etanol, isto é, as políticas de uso obrigatório, incentivos fiscais e barreiras de comércio, tendem a exacerbar os efeitos dos preços dos energéticos sobre os preços das matérias primas, ao impor obstáculos a maior integração entre os mercados nas dimensões geográficas e de produto.

De acordo com Faaij (2006), as políticas de misturas obrigatórias podem representar uma sobrevida para a produção de etanol a partir da primeira geração. Porém, pelos seus efeitos distorcidos sobre os preços dos insumos e uso da terra, se constituem em estímulo a

pesquisa e desenvolvimento de alternativas de produção mais eficientes, avançadas e competitivas. Estas alternativas devem advir com a ruptura tecnológica esperada com a segunda geração.

Existe muita incerteza e grande expectativa com relação a possibilidade de produção de etanol a partir da lignocelulose. Conforme visto no capítulo 3, as estimativas sobre os custos futuros desta alternativa variam significativamente, principalmente pelo fato de ainda estar em etapa de desenvolvimento e pelos desafios tecnológicos a serem superados. Mas as expectativas em torno deste novo paradigma tecnológico estão na sua capacidade de romper (ou limitar) o canal de transmissão entre os setores energético e agrícola/alimentar.

Em primeiro lugar, a produção de etanol a partir da lignocelulose possibilitará o uso de partes vegetais atualmente sem valor comercial. No caso da produção de etanol a partir da cana de açúcar, o uso da palha da cana permitirá o incremento de 14 litros de etanol por tonelada de cana de açúcar colhida, ou seja, um incremento de 16% ao atual rendimento em etanol por tonelada (Unicamp, 2006). O potencial para o incremento do rendimento apenas com o uso da palha de cana pode chegar a 37 litros/ tonelada em 2025, ou seja, um incremento de 43,5% no rendimento atual. Já com relação a produção de etanol a partir do milho, de acordo com McAloon et al. (2000), uma tonelada de milho colhido produz uma tonelada de palha e biomassa seca, da qual 30% pode ser coletada, pois o restante 70% deve ser deixado no solo para controle de erosão. O rendimento máximo que pode ser conseguido em etanol a partir da fermentação de uma tonelada de palha seca é de 107 galões. Segundo os autores, esta estimativa, porém tende a ser irrealista. O rendimento factível seria de 69 galões de etanol por tonelada de palha seca. Dessa forma, a considerar o

atual rendimento de 98 galões por tonelada de milho, o uso da palha seca do milho poderia aumentar o rendimento em etanol em 21%. Com relação a Europa, Lorne (2006) estima que a partir de 2010 processos de conversão de biomassa para biocombustíveis estarão em escala industrial, o que permitirá a produção de 33 Mtep ao ano a partir dos resíduos agrícolas da produção de cereais, oleaginosas e resíduos florestais. Dessa forma, a produção de etanol a partir dos mesmos insumos atuais poderá atingir incrementos substanciais de produção, o que reduzirá a competição no mercado de insumos entre fins agrícolas e energéticos.

Em segundo lugar, poderão ser cultivadas plantas destinadas exclusivamente para o fim da produção de etanol. Estas culturas seriam realizadas, sejam em terras atualmente em áreas de conservação (*Conservation Reserve Program*) nos EUA⁹⁶ ou em áreas atualmente destinadas “ao descanso” como na Europa. De acordo com Deutsche Bank (2006), o recente movimento de preços das commodities agrícolas pode levar a uma redução das áreas agrícolas devotadas ao programa de conservação e uma parcela desta área pode ser dedicada a produção de milho. Segundo estimativas do banco, porém, a contribuição destas terras no incremento da produção de milho do país tende a ser baixa, pois são áreas menos adaptadas a esta produção. Segundo a EIA (2007), o cultivo de gramíneas do tipo *Miscanthus*, ou árvores perenes como *poplar* e *willow* tende a ser uma possibilidade promissora para as áreas de conservação, uma vez que se constituem em culturas de baixo impacto ambiental (necessitam de menos fertilizantes). De acordo com a instituição,

⁹⁶ O programa de conservação de terras é de responsabilidade do departamento de agricultura norte-americano. É um programa voluntário, Segundo o qual proprietários de terra arrendam parte de sua terra por um período entre 10 e 15 anos ao departamento. Nesta terra são plantadas árvores ou culturas perenes voltadas principalmente à melhoria da qualidade do ar e solo. Atualmente, cerca de 36 milhões de hectares de terras aráveis encontram-se sob o programa de conservação norte-americano (DeutscheBank, 2006).

existem programas em curso nos estados de Minnesota, Iowa, Nova York e Pensilvânia com o objetivo de analisar a compatibilidade do cultivo destes vegetais voltados a produção de energia com as obrigações ambientais do programa de conservação. No que diz respeito a Europa, Faaij (2006) apresenta como alternativa a produção de willow, poplar ou capim do tipo miscanthus, que apresentam características econômicas e ecológicas favoráveis comparado às culturas tradicionais. A inclusão dos países da Europa central e do leste no âmbito na UE traz oportunidades para a produção de culturas energéticas após a racionalização e reforma dos setores agrícolas nestes países.

