**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Análise de volatilidade *spillover* entre *commodities* agrícolas e o mercado de energia: um estudo do mercado de etanol brasileiro

Débora Fernandes Bellinghini

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Economia Aplicada**

**Piracicaba
2012**

Débora Fernandes Bellinghini
Bacharel em Ciências Econômicas

Análise de volatilidade *spillover* entre *commodities* agrícolas e o mercado de energia: um estudo do mercado de etanol brasileiro

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO VALENTIM MARQUES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Economia Aplicada

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Bellinghini, Débora Fernandes

Análise de volatilidade *spillover* entre *commodities* agrícolas e o mercado de energia:
um estudo do mercado de etanol brasileiro / Débora Fernandes Bellinghini. - - versão
revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
90 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Biocombustível 2. Bolsa de mercadorias 3. Etanol 4. Mercado futuro 5. Preços
6. Volatilidade I. Título

CDD 333.7938
B444a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Á vida

e a todos que me ajudam a ser feliz...

AGRADECIMENTOS

Este estudo completa importante etapa em minha trajetória acadêmica. Para isso, vários desafios foram vencidos, tendo sido sempre apoiada pela minha família e amigos.

Agradeço a oportunidade de ter podido participar da turma de mestrandos em economia aplicada da ESALQ. Ao ser aprovada no mestrado, a instituição apostou em mim e tenho orgulho de poder dizer que cumpri com a confiança depositada.

Meu orientador, Prof. Pedro Valentim Marques, com suas contribuições, desde o início deu o foco necessário para minha formação e apoio para ao meu desenvolvimento. Manifesto um especial agradecimento ao Prof. Waldemar Antonio da Rocha de Souza. Seus *papers* foram de valiosa contribuição na construção deste estudo e seus conselhos de extrema importância para as minhas tomadas de decisão referente ao futuro. Ao Prof. João Gomes Martines-Filho, agradeço o debate e as importantes opiniões na construção das análises. Agradeço ainda a todo o corpo docente da ESALQ que sempre esteve prontamente disponível para difusão de conhecimento. E um carinho muito especial à Maielli, grande amiga em todos os momentos, e a todos os colegas e amigos com quem tive o prazer de conviver.

Finalizo esta etapa sabendo que uma nova está sendo iniciada, para qual tenho certeza que todas as pessoas que são importantes no meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal estarão do meu lado com seu incentivo e apoio.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 SETOR DE ENERGIA E OS BIOCOMBUSTÍVEIS - O ETANOL COMO FONTE ENERGÉTICA ALTERNATIVA	25
2.1 As crises do petróleo e a evolução do etanol como biocombustível	25
2.2 A evolução do etanol como biocombustível	28
2.3 A evolução do etanol no Brasil.....	30
2.3.1 A expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil	35
2.4 A evolução do etanol no mundo.....	37
2.5 A Evolução do etanol e as fontes naturais	43
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	47
3.1 Interdependência <i>versus</i> Contágio	48
3.2 O Setor energético e o mercado de <i>commodities</i>	50
4 MODELO EMPÍRICO.....	55
4.1 Síntese geral sobre os modelos de avaliação de volatilidade.....	55
4.2 Modelo GARCH multivariado - MGARCH	58
4.2.1 Modelo VECM	59
4.2.2 Modelo BEKK.....	61
4.2.3 Modelo de Correlação Condicional Constante – CCC	61
4.3 Especificações econométricas.....	62
4.4 Dados.....	64
5 RESULTADOS.....	69
5.1 Estatísticas descritivas.....	69
5.2 Análises	71
6 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	85

RESUMO

Análise de volatilidade *spillover* entre *commodities* agrícolas e o mercado de energia: um estudo do mercado de etanol brasileiro

O objetivo desta dissertação foi avaliar a possível ocorrência de contágio de volatilidade no mercado de energia combustível, com foco em etanol, analisando *commodities* agrícolas e de energia. São examinados dois cenários. O Cenário I teve como objetivo identificar a presença de volatilidade *spillover* entre os preços futuros de petróleo e milho, cotados no mercado internacional, e o preço futuro de etanol, cotado no Brasil. Ou seja, se propôs a identificar a presença de volatilidade *spillover* no mercado futuro de etanol brasileiro. O Cenário II teve como objetivo identificar a presença de volatilidade *spillover* entre os preços futuros de petróleo e açúcar cotados no mercado internacional em relação ao preço físico de açúcar no Brasil. Neste caso o objetivo foi identificar a presença de volatilidade *spillover* no mercado físico de etanol brasileiro. As séries de preços trabalhadas abrangem o período de 18/05/10 a 29/12/11 e 20/05/03 a 29/12/11, para cada cenário respectivamente. Utilizou-se para análise uma modelagem GARCH multivariada, em função da robustez de seus resultados e da possibilidade de sua aplicação prática por profissionais do mercado. Concluiu-se que apenas no Cenário II foi possível identificar transmissão de volatilidade entre as estruturas analisadas. Porém, a não observação de contágio no Cenário I pode ter sido decorrente da limitação de dados disponíveis, dado ser recente a existência de contrato futuro de etanol brasileiro e pela baixa liquidez dos contratos negociados, o que incentiva análises futuras que busquem essa comprovação importante para a mitigação dos riscos inerentes a esses mercados.

Palavras-chave: Volatilidade; Contágio; Etanol; Transmissão; Biocombustível

ABSTRACT

Analysis of volatility spillover between agricultural commodities and energy market: a market study of Brazilian ethanol

The aim of this thesis was to evaluate the possible occurrence of volatility contagion in the fuel energy market, with focus on ethanol, analysing agricultural and energy commodities. Two scenarios are evaluated. Scenario I is proposed to identify the presence of volatility spillover between the futures prices of oil and corn, negotiated on the international future market and the futures prices of ethanol, negotiated in Brazil. That is, set out to identify the presence of volatility spillover in the ethanol Brazilian future market. Scenario II is proposed to identify the presence of volatility spillover between the futures prices of oil and sugar listed in the international market in relation to the spot price of sugar in Brazil. In this case the objective was to identify the presence of volatility spillover in the ethanol Brazilian spot market. The price series covered the period 05/18/10 until 12/29/11 and 12/29/11 until 05/20/03, respectively for each scenario. It was used the multivariate GARCH model to analyze this occurrence, because this model give robust results and the possibility of practical application by market professionals. It was concluded that only in Scenario II was identified volatility transmission between the analyzed structures. However, non-observation of contagion in Scenario I may have been due to the limited data available, since it is recent the existence of ethanol Brazilian futures contract and the low liquidity, which encourages future analyzes seeks to prove this evidence, important to mitigating the risks inherent in these markets.

Keywords: Volatility; Contagion; Ethanol; Transmission; Biofuel

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Série de preço futuro do petróleo WTI (US\$)	26
Figura 2	Evolução da redução da participação do petróleo como fonte de energia e crescimento dos combustíveis renováveis nos países da OEDC – (em %)	28
Figura 3	Evolução da produção mundial de etanol.....	30
Figura 4	Evolução dos motores flex fuel na fabricação total de veículos, entre 1979 - 2010	33
Figura 5	Histórico do mix do açúcar e etanol anidro e hidratado (distribuição percentual por safra).....	34
Figura 6	Evolução da destinação da safra brasileira para produção de açúcar e etanol – em mil toneladas.....	35
Figura 7	Projeção da demanda de etanol carburante no Brasil.....	36
Figura 8	Projeção das áreas plantadas para produção de etanol e açúcar, área poupada decorrente e produtividade por hectare, do setor sucroalcooleiro brasileiro	37
Figura 9	Participação do Brasil, dos EUA e do resto do mundo, na produção mundial de etanol, para o período de 1975 até 2010	39
Figura 10	Evolução do Brasil, dos EUA e do resto do mundo na produção anual de etanol, para o período de 2000 até 2010.....	40
Figura 11	Evolução da participação do etanol e biodiesel no mercado de biocombustíveis da União Europeia, período de 2000 até 2010	41
Figura 12	Evolução da produção diária de etanol do Canadá, França, Alemanha e China, para o período de 2000 até 2009	42
Figura 13	Série histórica do logarítmica dos preços das séries analisadas.....	69
Figura 14	Correlação condicional entre as variáveis do Cenário I – Modelo Diagonal BEKK.....	73
Figura 15	Variância condicional das variáveis do cenário I segundo modelo Diagonal BEKK.....	74
Figura 16	Correlação condicional entre as variáveis do Cenário II - Modelo Diagonal BEKK.....	75

Figura 17	Correlação condicional entre as variáveis do Cenário II - Modelo Diagonal VECH	76
Figura 18	Variância condicional das variáveis do Cenário II segundo modelo Diagonal BEKK	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das séries dos retornos dos preços	70
Tabela 2 - Resultado do teste ADF	71
Tabela 3 – Comparação dos resultados BIC do modelo VAR para os dois Cenários analisados	72
Tabela 4 – Comparação dos resultados AIC e BIC para os dois Cenários	72
Tabela 5 – Matriz de correlação entre as variáveis	73
Tabela 6 – Grau de correlação entre as variáveis em três períodos analisados.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF - Augmented Dickey-Fuller
AIC - Critérios de Informação de Akaike
ARCH – Autoregressive Conditional Heteroscedasticity
BIC - Bayesiano de Schwarz
Bacen – Banco Central do Brasil
BM&FBOVESPA - Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros
CAGR - Compound Annual Growth Rate
CBOT - Chicago Board of Trade
CCC - Modelo de Correlação Condicional Constante
CENAL - Comissão Executiva Nacional do Álcool
CEPEA - Centro de Estudos Avançados de Economia Aplicada
CNAL - Conselho Nacional do Álcool
CO₂ - Dióxido de carbono
CRB – Commodity Research Bureau
DB - Diretriz de Biocombustíveis
EISA - Energy Independence and Security Act of 2007
EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EPE - Empresa de Estudos Energéticos
EPI - Earth Policy Institute
EUA – Estados Unidos da América
GARCH – Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity
GEE - Gases do Efeito Estufa
IAA - Instituto do Açúcar e do Álcool
IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change
MAICE - Minimum Akaike's Information Criterion Estimation
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCMC - Markov Chain Monte Carlo
MGARCH - Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity
NYMEX - New York Mercantile Exchange
OECD - Organization for Economic Co-operation and Development
OPEP - Organização dos Países Produtores de Petróleo

PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PROÁLCOOL - Programa Nacional do Álcool

RED – Diretriz de Energias Renováveis

SV - Stochastic Volatility

UE – União Europeia

WTI - West Texas Intermediate

VAR - Vetores Auto Regressivos

VEC - Vetorial de Correção de Erros

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da globalização, presenciado pelo mundo no final do século XX, impulsionou um processo de integração das economias em nível internacional. A expansão dos laços entre os países possibilitou a criação de acordos comerciais e econômicos, que ao mesmo tempo em que promoveu o crescimento econômico, expôs as economias domésticas às influências externas aumentando a vulnerabilidade a riscos. Diante da intensificação dessas relações econômicas, as questões envolvendo o comportamento da volatilidade dos ativos financeiros passaram a ser cada vez mais relevantes.

Nesse contexto, as *commodities* têm gerado preocupações aos tomadores de decisão, uma vez que essas interações entre os mercados podem implicar na presença de volatilidade *spillover*, o que gera maiores riscos aos investimentos e vem a refletir numa expectativa dos agentes do mercado financeiro em ter instrumentos de identificação quanto ao impacto desses fatores sobre os preços dos demais ativos.

Dentre as *commodities* existentes, o petróleo é considerado a de maior importância, devido à grande dependência energética do mundo a esta fonte e pelo seu poder de influência sobre os instrumentos econômicos, como câmbio, balança comercial e outros.

Dados apresentados no *Key World Energy Statistics* (IEA, 2011, p. 6) registram que a produção mundial de energia, em 2009, teve no petróleo a matéria prima responsável por cerca de 30% da produção total. A composição da matriz energética mundial projetada para 2035 estimada no *World Energy Outlook* (IEA, 2010, p.5) e no *International Energy Outlook* (EIA, 2011, p. 1), apontam que a participação desta fonte de energia será em média de 28%-29%, sendo menor do que a atual, mas ainda significativa, implicando em que potenciais variações nos preços do petróleo ainda sejam capazes de afetar as economias, tanto isoladamente, quanto num efeito conjunto de outros mercados.

Como forma de prevenção às instabilidades econômicas, ao longo dos últimos anos, tem-se questionado sobre a capacidade futura do petróleo de sustentar a demanda energética e sobre como minimizar tal dependência. Somam-

se a essas questões, (i) o fato do petróleo ser um combustível de origem fóssil¹ e não renovável, (ii) o crescimento, a taxas significativas, da demanda de energia no mundo (iii) a tendência que as reservas de petróleo comecem a apresentar sinais de exaustão e (iv) a preocupação quanto ao impacto no ambiente, dado que no processo de combustão dos derivados do petróleo, há liberação de gases poluentes como o dióxido de carbono – CO₂, sendo que o excesso de emissão desse gás é considerado um dos principais responsáveis pelos gases do efeito estufa - GEE, causadores do aquecimento global.

Nesse contexto, outras fontes de energia não esgotáveis vêm sendo pesquisadas e exploradas, porém, devido às restrições de recursos naturais ou tecnológicas, essas fontes não vem sendo suficientes para substituir toda a energia fornecida pelo petróleo e nem para atender a crescente demanda mundial.

Diante destas questões, o mundo vem assistindo ao fenômeno de ações tanto privadas como governamentais visando estimular investimentos em fontes de energia provenientes da biomassa² denominadas de biocombustíveis³, para atender particularmente às necessidades de transporte veicular.

Os biocombustíveis podem ser utilizados de forma bastante eficiente em motores de combustão que equipam os mais diversos veículos automotores, e que se classificam basicamente em dois tipos: motores do ciclo Otto, para os quais o biocombustível mais recomendado é o etanol; e motores do ciclo Diesel, que podem utilizar com bom desempenho o biodiesel (BNDES, 2008, p. 25).

Dentre os biocombustíveis, o etanol, ou bioetanol, é hoje o de maior produção mundial, com uma produção estimada em 21,9 bilhões de galões, em 2010, sendo a produção de biodiesel equivalente a 24% da produção de etanol. O etanol é uma substância orgânica obtida da fermentação de açúcares, oriunda de diferentes biomassas como a cana-de-açúcar, milho, beterraba, sorgo sacarino, trigo, mandioca e outras. Os Estados Unidos da América - EUA e o Brasil são, nessa ordem, os maiores produtores mundiais de etanol, tendo respondido por 88% da produção mundial em 2010 (EPI, 2011).