O aumento da escala de produção pode esbarrar na disponibilidade de matérias primas próximas e dedicadas a produção de etanol. Segundo Steebink (2007), as análises acerca dos custos futuros de etanol a partir da segunda geração negligenciam os custos de logística relativos a compra de biomassa de diferentes unidades, no caso de serem produzidas em terras marginais, ou “em descanso”. Tokgoz et al (2007) afirmam que os agricultores somente migrarão para a produção de culturas dedicadas a energia, se o retorno líquido desta produção for comparável ao retorno obtido com a produção de milho. Com base em estimativas feitas por Babcock et al (2007 apud Tokgoz et al, 2007), os autores concluem que o máximo que os produtores de etanol poderão pagar aos agricultores pela matéria prima (no exemplo, grama “switchgrass”) será inferior ao mínimo valor que os fariam alterar sua produção de milho para switchgrass.

“the price at which farmers would consider changing to switchgrass as \$110 per ton of switchgrass from land with a yield of four tons per acre and \$82 per ton for land with a yield of six tons per acre. The maximum that ethanol plants can bid for these same tons is about \$37 per ton in years when ethanol is selling for \$1.75 per gallon. Under these conditions, switchgrass simply cannot offer farmers a market incentive that offsets the advantages of growing corn. A key and possibly counterintuitive insight is that there is no ethanol price that makes it worthwhile to grow switchgrass because any ethanol price that allows ethanol plants to pay

more for switchgrass also allows them to pay more for corn. So long as farms are responding to net returns in a rational manner and so long as ethanol plants are paying their breakeven price for raw material, farmers will plant corn as an energy crop. Switchgrass in the Corn Belt will make economic sense only if it receives an additional subsidy that is not provided for corn-based ethanol.” Tokgoz (2007) p. 44 e 45.

Desta maneira, Tokgoz et al (2007) concluem que a produção de etanol a partir da celulose não é viável com base nos incentivos fiscais fornecidos atualmente pelo governo norte-americano. Os subsídios então tendem a possibilitar o maior impacto dos preços do petróleo sobre o setor agrícola, e não são suficientes para estimular a produção de etanol a partir da lignocelulose. Uma saída possível é a estruturação de modelos de negócios, verticalmente integrados, em que a produção de culturas voltadas para a produção lignocelulósica seja parte do negócio que inclui a produção de álcool combustível, matéria prima para a indústria química (a álcoolquímica) e a venda de excedentes de energia elétrica (a partir da cogeração). A análise destas possibilidades é uma agenda aberta de pesquisa.

Em suma, a segunda geração tem sido apontada como a solução para os impactos dos mercados energéticos sobre os agrícolas e de fato apresenta um grande potencial de transformação dos canais de comunicação entre os dois setores. Todavia, não só a questão tecnológica demandará esforço de pesquisa e incentivos públicos para ser viável, bem como a questão do modelo de negócio a ser adotada deverá ser elementos a compor a agenda futura de pesquisa sobre o tema.

6.6 Conclusões

Este capítulo teve por objetivo a análise dos resultados em relação a evolução esperada do mercado de etanol. As conclusões serão deixadas para o capítulo seguinte, destinado a conclusão desta tese.

CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi analisar o papel da flexibilidade produtiva e energética na integração de dois tipos de mercados, os mercados energético e agrícola. A análise da integração destes mercados se insere numa agenda mais ampla de pesquisa que é o da inter-relação entre as dimensões de segurança do abastecimento energético e alimentar. A busca pela diversificação de fontes energéticas num cenário de preços elevados de petróleo, acirramento dos conflitos geopolíticos e recrudesimento das preocupações ambientais, possibilitou o uso de diferentes commodities agrícolas como fontes alternativas de energia. A entrada destas novas fontes no mercado energético trouxe a arena de debate os possíveis impactos do mercado energético sobre a segurança alimentar, em particular nas dimensões disponibilidade e acesso a alimentos. A análise empreendida contribui na compreensão dos possíveis impactos da maior integração dos mercados numa dimensão particular da segurança alimentar, o acesso aos alimentos, cujo elemento fundamental se refere aos preços dos bens. Esta mesma problemática pode ser vista sob a ótica dos choques do petróleo. Um assunto destacado no âmbito da economia da energia se refere a comparação do atual cenário de preços elevados, com aquele vigente nos anos 70/80. A alta contínua dos preços do petróleo verificada desde 2004 até o momento não havia se refletido em maiores impactos macroeconômicos. Todavia, a partir de 2006, se verificam pressões inflacionárias impulsionadas, sobretudo pelo aumento nos preços das commodities agrícolas. Decorre então a conclusão de que seria o uso destes bens como fontes energéticas em detrimento da destinação alimentar que estaria elevando os preços.