¹ Combustíveis fósseis são conhecidos também como combustíveis minerais, sendo subdivididos entre carvão mineral, petróleo e gás natural.

² Biomassa é toda a matéria orgânica naturalmente isenta de traços de fossilização, ou seja, qualquer material íntegro ou em decomposição oriundo de plantas, animais, fungos, líquens, algas e microrganismos.

³ Biocombustível é toda biomassa submetida a processos de combustão para disponibilizar energia. Os tipos mais conhecidos de biocombustíveis são o etanol e o biodiesel.

As bases de produção utilizadas nesses países são diferentes, porém em ambos os casos, a fonte de matéria-prima é um produto agrícola, o que transfere para as *commodities* agrícolas reflexos ainda maiores decorrentes das oscilações no preço do petróleo. A produção americana tem no milho sua fonte de matéria prima e no Brasil predomina a produção de etanol com base na cana-de-açúcar. Estas duas *commodities* agrícolas e o petróleo compõem o índice CRB⁴ que mede as variações de preço das *commodities* básicas, que são mais sensíveis às influências de variações econômicas.

Dessa forma, as fragilidades econômicas perante o petróleo e as questões ambientais impuseram ao mundo a necessidade de desenvolver bens substitutos ao petróleo, tendo encontrado nas *commodities* agrícolas matéria-prima para geração de energia limpa e renovável. No entanto, dada a importância das fontes energéticas para o desenvolvimento econômico e o crescimento projetado de participação dessas fontes renováveis, a interdependência do setor energético com as *commodities* agrícolas passa a gerar preocupações aos tomadores de decisão.

Nesse sentido, desde os choques do petróleo da década de 70, há um amplo consenso de que o preço da *commodity* petróleo é determinante chave no desempenho econômico dos países. Quanto maior seu preço, maior será a transferência de renda dos países importadores para os produtores, com impactos na balança comercial, inflação, desemprego, dentre outros indicadores. Sendo assim, qualquer crise direta ou indireta que afete os preços do petróleo não restringe seu efeito apenas a essa *commodity* em questão, mas desencadeia uma série de problemas econômicos em âmbito mundial.

Assim, em meados de 2007, a eclosão da crise financeira, a partir da deterioração do mercado de hipotecas *subprime* nos EUA, e a deflagração para os demais segmentos do mercado financeiro, doméstico e internacional, fizeram com que os fundos de investimento especulativos, *hedge funds* e outros investidores institucionais passassem a direcionar suas apostas para os mercados de *commodities*, em busca de alto retorno nos mercados futuros para compensar as perdas com os ativos financeiros.

Dessa maneira, a forte elevação das cotações das *commodities* e do petróleo ocorrida ao longo do segundo semestre de 2007 e de 2008 reflete, pelo

⁴ CRB é o índice que acompanha uma cesta de matérias-primas metálicas, agrícolas e energéticas produzido pelo *Commodity Research Bureau*.

menos em parte, esse movimento. O preço do petróleo bruto *West Texas Intermediate* – WTI passou a apresentar volatilidade excepcional durante a maior parte de 2008. Depois de definir um recorde de mais de US\$ 147 por barril em julho de 2008, o preço do petróleo caiu para pouco mais de US\$ 40 por barril no início de dezembro desse mesmo ano (BLOOMBERG, 2011). Nesse período, os preços das *commodities* agrícolas apresentaram comportamento semelhante.

O preço do petróleo WTI é particularmente importante. Embora existam mais de 170 variedades de petróleo, os tipos mais usados como *benchmark* na formação de preços são o WTI, referência para as Américas, o Brent, referência para a Europa e África, e o Dubai, referência para a Ásia. O WTI representa 1/4 do consumo mundial e é o mais comercializado no mercado futuro (BRADESCO, 2011).

A alta do preço do petróleo pressionou os preços da produção agrícola de dois modos, de um lado, estimulou a produção e a demanda de biocombustíveis, com reflexos na oferta de alimentos, ora pela substituição de culturas ora pelo desvio da produção de alimentos para fabricação do biocombustível, e por outro lado, elevou os custos da produção agrícola, devido ao aumento dos preços dos fertilizantes e do transporte (BNDES, 2008, p. 252-263).

Após atingir níveis extraordinários em meados de 2008, os preços de importantes *commodities* – em particular petróleo, mas também milho e soja – passaram a registrar queda no mercado futuro, no período de “calmaria” da crise. Porém, essa reversão de preço não tem se sustentando, em razão das incertezas atuais quanto à estabilidade da economia global.

Em adição, a crise do *subprime* atingiu dimensões sistêmicas que culminaram na crise da Zona do Euro, que ainda não foi contornada e vem alimentando a instabilidade dos mercados. Somam-se ainda, o terremoto seguido do tsunami no Japão, em 11 de março de 2011, que trouxe graves consequências aos reatores nucleares da usina de Fukushima Daiichi, e o clima de instabilidade política no Oriente Médio e norte da África, que realimentam aumentos nos preços do petróleo.

Assim, diante da instabilidade atual, períodos de queda nos preços de *commodities*, em vez de significar uma reversão duradoura da tendência de alta, têm sido interpretados pelos analistas apenas como sinal de maior volatilidade.

A volatilidade é uma medida de risco e desempenha importante papel no apreçamento de derivativos, na valoração de ativos, no estabelecimento de políticas de *hedge* para carteiras e no planejamento de curto e longo prazo das empresas.

Aumentos extraordinários nos níveis de preço levam a aumentos de volatilidade e, conseqüentemente, muito mais riscos e incertezas em relação às margens dos tomadores de decisão. Nesse sentido, o aumento do nível de preços do petróleo, resultando em altas volatilidades dos preços, sustentada pela interdependência do mercado de energia com o mercado de *commodities* agrícolas, tem sido um grande foco de atenção. Estudos que analisam e examinam o comportamento de volatilidade são altamente relevantes para o gerenciamento de risco do mercado.

Portanto, esta dissertação contribui para esta gama de estudos e tem como objetivo modelar e prever a volatilidade das séries financeiras, ou seja, averigua a possível existência de volatilidade *spillover* no setor energético, como forma de entender o seu comportamento para apoio à formulação de estratégias de investimentos, para prover melhor posicionamento perante o risco.

Este trabalho tem como hipótese o aumento da interdependência entre os mercados e analisa o impacto sobre a estrutura de preços do mercado de etanol brasileiro, diante do comportamento da volatilidade dos preços internacionais do petróleo e das *commodities* agrícolas milho e açúcar, responsáveis pela maior parte da produção mundial etanol.

Como referencial específico de pesquisa, este estudo avalia dois Cenários distintos:

- Cenário I - busca identificar a presença de volatilidade *spillover* entre os preços futuros de petróleo e milho cotados no mercado internacional e o preço futuro de etanol cotado no Brasil.
- Cenário II - busca identificar a presença de volatilidade *spillover* entre os preços futuros de petróleo e açúcar cotados no mercado internacional em relação ao preço físico de açúcar no Brasil.

Para responder a estas questões, esta dissertação encontra-se dividida em seis seções, sendo a Seção 1 esta que apresenta a introdução ao trabalho. Na

Seção 2 será examinada a importância do petróleo como fonte energética, analisada a evolução do etanol como fonte alternativa, apresentando evidências do processo de investimentos, tanto no Brasil quanto nos principais mercados produtores internacionais e analisado os possíveis impactos nas *commodities* agrícolas utilizadas como fontes de energia; a Seção 3 examina o referencial teórico relativo à volatilidade *spillover* e evidências empíricas analisadas quanto a existência contágio no mercado de *commodities* produtoras de energia. A Seção 4 detalha a metodologia aplicada ao estudo, cujos resultados estão registrados na Seção 5. A Seção 6 aponta as principais conclusões e recomendações para estudos futuros.

2 SETOR DE ENERGIA E OS BIOCOMBUSTÍVEIS - O ETANOL COMO FONTE ENERGÉTICA ALTERNATIVA

As perspectivas do setor energético mundial dependem da evolução do quadro de incertezas econômicas e das decisões governamentais quanto aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, pela segurança energética, pela segurança alimentar e pela redução dos estoques de fontes fósseis. Nesse contexto, as fontes renováveis geradoras de energia tendem a se tornar mais importantes na composição da matriz energética mundial.

Esta seção analisa uma dessas potenciais fontes renováveis de energia, importante na formação das fontes líquidas de energia, o etanol, que é atualmente o principal biocombustível produzido no mundo, apresenta dados sobre a evolução deste biocombustível no mundo, sua importância para o Brasil e para os principais países produtores, finalizando com uma avaliação quanto aos potenciais riscos que esta solução energética pode ocasionar para a segurança alimentar.

2.1 As crises do petróleo e a evolução do etanol como biocombustível

Em meados de 2008, o mundo se encontrava no auge da crise do *subprime*⁵, uma crise de crédito imobiliário desencadeada nos EUA, que acabou gerando uma interrupção da cadeia de pagamentos da economia global, atingindo de maneira generalizada todos os setores econômicos, com graves reflexos para a economia americana. Os problemas do *subprime* estavam ligados à desvalorização do dólar que estava, por sua vez, em estreita relação com aumento do preço do barril de petróleo, incentivado por ações especulativas.

⁵ *Subprime* é um tipo de crédito concedido aos agentes com maus históricos de pagamento. Devido às baixas taxas de juros decorrentes de grande liquidez do mercado internacional, a demanda por casas hipotecadas nos EUA, financiadas por créditos *subprime*, aumentou, fazendo com que o preço das casas aumentasse e houvesse a necessidade de refinanciamento. O problema se deu quando a taxa de juros aumentou e o patrimônio começou a perder valor. Pessoas que haviam contraído empréstimos não conseguiram pagar, uma vez que as casas eram dadas como garantia e estavam perdendo valor, os emprestadores não eram capazes de recuperar seus investimentos. (TABAK e SOUZA, 2009, p.137).

Assim, o mundo passou a vivenciar mais uma crise, com reflexos mundiais, em especial no preço do petróleo, impactando no desenvolvimento econômico. A Figura 1 destaca a evolução do preço do barril de petróleo WTI, no período jan/2000-jan/2011, com destaque para o processo de crescimento vertiginoso durante o período da crise do *subprime*, alcançando, em julho de 2008, a cotação de US\$ 147.

Figura 1 - Série de preço futuro do petróleo WTI (US\$)

Fonte: Bloomberg (2011)

Historicamente, o petróleo vem impactando o desenvolvimento econômico desde 1973, com a guerra do Yom Kipur⁶, quando a Organização dos Países Produtores de Petróleo - OPEP decretou bloqueio ao fornecimento de petróleo aos países aliados de Israel, provocando um aumento dos preços do petróleo em níveis nunca antes atingidos.

Diante desse primeiro choque do petróleo, o mundo deparou-se com o risco de desabastecimento energético, dando impulso na busca por fontes alternativas de energia.

Em 1979, ocorreu o segundo grande choque do petróleo, deflagrado pela revolução iraniana e seguido pela guerra Irã-Iraque, a partir de 1980. Diante desses dois choques do petróleo, evidenciou-se a fragilidade econômica frente às fortes

⁶ Conflito militar ocorrido em 1973, entre uma coalizão de estados árabes, liderada pelo Egito e Síria, contra Israel. O início do conflito ocorreu com um ataque surpresa contra Israel, no dia do feriado judaico de Yom Kipur.

flutuações no preço dessa *commodity*, tornando urgente a busca de alternativas para a matriz energética.

O preço do petróleo é um determinante-chave no desempenho do crescimento dos países, já que gera influência sobre os diversos instrumentos econômicos capazes de desestabilizar as economias, como câmbio, balança comercial, inflação, dívida externa e outros. Desde então, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de desenvolvimento de medidas que reduzam a dependência energética ao petróleo.

Contribuiu para o reforço dessas discussões, o efeito do furacão Katrina, que em 2005 quando atingiu o Golfo do México, região responsável por 25% do petróleo consumido pelos EUA, resultou na situação de fragilidade do abastecimento de combustíveis tradicionais ao forçar o fechamento das plataformas na trajetória do furacão.

Outros fatores incentivam a busca por fontes alternativas, tais como as preocupações energéticas e ambientais. Nesse contexto, tem-se que os combustíveis fósseis são de origem não renovável, existindo naturalmente uma diminuição das reservas mundiais de petróleo e de gás natural, o que requer a busca de alternativas baseadas em fontes renováveis. No aspecto ambiental, tem-se que, no processo de combustão dos derivados do petróleo há a liberação de gases poluentes como o CO₂. O excesso de emissão desse gás tem sido considerado o principal responsável pela formação dos GEE e causadores das mudanças climáticas de grande preocupação para ambientalistas.

Assim, desde 1988, governantes e cientistas buscam medidas de proteção ao meio ambiente. Em 1997 entrou em vigor o Protocolo de Kyoto, como um novo marco na preservação ambiental, contendo, pela primeira vez, um acordo vinculante que compromete os países do Norte a redução de emissões de CO₂. Mas, apesar das preocupações ambientais serem temas frequentes entre os países, somente no ano de 2005 é que o protocolo de Kyoto teve seu início efetivo, após ser atingida a cota mínima, de 55 países signatários. Com o acordo, os países passaram a responsabilizar-se pela adoção de medidas de preservação e conservação climática, aplicando fortes medidas de políticas públicas ao incentivo de uso a energia limpa, renovável.

Os relatórios do IPCC⁷, publicados em 2007, reforçaram as discussões, tendo alguns países estipulado valores-limite para a diminuição de emissões de gases das energias fósseis e também a substituição por energias renováveis.

Todo esse contexto propicia o desenvolvimento de políticas governamentais e projetos privados que levam a uma modificação na composição da matriz energética mundial. Segundo dados do IEA (2011), a parcela da produção de energia proveniente do petróleo vem sofrendo redução gradativa, com crescimento dos biocombustíveis, especialmente entre os países mais desenvolvidos.

Essa visão fica evidente ao se comparar as devidas participações de cada fonte energética, nos anos de 1973 e em 2010, demonstradas na Figura 2:

Figura 2 - Evolução da redução da participação do petróleo como fonte de energia e crescimento dos combustíveis renováveis nos países da OEDC – (em %)

Fonte: IEA (2011, p. 7)

Obs.: O grupo outros inclui energia geotérmica, solar, eólica, dentre as principais.