O presente trabalho buscou analisar as diferentes dimensões da integração de mercado possíveis a partir do maior uso do etanol. No que concerne a dimensão geográfica, as evidências empíricas indicam que os principais mercados regionais de etanol – Brasil e EUA, são integrados. O crescimento significativo das transações internacionais entre os países, de maneira direta e indireta a partir do mercado caribenho, é o elemento que suportaria esta conclusão. A redução das barreiras de comércio entre estes mercados ampliaria esta integração. Quando isto ocorrer, choques aleatórios ocorridos em um mercado seriam propagados de maneira mais rápida entre os ambos. A maior facilidade nos movimentos de arbitragem entre ambos os mercados teriam como benefício a redução da magnitude das variações, bem como do tempo de ajuste entre os preços a uma posição de equilíbrio. Além disso, a redução das barreiras e ampliação da integração mitigaria a pressão que o mercado de etanol exerce sobre o seu mercado de insumos. Para verificar melhor estas questões, cabe a estimação de funções impulso resposta entre estes mercados. Infelizmente, as perspectivas quanto a redução das barreiras comerciais não são muito animadoras, enquanto a produção e exportação continuar concentrada no Brasil.

Pelo lado demanda, os resultados comprovam que o etanol é um bem substituto a gasolina. O maior teor de etanol em misturas se reflete na existência de um prêmio significativo de preço, que tende a ser equivalente à diferença relativa no conteúdo energético. No que concerne à flexibilidade, ela não parece se constituir num atributo necessário para a integração de mercados, visto que os resultados permitem aceitar a integração de mercado tanto nos EUA quanto no Brasil. Porém, quando a flexibilidade energética está presente ela é um atributo suficiente para este resultado. Na presença de políticas de uso obrigatório, não existem forças econômicas que restabeleçam a paridade

entre gasolina e etanol, caso a posição inicial esteja fora do equilíbrio. O ajuste de mercado nesta situação se dá ao nível da distribuição, e como estes agentes são obrigados a misturar o etanol à gasolina, detêm pouco poder de barganha com produtores. Os consumidores, na ponta da cadeia, menor poder ainda. Os incentivos fiscais seriam, então, o elemento que estabelece a paridade de preços entre gasolina e etanol, com o fim de evitar impactos de preços aos consumidores e/ou de margens aos distribuidores. Porém, esta política tende a exercer um efeito perverso sobre o mercado de insumos agrícolas e reforça a necessidade de manutenção dos incentivos fiscais – políticas que idealmente deveriam ser vistas como temporárias. Ao contrário, na presença de um consumo flexível, a arbitragem do consumidor tende a atrelar estes preços. Assim, a flexibilidade no consumo desempenha um papel diferencial no ajuste entre os mercados. Na presença deste atributo, os preços tendem a se ajustar mais rapidamente através da variação das quantidades consumidas dos dois combustíveis. Vale para o futuro a realização de estudos voltados a análise dos processos de ajuste em direção ao equilíbrio proporcionados pelas diferentes formas de consumo.

A flexibilidade energética é característica do mercado brasileiro de etanol, onde os VFF participam de parcela crescente da frota de veículos de passeio. Estes veículos estão em difusão em outros países, como EUA, Suécia e França, por exemplo. A tecnologia apresenta um *trade off* entre eficiência e flexibilidade energética o que tem sido o seu ponto desfavorável. Todavia, desenvolvimentos tecnológicos já em estudo apresentam potencial promissor de resolução deste *trade off*. Porém, para que permitam que o consumidor possa assumir uma posição ativa em relação aos diferenciais de preços, é necessária a constituição de rede ampla de abastecimento, bem como suprimento do combustível em maior escala. Estes dois elementos, ainda permanecerão por muito tempo particularidade do caso

brasileiro. Assim, as perspectivas de difusão desta tecnologia serão impulsionadas pela sua capacidade de permitir o uso de misturas com teor de etanol progressivamente mais elevado, até que se atinja o estágio de desenvolvimento dos elos da cadeia do “campo ao posto” em outros países.

Um possível efeito da uma maior integração de mercados a partir da ampliação dos fluxos de comércio e possíveis reduções de barreiras comerciais num contexto de demanda flexível como é o caso brasileiro, pode ser a redução do consumo deste combustível no país. Como visto, a integração de mercados leva a unificação de preços. Como na maior parte dos países a demanda por etanol se dá com base em políticas de misturas obrigatórias, em que o preço do etanol mantém paridade com o preço da gasolina sem redutor de preços, isso levaria a uma elevação do preço do etanol no Brasil. Como a demanda tende a se tornar cada vez mais sensível a variações de preços, o ajuste no mercado deste combustível tende a se dar mais por variações na quantidade consumida, com variações na participação do etanol no total de combustíveis consumidos no setor de transporte. Dessa forma, o resultado tende a ser uma menor quantidade de etanol destinada ao mercado doméstico e maior quantidade a ser exportada. Sob a ótica de uma política brasileira de incentivo ao uso do etanol no país e de expansão das exportações, um cenário de redução das barreiras comerciais pode colocar em conflito os dois objetivos, o que requererá definição de uma prioridade e de medidas compatíveis.

Pelo lado da oferta, o papel da flexibilidade produtiva é mais evidente e se constitui num ponto diferencial entre os mercados norte-americano e brasileiro. Com o aumento do peso do mercado energético sobre o mercado agrícola, a tendência é a integração do mercado de milho ao etanol independente da presença de flexibilidade. Porém, a

flexibilidade produtiva tende a produzir o ajuste mais rápido entre os dois mercados o que reduz a volatilidade de preços. Espera-se que este atributo ainda será particular da produção brasileira. A flexibilidade permite ao produtor se beneficiar, ainda que marginalmente de variações de preços ocorridas nos mercados doméstico e externo, bem como se beneficiar de economias de escopo e mitigar o efeito da especificidade temporal da cana. Perspectivas relativas a evolução do mercado internacional de etanol levaram ao investimento em plantas autônomas de produção. Porém, na presença de barreiras comerciais, este é um investimento de maior risco para os produtores brasileiros. Num cenário de redução/eliminação das barreiras de comércio e do desenvolvimento comercial da segunda geração, plantas de produção dedicadas poderão explorar as oportunidades da expansão de mercado. Outra possibilidade promissora para plantas dedicadas adviria do desenvolvimento da alcoolquímica, que criaria uma nova frente de demanda para o produto. Desta maneira, enquanto estes eventos não ocorrem (comercialidade da segunda geração, abertura de mercado internacional e desenvolvimento da alcoolquímica), a expectativa é de que a flexibilidade ainda seja um atributo valorizado da forma de produção no Brasil, onde mesmo plantas que iniciam a produção como plantas autônomas, prevêem a possibilidade de introdução de um módulo de produção de açúcar, o que as garante uma flexibilidade decisória.

Com relação à integração entre os mercados energético e agrícola, o estudo não encontra evidências neste sentido. De fato é possível perceber uma maior influência do mercado energético sobre o mercado agrícola, mas a integração entre eles tende a ser ainda uma conclusão forte a respeito destes mercados. A tendência é de que estes mercados se tornem cada vez mais interligados, com o preço dos produtos energéticos sendo os preços

diretores. Porém, a forma de integração não será uniforme, mas dependerá das características técnico-econômicas distintas da produção e do uso do etanol nos diferentes países. Além disso, o ajuste entre estes mercados dependerá mais da reformulação de decisões de investimentos a partir dos sinais de preços, uma vez que a flexibilidade produtiva, que permitiria ajuste mais rápido, é parcial mesmo no caso brasileiro. Assim, o ajuste entre estes tende a demorar ainda mais tempo para se proceder. A revolução tecnologia esperada com a segunda geração tenderá a romper/ ou ao menos reduzir os canais de comunicação entre os dois mercados. Todavia, além dos desafios técnicos, a segunda geração necessitará ainda superar desafios econômicos para se viabilizar. De toda forma, este é um assunto recente e apresenta uma agenda aberta de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E, BOMTEMPO, J. SOUZA E SILVA, C (2007). *The Performance of Brazilian Biofuels: an Economic, Environmental and Social Analysis* OECD/ITF: Joint Transport Research Center Discussion Paper. Available at: <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html>
- ALVES, L. R. A (2002) *Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo.
- ALVES, L. R.A, BACCHI, M. R. P (2004). *Formação do Preço do Açúcar Cristal Empacotado ao Varejo da Região Centro Sul do País*. Agricultura de São Paulo, São Paulo, v. 51, n. 1, pp 5-22
- ANFAVEA (2006), *Anuário da Industria Automobilística Brasileira, 2006*. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario2006/indice.pdf>
- ASCHE, F. SALVANES, K. STEEN, F (1997). *Market Delineation and Demand Structure*. American Journal of Agricultural Economics Volume 79, Abril.
- ASCHE, F., BREMNES.H, WESSELLS, R. (1999). *Product Aggregation, market integration and relationships between prices: an application to the world salmon markets*. American Journal of Agricultural Economics Volume 81, Agosto
- ASCHE, F., OSMUNDSEN, P., TVETERAS, R. (2002). *European Market Integration for Gas ? Volume Flexibility and Political Risk*. Energy Economics 24, 249–265.
- ATRAX ENERGI (2005). *Assessment of bio-ethanol and biogas initiatives for transport in Sweden: Background information for the EU-project PREMIA*, maio Disponível em: http://www.premia-eu.org/public_files/D4e_Sweden-EtOH-biogas_Atrax-May2005.pdf Acessado em 24/03/2008
- BACCHI, M. R. P. . *Formação de preços no setor sucroalcooleiro da Região Centro-Sul do Brasil: relação com o mercado de combustível fóssil*. In: XXXIII Encontro