2.2 A evolução do etanol como biocombustível

Os biocombustíveis, embora tenham se tornado importantes no contexto econômico atual, não são novidade no mercado. Em fins do século XIX, foi a fonte de energia preferencial adotada por Henry Ford, com uso de bioetanol, e por Rudolf

⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) é um fórum não governamental composto por representantes de países membros das Nações Unidas, coordenado pelo World Meteorological Organization (WMO) e pelo United Nations Environment Programme (UNEP), com responsabilidade de prover o mundo análises sobre os impactos ambientais.

Diesel, com uso de óleo de amendoim. Esses dois produtos foram substituídos, respectivamente, pela gasolina e pelo óleo diesel à medida que os combustíveis derivados de petróleo passaram a ser abundantes e baratos, a partir do início do século passado.

Assim, apesar de ter sido utilizado como combustível desde o início do Século XX, o etanol teve sua produção desestimulada até o início dos anos 70, em função da grande disponibilidade de oferta dos derivados de petróleo a preços baixos.

Sendo um biocombustível, a produção de etanol tem como matéria prima as fontes vegetais renováveis, como a cana-de-açúcar, milho, beterraba, sorgo sacarino, trigo, mandioca e outras, com diferentes níveis de produtividade.

Em adição, o etanol pode ser utilizado como combustível de duas maneiras: como aditivo à gasolina - chamado de álcool anidro - que após ser misturada passa a ser conhecida na comercialização como gasolina C (comum), ou diretamente em automóveis com motores receptores diretos de etanol – chamado álcool hidratado, sendo uma alternativa importante ao suprimento da demanda de combustíveis do país e combate aos problemas ambientais.

Analisando-se a evolução da produção mundial de etanol verifica-se que esta crescendo de forma significativa desde 2000, tendo tido, no período 2005 a 2010, um crescimento em 165% (EPI, 2011), em especial em função da ênfase dada pelos EUA à produção, o que descortinou a perspectiva do desenvolvimento de um mercado internacional para o produto.

Esse crescimento pode ser atribuído à necessidade dos países de reduzirem a dependência energética de combustíveis fósseis, devido ao risco inerente das flutuações dos preços internacionais do petróleo e, também, pela futura exaustão das reservas de petróleo.

A Figura 3 apresenta a curva de evolução do volume da produção mundial de etanol, medido em milhões de galões, onde fica evidente o forte crescimento após 2005.

Figura 3 - Evolução da produção mundial de etanol

Fonte: EPI (2011)

2.3 A evolução do etanol no Brasil

A forte vocação brasileira da agroindústria canavieira possibilitou que desde o início do século XX o Brasil avaliasse o uso da cana de açúcar como fonte alternativa para produção de álcool. Nesse sentido, adotou uma legislação específica para incentivar o uso do álcool como mistura obrigatória ao consumo da gasolina.

Em 20 de fevereiro de 1931, o governo brasileiro estabeleceu o Decreto nº 19.717, que obrigou a mistura de 5% de álcool na gasolina importada consumida pelo país. A criação do Instituto do Açúcar e do Alcool - IAA, em 1933, organizou as bases para o aumento da produção alcooleira nacional por meio de financiamentos de destilarias anexas às usinas de açúcar. Em 23 de setembro de 1938, o Decreto-Lei nº 737 estendeu a mistura de 5% de álcool à gasolina produzida no país.

Apesar do incentivo à indústria sucroalcooleira, até os anos 60, a gasolina era o combustível dominante no uso veicular. Somente após o primeiro choque do petróleo, ocorrido em 1973, é que ocorreram alterações marcantes para esta estrutura de consumo.

Dessa forma, em 1975, foi criado o Proálcool, com o objetivo de estimular a produção do álcool para diminuir a dependência das importações do petróleo, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo em resposta ao aumento dos preços do petróleo. Segundo Bertelli (2005, p. B2):

[...] a crise internacional elevou os gastos do Brasil com importação de petróleo de US\$ 600 milhões, em 1973, para US\$ 2,5 bilhões, em 1974. O impacto provocou um déficit na balança comercial de US\$ 4,7 bilhões, resultado que influenciou fortemente na dívida externa brasileira (da época e futura) e na escalada da inflação, que saltou de 15,5%, em 1973, para 34,5%, em 1974 [...].

De acordo com o Proálcool, a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo, deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras e de unidades armazenadoras.

Assim, a decisão de focar na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar se deve, principalmente, pela existência de uma indústria açucareira com tradição desde a época colonial, além de ter sido a melhor adaptada às limitações tecnológicas da época.

Como as etapas na produção do açúcar e do álcool diferem apenas a partir da obtenção do caldo que poderá ser fermentado para a produção de álcool ou tratado para o açúcar, a baixa do preço internacional do açúcar na época, impulsionou o *trade off* para a produção de álcool, dado que esse se mostrava mais atrativo, pelas condições econômicas predominante.

Nos anos 1979 e 1980, em função do segundo grande choque do petróleo, o governo adotou medidas que fortaleciam o Proálcool, criando organismos como o CNAL e a CENAL com as funções de administrar e agilizar o desenvolvimento do setor.

No ano de 1979, foi criado no Brasil o primeiro carro com motor movido exclusivamente a álcool. O programa demonstrou sucesso, chegando em 1986 com a marca de 73% de automóveis de passeio saídos das fábricas no Brasil movidos a álcool (ANFAVEA, 2011, p. 62).

A partir de 1988, a economia brasileira apresentou os reflexos do denominado “contrachoque do petróleo”, coincidindo com um período de escassez de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos energéticos alternativos, resultando num significativo decréscimo no volume de investimentos

nos projetos de produção interna de energia. Com isso, a oferta de etanol não acompanhou o crescimento da demanda, que continuou estimulada com a manutenção de preços atrativos e de menores impostos sobre veículos a álcool.

Dessa forma, a combinação de desestímulo à produção de álcool e de estímulo à sua demanda, pelos fatores de mercado e intervenção governamental na manutenção de preços, gerou a crise do desabastecimento, abalando a credibilidade do etanol.

Em 1999, o mercado de álcool combustível foi liberado do controle governamental, para as fases de produção, distribuição e revenda. Logo, o governo deixou de regular o preço do álcool, permitindo que este passasse a ser definido pela interação no mercado de oferta e demanda.

No entanto, as sucessivas crises de abastecimento levaram o Proálcool à descrença por parte dos consumidores e das montadoras de automóveis. Sendo assim, apesar da iniciativa brasileira no segmento de álcool combustível, como proteção às abruptas variações do preço do petróleo, este não era capaz de atender a demanda brasileira por combustíveis.

Entretanto, com o desenvolvimento da tecnologia americana *flex fuel*, o quadro de depreciação dos carros a álcool foi revertido. A tecnologia baseia-se em automóveis capazes de funcionar a bicombustível, ou seja, são aptos a funcionar tanto com álcool quanto com gasolina e com a mistura em qualquer proporção desses dois combustíveis. A possibilidade de escolha no abastecimento traria ao consumidor mais segurança na utilização do álcool, uma vez que o proprietário do veículo passa a poder optar pela relação custo-benefício não ficando limitado a determinado produto. Assim, a competição entre o etanol e a gasolina aumentou as interrelações entre os mercados de combustíveis fósseis e de fontes renováveis.

Os carros de motores *flex fuel* começaram a ser vendidos no Brasil a partir de 2003. No ano de 2010, 72% da produção brasileira de veículos foram dotados de motor *flex fuel* (ANFAVEA, 2011), possibilitando, assim, um novo estímulo ao consumo interno de etanol.