- Nacional de Economia, 2005, Natal - RN. Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia, 2005.
- BAFF (2007) *Bioalcohol Fuel Foundation. Statistics*. Disponível em <http://www.baff.info>
Acessado em 24/03/2008
- BAKER, A. ZAHNISTER, S (2006). *Ethanol Reshapes the Corn Market* Amber Waves Magazine, Vol. 4, No. 2 (2006), pp. 30-35, Disponível em www.ers.usda.gov/AmberWaves/April06/Features/Ethanol.htm. Acessado em 23/01/2008
- BALKE, N S. FOMBY, T B (1997). *Threshold Cointegration* International Economic Review, Department of Economics, University of Pennsylvania and Osaka University Institute of Social and Economic Research Association, vol. 38(3), pages 627-45, August.
- BALLERINI, D. ALAZARD-TOUX. N. (2006) *Les Biocarburants Etats des lieux, perspectives et enjeux du development*. Editions Technip. Paris.
- BARROS (1990). *Transmissão de preços pela Central de Abastecimento de São Paulo, Brasil*. Revista Brasileira de Economia vol 44 n. 1 jan/ mar.
- BEAR STEARNS (2006). *Ethanol 201: Beyond Corn*. Equity Research. New York. www.bearstearns.com
- BERG, C. (2004) *World Fuel Ethanol: Analysis and Outlook*. Disponível em <http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>. Acessado em 11/05/2006
- BERNARD, A, WARREN, P & YAN, B. (2005) *Intégration et cointégration : les prix dans les secteurs canadien et américain de la fabrication obéissent-ils à la loi du prix unique?* Serie de documents de recherche sur l'analyse Économique (AE) 2005029f, Statistics Canada, Direction des études analytiques, revised. Disponível em : <http://ideas.repec.org/a/eee/inecon/v8y1978i2p341-351.html> acessado em 11/03/2008
- BIELECKI, J (2002). *Energy Security: is the wolf at the door?* The Quarterly Review of Economics and Finance vol.42
- BLOOMBERG (2007) “*Ethanol Bust makes losers of Bush*” 19/11/2007. Disponível em <http://www.factsaboutethanol.org/?p=305> Acessado em 2/2/2008.
- BOUGEOIS, D., MARTIN, J-M (2000), *Énergie et changement technologique: une approche évolutionniste*, Economica, Paris, 2000

- BOUSQUET, A. LADOUX, N (2004). *Flexible versus designated technologies and interfuel substitution*. Energy Economics Volume 28, numero 4, Julho, Pag 426-443
- CALABI, A. FONSECA, E, SAES, F, KINDI, LIMA, J. LEME, M, REICHSTUL (1983) *A energia e a economia brasileira: Interações Econômicas e Institucionais no Desenvolvimento do setor energético no Brasil*. São Paulo: Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
- CARLSSON, B.O. (1989), *Flexibility and the Theory of the Firm*. International Journal of Industrial Organization, n.7, pp.179-203.
- CAVALCANTI, M.C.B (2006). Análise dos tributos incidentes sobre os combustíveis automotivos no Brasil. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético. Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CITYGROUP (2006). *Global overview of the biofuels value chains*. November 2006, 144 pages.
- COHENDET P. LLERENA, P (1989). *Flexibilités, risques et incertitude dans la theorie de la firme: un survey*. IN : Cohendet P. Llerena, P (eds) *Flexibilité, Information et decision*. Economica, Paris
- CUDDINGTON, J. and WANG, Z (2006). *Assessing the Degree of Spot Market Integration for U.S. Natural Gas: Evidence from Daily Price Data*. Journal of Regulatory Economics. Volume 29, Numero 2. Março.
- DE OLIVEIRA, M. ; VAUGHAN, B.; RYKIEL Jr, E.. Ethanol as a Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances and Ecological Footprint. In Bioscience, Vol 55 No 7, July 2005
- DIAS LEITE, A (2007) *A Energia do Brasil* .2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campos
- DOHL, O (2002). *Energy Flexibility and Technological Progress with Multioutput Production Application on Norwegian Pulp and Paper Industries*. Discussion Papers No. 318, Maio 2002. Statistics Norway, Research Department. Disponível em: www.ssb.no/publikasjoner/Dp/pdf/dp318.pdf acessado em 21/02/2008.
- DRESCHER, I (2007). *Vehicle manufacturers and end users perspectives EU-CAR – Volkswagen*. Latin American - European Union Biofuels Research Workshop: Campinas, Brazil, 23-27 Abril
- EIA (2005) *Alternatives to traditional Transportation Fuels 2000 – 2005*. Available in: http://www.eia.doe.gov/cneaf/alternate/page/datatables/atf14-20_05.html. Acessado em 03/15/2007

- EIA (2005b) *Historical Data: Alternative Transportation Fuels (ATF) and Alternative Fueled Vehicles (AFV)*. Disponível em: http://www.eia.doe.gov/cneaf/alternate/page/atftables/afv_hist_data.html acessado em 24/03/2008
- EIA (2007) , *Petroleum Navigator*. Disponível em http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm Acessado em 10/10/2007
- EIA (2007) *Biofuels in the US Transportation Sector*. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html>. Acessado em 28/01/2008
- ENGLE, R. F. and GRANGER, C. W. J. (1987). *Co-integration and error-correction: Representation, estimation and testing*. *Econometrica* 55: 251—276.□
- ENGSTED, T & BENTZEN, J (1997). *Dynamic Modelling of Energy Demand : A Guided Tour Through the Jungle of Unit Roots and Cointegration Papers* 97-6, Aarhus School of Business - Department of Economics, revised
- ENSPM (2006) *Crude Oil and Refinery Production Scheme* – École National Supérieur de Pétrole et Moteurs/ Institut Français du Pétrole , Lyon, France, 9-13 Outubro
- EPA (2005). *Regulation of Fuels and Fuel Additives: Renewable Fuel Standard requirements for 2006*. Federal Register/ Vol 70 N. 250, Sexta Feira, 30 de Dezembro/ Rules and Regulations. Disponível em: <http://www.epa.gov/EPA-AIR/2005/December/Day-30/a24611.htm> acessado em 24/03/2008
- EPE (2006). *Plano Nacional de Energia 2030. Estudos da Oferta – Recursos Energéticos: Combustíveis Líquidos*. Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia. Available at <http://www.epe.gov.br/Lists/Estudos/Attachments/12/PNE-2030-CombustiveisLiquidos.pdf>
- EUROPEAN COMISSION (2003). *Restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity* COUNCIL DIRECTIVE 2003/96/EC de 27 October 2003.
- EUROPEAN COMISSION (2006). *Biofuels in the European Union. A Vision of 2030 and Beyond* Biofuels Research Advsory Council. Disponível em http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/biofuels_vision_2030_en.pdf Acessado em 25/04/2006
- EUROPEAN COMISSION (2006b). *Stratégie de l'UE en faveur des biocarburants* . Comunicatio de la Comission des Communautés Européenes. Bruxelas, 8/2/2006
- F.O.LICHTS (2006), *World Ethanol & Biofuels Report* .

- FAAIJ, A (2006). *Bioenergy in Europe: changing technology choices*. Energy Policy 34 pp 322 – 342.
- FAO/OECD (2007) *Agricultural Outlook 2006 – 2017*. Disponível em <http://www.oecd.org/dataoecd/55/42/39098268.pdf> Acessado em 30/01/2008
- FARINA, Q. and ZYLBERSZTAJN, D. (1998). *Competitividade no Agrobusiness Brasileiro: Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar Sistema Agroindustrial da Soja*. Research Report IPEA, PENSA, USP.
- FMI (2007), *IMF World Economic Outlook*. Disponível em: <http://http://imf.org/external/pubs/ft/weo/2007/01/index.htm> Acessado em 29/12/2008
- FROOT, K A. E ROGOFF, K. (1995). *Perspectives on PPP and the Long-Run Real Exchange Rate*. Em *Handbook of International Economics* Vol. 3, ed. Grossman and K. Rogoff, Amsterdam: North Holland Press.
- FUEL ECONOMY(2007) , *Flexi-fuel technology*. Available in <http://www.fueleconomy.gov/feg/flextech.shtml>. Acceded in 03/15/2007
- GNANSOUNOU, E. DAURIAT, A (2007). *Bioethanol*. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Disponível em: <http://lasen.epfl.ch/page40003.html>
- GOLDEN, W., POWELL, P (2000). *Towards a definition of flexibility: in search to the Holy Grail?* Omega, v. 28, n. 4, pp. 373-384, 2000.
- GOODWIN, B. PIGGOT, N (2001). *Spatial Market Integration in the Presence of Threshold Effects* American Journal of Agricultural Economic Volume 83, Numero 2 pp 320-317.
- GRAHN, M (2004). *Why is ethanol given emphasis over methanol in Sweden? Energy, Environment and Sustainability*. Department of Physical Resource Theory. Chalmers University Technology.
- GRANGER, C. W. J. and NEWBOLD, P. (1974). "Spurious regressions in econometrics". Journal of Econometrics 2: 111—120.
- GÜLLEN. G (1999). *Regionalization in the World Crude Oil Market: further evidence*. The Energy Journal , Volume 20 n. 1.
- HAMELINCK, C. FAAIJ, A (2006). *Outlook for advanced biofuels*. Energy Policy 34 pp 3268 a 3283.
- HAMILTON, J. (1994) *Time series analysis* Princeton University Press, Princeton, NJ

- HART, A. G. (1937). *Anticipations, business planning and the cycle*. Quarterly Journal of Economics, pp 272-93.
- HAYASHI, F (2000). *Econometrics* Princeton University Press Nova Jersey
- HENDRY, D. JUSELIOUS, K (2000). *Explaining cointegration analysis: Part I*. The Energy Journal 21, 1–42.
- HENDRY, D. Juselius, K (2001) *Explaining Cointegration Part II*. Disponível em www.econ.ku.dk/okokj/Papers/DFHKJfnl.pdf. Acessado em 2/03/2008.
- HÉRAUD, J.A (1989). *La Polyenergie: um example de transmission dès contraintes de flexibilité*. IN : Cohendet P. Llerena, P (eds) *Flexibilité, Information et decision*. Economica, Paris
- HIS, S (2006b). *Les Biocarburants dans le monde*. Institut Français du Petrole. Panorama 2005. Panorama IFP 2006. Disponível em http://www.ifp.fr/IFP/fr/evenement/panorama/IFP-Panorama07_07-Potentiel_biomasse_VF.pdf. Acessado em 30/08/2006.
- HIS, S. (2006). *Biocarburants : exemples de développement dans le monde*. Institut Français du Petrole. Apresentação Powerpoint.
- HOUAISS (2007). *Dicionário da Língua Portuguesa*. Disponível em <http://houaiss.uol.com.br/busca.jhtm?verbete=flexibilidade&style=k>. Acessado em 18/02/2008.
- IEA (2004). *Biofuels for Transport: An International Perspective*. Paris.
- IEA (2006a) *Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050*. OECD, Paris.
- IEA (2006b) *World Energy Outlook*. OECD, Paris.
- IPEADATA (2007) *Taxas de Câmbio :Médias diárias da cotação de venda do Banco Central do Brasil – janeiro de 2000 a julho de 2007*. Disponível em <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em 5/07/2007.
- JANK, M (2007) . *Global Dynamics of Biofuels in the next decade: a Brazilian View* Groupe d'économie Mondiale - Sciences Politiques. Conferencia: “Qu'avons-nous a apprendre des experiences brésiliennes et americaines”. Paris, 22/03/2007
- JMULTI (2007) *Time Series Analysis with Java*. Pacote Econométrico. Disponível em: <http://www.jmulti.com> acessado em 3/3/2008