A Figura 4 registra a importância dos motores à álcool na década de 80 e o crescimento que os veículos de motor *flex fuel* passaram a ter no mercado brasileiro, a partir de 2004:

Figura 4 - Evolução dos motores *flex fuel* na fabricação total de veículos, entre 1979 - 2010

Fonte: Estatísticas (ANFAVEA, 2011, p. 63)

Obs.: O total de veículos compreende automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus.

A política de adição de álcool na gasolina se mantém até os dias atuais. A partir de julho de 2007, com a publicação da Portaria nº 143 do MAPA, toda gasolina vendida no Brasil passou a conter álcool anidro, num percentual que variou de 20% a 25%.

Em 28 de abril de 2011, foi proposta a Medida Provisória nº 532, objetivando minimizar os impactos diretos da elevação do preço do etanol no valor cobrado pela gasolina. Dentre as determinações, alterou-se a classificação do etanol, que até então era avaliado como produto agrícola, passando a ser classificado como combustível e determinou-se uma nova faixa de variação na adição do álcool anidro à gasolina, de 18% a 25%.

A diretriz objetivou garantir maior estabilidade dos preços, tanto do etanol, como da gasolina, nos períodos de entressafra e em situações de vantagens *trade-off*, ou seja, em situações em que o produtor se beneficiaria mais se optasse pela produção de açúcar, reduzindo a produção de etanol, o que reflete diretamente no aumento de preço deste bem.

A distribuição da produção da cana de açúcar para geração de açúcar, etanol anidro e etanol hidratado, teve fortes oscilações, evidenciando as variações existentes no setor. A Figura 5 apresenta a distribuição das safras do período de 1992 até 2010:

Figura 5 - Histórico do *mix* do açúcar e etanol anidro e hidratado (distribuição percentual por safra)

Fonte: EPE (2010, p. 13)

A 0 registra a evolução da produção brasileira, entre a destinação de açúcar e etanol, medido em toneladas. Destaca as taxas de crescimento médio anual para três períodos que tiveram diferentes ênfases de crescimento e destinação da produção:

Safras entre 1990 a 2000:

- Açúcar – CAGR de 11,4%
- Etanol - CAGR de 1,4%

Safras entre 2001 a 2003:

- Açúcar – CAGR de 17,8%
- Etanol - CAGR de 9,2%

Safras entre 2004 a 2009:

- Açúcar – CAGR de 4,5%
- Etanol - CAGR de 13,2%

Figura 6 - Evolução da destinação da safra brasileira para produção de açúcar e etanol – em mil toneladas

Fonte: ÚNICA (2011)

Obs.: CAGR - *Compound Annual Growth Rate* ou taxa média anual de crescimento no período

2.3.1 A expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil

Quase quarenta anos após o início do Proálcool, o Brasil segue na expansão intensiva do setor sucroalcooleiro. Segundo o MAPA, o setor sucroalcooleiro atualmente é composto por 437 unidades produtoras, sendo 168 produtoras de álcool, 16 de açúcar e 253 capazes de produzir ambos. O álcool, que era considerado subproduto do açúcar, passou a desempenhar papel estratégico na economia brasileira deixando de ser avaliado não apenas como resposta a uma crise temporária, mas como uma solução na estratégia energética para um desenvolvimento sustentado. É esperado, que o mercado brasileiro de etanol continue em expansão, com o aumento da frota de veículos *flex fuel* e da competitividade do etanol hidratado no médio prazo.

Em estudo realizado pela EPE (2011), órgão ligado ao Ministério das Minas e Energia, projeta-se a demanda de etanol carburante até 2020 com um crescimento de 166%, em relação a demanda estimada para 2011, conforme Figura 7:

Figura 7 - Projeção da demanda de etanol carburante no Brasil

Fonte: EPE (2011, p. 241)

Adicionalmente, este estudo apresenta, para o decênio 2011-2020, as seguintes projeções:

- O Brasil manterá a liderança de vendas de etanol do mercado internacional. Em termos de área total plantada para cana de açúcar, o estudo apontou um crescimento de 56%, passando de 8,1 milhões de hectares, em 2011, para 12,6 milhões de hectares em 2020.
- Em termos de destinação da produção, o crescimento da área plantada de cana voltada para produção de etanol é de 106%, com pequeno decréscimo da área para produção de açúcar.
- Supondo ainda um aumento de produtividade no uso da terra, na faixa de 14%, passando de 78 para 89,2 milhões de toneladas por hectare, será possível, em 2020, poupar uma área equivalente a 1,8 milhões de hectares, para os níveis de produção projetados.

A Figura 8 detalha as projeções:

Figura 8 - Projeção das áreas plantadas para produção de etanol e açúcar, área poupada decorrente e produtividade por hectare, do setor sucroalcooleiro brasileiro

Fonte: EPE (2011, p. 252)

2.4 A evolução do etanol no mundo

Da mesma maneira que no Brasil, o desenvolvimento de biocombustíveis no resto do mundo foi incentivado pela busca de fontes renováveis de energia, em prol das questões ambientais e como forma de proteção contra as crises mundiais, diminuindo a dependência energética. O mundo vem procurando por novas fontes energéticas, a fim de atender as futuras necessidades. A expectativa é que um dia o uso de hidrocarbonetos cessará, sendo necessária sua substituição por fontes alternativas que sejam competitivas.

O Brasil tornou-se o primeiro país a desenvolver uma utilização em massa de um combustível renovável. Mas, apesar do pioneirismo brasileiro, os EUA hoje são o país de maior produção do combustível renovável. Desde 1980, os EUA adotam um programa de utilização de etanol combustível produzido principalmente através do milho. Porém, o impulso inicial à demanda por etanol apenas ocorreu na década de 1990, quando retificações ao *Clean Air Act*, existente há 30 anos, foram

promulgadas pelo congresso americano, para estabelecer novas normas mais eficazes, a fim de melhorar a qualidade do ar.

Assim, para reduzir o nível de poluição, a legislação estipulava a adição de oxigênio à gasolina, que poderia ser realizada através da adição de Metil-Tércio-Butil-Éter - MTBE ou etanol. Nos EUA, o MTBE foi o principal oxigenante usado nas gasolinas. No entanto, nos últimos anos, após ter sido considerado cancerígeno e poluidor dos lençóis freáticos, o seu uso extinto e substituído por etanol.

Porém, o interesse americano e, conseqüentemente, mundial na produção do álcool combustível intensificou-se a partir de 2003, devido principalmente à ocorrência de dois fatos de consequências mundiais. Primeiro a invasão do Iraque pelos EUA, que suscitou a questão estratégica da dependência do petróleo. Em segundo a ocorrência do furacão Katrina que, em agosto de 2005, ressaltou os perigos decorrentes do aquecimento global.

Devido a esses eventos, o etanol que até então era praticamente uma exclusividade brasileira, passou a ser assunto de discussão de um enorme contingente de países em todo o mundo, sendo que têm sido discutidas e adotadas diversas medidas pelo congresso americano, visando estimular o desenvolvimento de combustíveis alternativos.

Assim, em 2005, os EUA sancionaram o *Energy Policy Act*, o qual inclui um programa de combustíveis renováveis que abarca todas as diretrizes de política energética norte-americana. Em 19 de dezembro de 2007, foi aprovada a lei *Energy Independence and Security Act of 2007* – EISA, com o objetivo principal de promover a independência e segurança energética dos Estados Unidos, seja pelo uso de fontes renováveis de energia, seja pela melhoria do rendimento de produtos, edificações e veículos e proteção dos consumidores, dentre outros.

Para os EUA, o estabelecimento de um mercado interno de biocombustíveis foi uma das estratégias da lei, para aumentar a independência energética, principalmente em relação aos combustíveis fósseis. A EISA apresentava diversos programas de incentivo à promoção do uso de energias renováveis, desde o fomento à produção de biocombustíveis ao estabelecimento da infraestrutura necessária ao mercado. Também estabelecia metas de consumo de combustíveis renováveis, a serem alcançadas até 2022, e que resultavam em reduções nas emissões de GEE em, no mínimo 50% menores de quando da utilização do combustível fóssil.

Assim, em 2010, o órgão responsável pela execução e controle de políticas ambientalistas, US Environmental Protection Agency – EPA aprovou a elevação da mistura de etanol à gasolina de 10% para 15%. Consequentemente, os EUA, que há quase 10 anos atrás, pouco utilizavam o etanol combustível, conseguiram em um curto espaço de tempo desenvolver e ampliar o parque de produção, atingindo o nível de maior produtor mundial.

Dessa forma, o crescimento da participação americana na produção mundial de etanol pode ser observado comparando-se sua posição em relação ao Brasil e resto do mundo. No ano de 2000, o Brasil representava 61% da produção mundial e os EUA apenas 36%. Já em 2010, a participação americana alcançava 55% da produção mundial contra 33% do Brasil. Em termos de volume de produção, medido em bilhões de galões de etanol, nesse mesmo ano, os EUA alcançaram 11.993 bilhões de galões e o Brasil 7.270 bilhões (EPI, 2011).

Graficamente, os dados estão explicitados nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Participação do Brasil, dos EUA e do resto do mundo, na produção mundial de etanol, para o período de 1975 até 2010

Fonte: EPI (2011)

Figura 10 - Evolução do Brasil, dos EUA e do resto do mundo na produção anual de etanol, para o período de 2000 até 2010

Fonte: EPI (2011)

Apesar do crescimento observado na produção de etanol combustível, o consumo nos EUA ainda é relativamente baixo quando comparado ao consumo dos derivados do petróleo, diferentemente do que ocorre no Brasil.

Assim como aconteceu nos EUA e no Brasil, o desenvolvimento dos biocombustíveis na União Europeia - UE também foi impulsionado por políticas de incentivos e regulações. A política europeia de biocombustíveis é baseada em duas diretrizes, a Diretriz de Biocombustíveis - DB de 2003 e a Diretriz de Energias Renováveis – RED de 2009.

A DB estabeleceu metas ao consumo de biocombustíveis a serem atingidas. Estipulava que até 2005 os países membros da união atingissem 2% de combustíveis renováveis nos meios de transportes e que em 2010 o consumo atingisse 5,75%. Com isso, a produção de etanol da UE, que no período anterior a aplicação da diretriz, era tradicionalmente utilizada na fabricação de bebidas e no setor industrial, a partir de 2006, teve sua produção destinada, em sua maioria, ao setor de combustíveis. Apesar da efetiva alteração no quadro de destino da produção do etanol, a DB não foi muito bem sucedida.

Entretanto, a partir de 2011, a DB cedeu lugar a RED, que introduziu no setor de transportes da UE, o uso obrigatório de energias renováveis. Devido aos limitados progressos alcançados no âmbito da diretiva anterior, o objetivo desta foi tornar obrigatório e, portanto, juridicamente vinculativo a utilização de etanol.

Assim, os países membros tiveram que elaborar planos de ação nacional de energia renovável, estipulando medidas para o cumprimento de metas até 2020. Além disso, a diretiva continha uma lista abrangente de requisitos para garantir que somente biocombustíveis produzidos de forma sustentável sejam permitidos na formação da matriz energética da UE, visando assim, estabelecer a confiança aos investidores, que desempenham papel importante para o desenvolvimento da indústria europeia de biocombustíveis.

Os resultados até então obtidos pelas políticas de incentivo da UE, no entanto, são bastante reduzidos quando comparados com os EUA e o Brasil. Por exemplo, até 2008, os EUA produziram mais etanol em um mês do que a UE o fez no ano inteiro (EPI, 2011).

Também é importante notar que, enquanto o mercado de biocombustível dos EUA e do Brasil é dominado pelo etanol, o mercado de biocombustíveis da UE é essencialmente um mercado de biodiesel, conforme demonstrado na Figura 11:

Figura 11 - Evolução da participação do etanol e biodiesel no mercado de biocombustíveis da União Europeia, período de 2000 até 2010

Fonte: EPI (2011)

Na UE, mesmo com pouca representatividade mundial, é possível observar que países estão alavancando sua produção, com destaque para França e Alemanha.

Nas Américas, o Canadá é destaque de crescimento desde 2006, tendo investido, em 2010, \$2.326 bilhões para construção de 28 plantas para formação da indústria de biocombustível, que implicou na criação 14.177 empregos diretos e indiretos na indústria (DOYLETECH CORPORATION, 2010).

A região da Ásia, também tem se mostrado ativa na implementação de programas de biocombustíveis e no uso de recursos agrícolas para produzir biocombustíveis, atendendo a uma demanda doméstica crescente. Destaca-se a China, que com uma produção iniciada em 2001, alcançou em 2009, 2,5% da produção mundial, tendo, porém, participação ainda pequena em face de sua necessidade de energia.

A Figura 12 destaca nos países os períodos de aceleração da fase de crescimento na produção de etanol.

Figura 12 - Evolução da produção diária de etanol do Canadá, França, Alemanha e China, para o período de 2000 até 2009

Fonte: EPI (2011)

Na América Latina e Caribe, a produção e a utilização de biocombustíveis têm grande potencial, dado que a maioria dos países depende da importação de produtos de petróleo. Os países estão introduzindo misturas de bioetanol, geralmente de 5% a 10% em volume na gasolina, e, no caso do biodiesel, de 2% a 5%. Entre as várias iniciativas em curso, dois países podem ser destacados por avanços: Colômbia e Costa Rica, que assim como o Brasil, produz etanol a partir da cana de açúcar (BNDES, 2008, p. 238).

2.5 A Evolução do etanol e as fontes naturais

Diferentemente do Brasil que produz etanol através da cana-de-açúcar, os EUA viabilizam a produção principalmente através do milho. Porém, o uso de culturas alimentares para produção de etanol tem gerado debates controversos. Argumenta-se que ao mesmo tempo em que reduz a emissão de gases poluentes, a sustentabilidade de produção em larga escala de biocombustíveis pode trazer efeitos negativos, como uma maior pressão sobre a cobertura florestal nativa ou sobre o preço de *commodities* agrícolas, pela pressão da demanda.

O etanol foi reconhecido mundialmente pelo potencial no combate ao aquecimento global. Segundo Kohlhepp (2010), através do estudo da OECD de 2008, destaca que o uso de etanol da cana-de-açúcar além de ser uma fonte renovável de energia, reduz de 70% a 90% a emissão de GEE, quando comparado com o uso da gasolina. O etanol produzido por outras fontes vegetais, também apresenta vantagens de redução na emissão de gases, embora relativamente menor. Observa-se que uma redução de 20%-50%, quando produzido do milho, de 30%-50%, quando produzido da beterraba e de 30%-60% do trigo.