- JOHANSEN, S. (1995). *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models*. Oxford, Oxford University Press.
- JOHANSEN, S., (2004). *Cointegration: an Overview*. Department of Applied mathematics and Statistics. University of Copenhagen
- KOJIMA, M, and JOHNSON T. (2005). *Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries*. Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP). JOINT UNDP / WORLD BANK
- KRUGMAN, P. OBSTFELD, (2001) *Economia Internacional: teoria e política*, 5ª. Ed. Makron Books, São Paulo, 2005..
- KULATILAKA, N (1993). *The value of flexibility: the case of dual fuel steam boiler*. Financial Management. Vol 22 numero 3
- LAMBERT, G. *La bi-énergie comme adaptation de l'appareil productif aux incertitudes énergétiques: la flexibilité amont* IN : Cohendet P. Llerena, P (eds) Flexibilité, Information et decision. Economica, Paris
- LORENZETTI, M (1006) *Alternative Motor Fuels: a non technical guide*. Pennwell Publishing Company Tulsa, Oklahoma, 1996
- LORNE, D.(2006). *Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France*. Panorama IFP 2007. Disponível em http://www.ifp.fr/IFP/fr/evenement/panorama/IFP-Panorama07_07-Potentiel_biomasse_VF.pdf. Acessado em 30/01/2008.
- LUTKEPOHL, H (2004). Recent Advances in Cointegration Analysis. European University Institute Working Paper ECO Paper n. 2004/ 12. Disponível em <http://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-R&lr=&cluster=18290160362013175925> Acessado em 30/07/2006
- LUTKEPOHL, H. KRATZIG, M (2004). *Applied Time Series Econometrics*. Cambridge University Press. Cambridge
- MARELLI, M (2004) . *Software FlexFuel Sensor*. Disponível em: <http://www.aea.org.br/docs/ArtigosPublicacao/SFS2.pdf> Acessado em 3/05/2007
- MARJOTTA MAISTRO, M (2002). *Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação*. Tese de Doutorado: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – USP Piracicaba, julho.
- MARSHALL. A (1988). *Princípios de Economia*. Coleção “Os Economistas”. Volume 2. São Paulo: Editora Nova Cultural.

- MARTIN, J M (1991) Economia Munida da Energia. Editora UNESP
- MATHIEU, A (1998). *L'interface entre le secteur agricole et secteur petrolier: quelques questions au sujet des biocarburants*. Cahier n° 98.02.12 Centre de Recherche en Economie et Droit de l'Energie, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER I.
- McALLON, A. TAYLOR, F. YEE, W (2000). *Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks*. Technical Report. Joint Study – USDA/USDOE. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/biomass/publications.html> Acessado em 23/11/2007
- MECÂNICA ONLINE (2003). O desafio técnico para os carros biocombustíveis Disponível em: http://www.mecanicaonline.com.br/2003/04_abril/tecnovidade/abril.html Acessado em 24/03/2008
- MICHAELIS (2007) *Moderno Dicionário da Língua Portuguesa*. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=flexibilidade> Acessado em 18/02/2008.
- MOURA, M (2007). *O preço da liberdade: O Civic tem o mais sofisticado sistema flex do mercado e cobra por isso. Vale a pena pagar essa conta?* Revista Quatro Rodas. Janeiro. Disponível em: http://quatorrodas.abril.uol.com.br/carros/testes/conteudo_209972.shtml Acessado em 24/03/2008
- NEO (2007), *Ethanol and Unleaded Gasoline Average Rack Prices* Nebraska Energy Office. Disponível em <http://www.neo.ne.gov/statshtml/66.html> Acessado em 24/03/2008
- NHTSA. (2004) *Automotive Fuel Economy Manufacturing Incentives for Alternative Fueled Vehicles*. Regra Final. Documento no. NHTSA-2001-10774. Disponível em: www.nhtsa.dot.gov/cars/rules/CAFE/Rulemaking/AMFAFinalRule2004.htm. Acessado em 15/03/2007
- NISHIHATA, L (2007). *Variação de humor: Ideais para carros flex, os motores com taxa de compressão variável ensaiam sua estréia*. Revista Quatro Rodas, Maio. Disponível em: http://quatorrodas.abril.com.br/reportagens/novastecnologias/conteudo_233396.shtml. Acessado em 10/10/2007
- OLIVÉRIO, J.L (2007). *Presentation of Dedini Industrias de Base*. Visita técnica. Latin American - European Union Biofuels Research Workshop: Campinas, Brazil, 23-27 Abril

- PANATIOGIOTIDIS, T. RUTLEDGE, E (2007). Oil and Gas Markets in the UK: Evidence from a cointegration approach. *Energy Economics* Volume 29. pp 339 – 347.
- PINTO Jr H (org) (2007) *Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial*. Elsevier Editora, Rio de Janeiro
- PROST, A (2006). *Rapport du groupe de travail sur le soutien au developpement de la filière E85*. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie et le Ministère de l'agriculture et de la pêche. Septembre 2006. Available in: http://www.finances.gouv.fr/directions_services/sircom/carburants/e85.pdf. Accessed in 03/15/2007
- RFA (2007) *Renewable Fuel Association: Industry Statistics*. Disponível em: <http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/> Acessado em: 22/03/2008
- RICHARDSON, D. (1978) *Some empirical evidence on commodity arbitrage and the law of one price*. *Journal of International Economics*. Numero 2, Maio, 341-351.
- ROGOFF, K. (1996) *The Purchasing Power Parity Puzzle*. *Journal of Economic Literature* 34 (junho) pp 647 – 668.
- SANKEY, P. KATZMAN, E. McGLONE, C. VOLIVA, R (2006). *Food for Oil: A love-hate relationship*. FITT Research. Deutsche Bank.
- SCHMIDHUBER. J (2007) *Biofuels: An emerging threat to Europe's Food Security? Impact of an Increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective* . Policy Paper n. 27. Disponível em www.notre-europe.eu.
- SEXTON, R. CLING, C. CARMAN, H. Market Integration, Efficiency of Arbitrage, and Imperfect Competition: Methodology and Application to U.S. Celery. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 73, No. 3 (Aug., 1991), pp. 568-580
- SILVERSTOV, B. L'HEGARET, G. NEUMANN, A. HIRSCHHAUSEN, C (2005). *International market integration for natural gas? A cointegration analysis of prices in Europe, North American and Japan*. *Energy Economics* vol 27 pp 603 – 615.
- SOLDERHOLM, P (2001). Fossil fuel flexibility in west European power generation and the impact of system load factors. *Energy Economics* Volume 23 pp 77 –97
- SOUZA E SILVA, C. ALMEIDA, E (2006). *A Formação de um mercado internacional de petróleo e suas inter-relações com os mercados de açúcar e álcool*. Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro. Agosto de 2006

- SOUZA E SILVA, C. *Energy Policy Act de 2005: Uma breve análise* Boletim Infopetro. Petróleo e Gás Brasil. Ano 6, N. 4 Julho/Agosto de 2005. Disponível em http://www.gee.ie.ufrj.br/infopetro/pdf/2005_julago_petrogas.pdf Acessado em 28/03/2008
- SOUZA, R.R (2006). *Panorama, Oportunidade e desafios para o mercado mundial de álcool automotivo*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético. Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SPILLER, P., & HUANG, Cliff J, 1986. *On the Extent of the Market: Wholesale Gasoline in the Northeastern United States* Journal of Industrial Economics, vol. 35(2), pages 131-45, Dezembro.
- STEENBLIK, R (2007). *Sustainable Subsidies: The Distorted Biofuels Economics*. Discussion paper n. 2007-3 Joint Transport Research Centre, OCDE. Disponível em: <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html>. Acessado em 24/03/2008
- STIGLER, G. (1939), *Production and Distribution in the Short Run*," The Journal of Political Economy, Volume 47, Issue 3, pp 305-327.
- STIGLER, G. SHERWIN, (1985). The Extent of the Market, Journal of Law and Economics, Volume 28. pp 555-85.
- TAYLOR, A (2001): *Potential Pitfalls in the Purchasing-Power-Parity Puzzle? Sampling and Specification Biases in Mean-Reversion Tests of the Law of One Price*, Econometrica, vol. 69, no.2, Março, pp. 473-498.
- TEIXEIRA, E.C (2005). *O desenvolvimento da tecnologia Flex-fuel no Brasil* Instituto DNA Brasil. São Paulo. Disponível em: <http://www.dnabrasil.org.br/site/publicue/media/Flex%20fuel%20Paper%201.pdf>
- TOKGOZ, S. ELOBEID, A (2006) "An Analysis of the Link between Ethanol, Energy, and Crop Markets," Center for Agricultural and Rural Development (CARD) Publications 06-wp435, Center for Agricultural and Rural Development (CARD) at Iowa State University Disponível em <http://ideas.repec.org/p/ias/cpaper/06-wp435.html>, acessado em 2/03/2008
- UNICAMP (2006). "A Expansão do Proalcool como Programa de Desenvolvimento Nacional". Powerpoint presentation at Ethanol Seminar in BNDES.
- UNICAMP (2006). "A Expansão do Proalcool como Programa de Desenvolvimento Nacional". Powerpoint presentation at Ethanol Seminar in BNDES.

VANY, A. WALLS, D (1999). *Cointegration analysis of spot electricity prices: insights on transmission efficiency in the western US*. Energy Economics Volume 21. pp 435 – 448.

WADHWA, S. RAO, K.S (2002) *Towards a Proactive Flexibility Management View*. Global Journal of Flexible Systems Management, Apr-Sep

WEISS (2007). *Flex-Fuel Bait and Switch*. Center for American Progress. Disponível em: <http://www.americanprogress.org/issues/2007/06/flexfuel.html> Acessado em 24/03/2008.

WIKIPEDIA (2007), *Fuel Injection*. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_injection. Acessado em 22/03/2008

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)