Contudo, para que os efeitos positivos gerados na redução dos GEE não sejam anulados por possíveis impactos negativos, como os futuros problemas socioeconômicos, os países estão demandando esforços em PD&I, a fim de contornar os problemas gerados entre o *trade off* de produzir biomassa agrícola para a geração de biocombustíveis ou para produção de alimentos.

Para as próximas décadas, espera-se um aumento na demanda por alimentos, considerando os aspectos demográficos e de renda, além das questões

envolvidas nas políticas de biocombustíveis dos países, aumentando as preocupações em relação ao nível dos preços dos alimentos e em relação à sustentação alimentar.

Segundo Khanna et al. (2010), com o rápido crescimento da produção de biocombustíveis, particularmente o etanol feito de milho, pode-se esperar um crescimento no preço das commodities agrícolas, incrementado pelo crescimento da demanda por milho. Esse crescimento, por sua vez causará nos consumidores de milho um efeito de busca de outros grãos implicando também em crescimento de preços desses novos produtos. Argumentam ainda que para mitigação desses efeitos devem ser desenvolvidas tecnologias que levem a uma maior produtividade e uso de fontes alternativas para produção de etanol, como o etanol lignocelulósico.

Nesse sentido, o caso do milho é bastante ilustrativo para essa situação. Além de ser amplamente utilizado na alimentação humana, o cereal é usado na ração animal, sobretudo de aves e suínos, implicando na menor oferta, em virtude de sua utilização para a produção de etanol, tenha impacto nos preços dos seus derivados, como no preço das carnes de porco e aves. Segundo o BNDES (2008, p. 255-256):

[...] estudo do Fundo Monetário Internacional (FMI) sobre o crescimento da demanda de produtos agrícolas indica que o milho, a soja e a colza terão seus mercados fortemente influenciados pela produção de bioenergia. Um bom exemplo é a produção norte americana de bioetanol, que responde por 60% do incremento da demanda global de milho e afeta diretamente seus preços.

Os impactos dos biocombustíveis são claramente diferenciados segundo sua origem [...], enquanto o bioetanol de cana-de-açúcar produzido no contexto de países de elevada produtividade, como os localizados em regiões de clima adequado, pouco afeta a produção de outros bens agrícolas, os biocombustíveis produzidos em grande escala no contexto norte americano e europeu impactam diretamente e de modo crescente a disponibilidade de produtos alimentares.

Dessa forma, as recentes pesquisas e investimentos direcionam-se para o que está sendo considerado etanol de segunda geração, que é oriundo de materiais lignocelulósicos como bagaço de cana e outros resíduos agrícolas.

A produção de etanol lignocelulósico ainda não é economicamente viável e a busca pela competitividade desse produto exige ainda muitas contribuições de PD&I, sendo necessárias novas técnicas para aumentar a eficiência da produção dos biocombustíveis e o desenvolvimento de políticas que incentivem essa migração.

Nesse sentido, os Atos americanos voltados para a independência e segurança energética tem direcionado para o uso do etanol lignocelulósicos. O EISA (Act 2007) definiu para 2022 uma produção total de 36 bilhões de galões de biocombustíveis sendo 21 bilhões de galões de etanol lignocelulósicos. O Act 2008 definiu uma redução do crédito tarifário do etanol de milho para US\$ 0,45/galão em contrapartida a um subsídio de US\$ 1,01/galão de etanol lignocelulósicos. Estas políticas, segundo Khanna, Huang e Chen (2011) implicam na necessidade de realização de estudos de avaliação de impacto nos preços diante da formulação de políticas econômicas de incentivo ao biocombustível.

A China é um exemplo deste novo Cenário. Ao contrário dos EUA, a China interrompeu a aprovação de novos projetos de etanol a base de cereais e tem dedicado ao desenvolvimento de tecnologias para produção de etanol de segunda geração.

Assim, enquanto alguns países optam pelo desenvolvimento de tecnologias para a utilização de novas biomassas na produção de etanol, outros mantêm a posição de avançar na capacidade produtiva proveniente das bases atuais.

Nessa busca, o Brasil apresenta vantagens importantes, pois não tem como desafio a identificação de uma biomassa economicamente competitiva. A vantagem geográfica, de um país tropical e de grande extensão agrária, garante facilidades ao cultivo de cana-de-açúcar, sendo assim, o Brasil é capaz tanto de ampliar sua capacidade produtiva dentro dos padrões de etanol de primeira geração, como possui no bagaço de cana insumo para produção de etanol de segunda geração.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em períodos recentes, vivencia-se uma crescente integração das economias, fazendo com que os mercados estejam cada vez mais expostos a influências externas. Quanto maior a interação entre os mercados, maior a vulnerabilidade a riscos sistêmicos.

Devido às crises financeiras decorridas desde a década de 90, acompanhadas pelo aumento da globalização, muitos estudos procuram analisar a rápida propagação dos choques entre os mercados. Nesse sentido, existem dois focos de pesquisas que buscam observar estas propagações. O primeiro analisa os preços dos ativos ou retorno dos ativos. O segundo examina a variabilidade no tempo da volatilidade dos preços ou dos retornos dos ativos.

Este trabalho baseia-se no segundo foco de pesquisa e busca, por evidências empíricas, verificar a presença de comportamentos de alta volatilidade dos preços nos mercados não geradores dos choques, podendo assim identificar a ocorrência de volatilidade *spillover* ou apenas um padrão de interdependência entre os mercados.

O conceito *spillover* aqui é interpretado como contágio ou transmissão. Portanto, a primeira questão que se toma é definir a diferença entre comportamento de contágio e interdependência. No entanto, a definição precisa de contágio é aberta na literatura e desta forma, não só não há consenso na definição de contágio, como também não há uma única metodologia para testar a sua ocorrência.

Segundo Chiang (2011), a compreensão da natureza do contágio entre os mercados é importante para definição de políticas que visam tanto prevenir a ocorrência como minimizar a transmissão de choques.

Assim, nesta Seção, apresentam-se os principais resultados já publicados na literatura e as fundamentações teóricas para analisar os Cenários propostos na Seção 1. Está dividida em duas subseções, onde se examina as principais referências sobre interdependência e contágio entre mercados e evidências quanto a aplicação dos conceitos para o mercado de energia.

3.1 Interdependência *versus* Contágio

A literatura sobre contágio proliferou no final da década de 70, com modelos desenvolvidos por Krugman (1979), Flood e Garber (1984) e Obstfeld (1986), na tentativa de explicar as crises cambiais.

A partir dos anos 90, com o desencadear de inúmeras crises financeiras, os estudos foram intensificados. Como as crises da época não se restringiam apenas ao país onde eclodiam, os especialistas passaram a questionar se os acontecimentos eram resultado de interdependência econômica entre os diversos mercados, ou se teria ocorrido contágio.

Desde então, os pesquisadores estudam para explicar como se define um comportamento de contágio. Para alguns estudiosos, o contágio só é observado quando há aumento da correlação. No entanto, o problema da identificação de contágio é mais complexo do que apenas identificar um aumento na correlação.

Para Masson (1998), Wolf (1999) e Pritsker (2001), as causas para a ocorrência de contágio poderiam ser divididas conceitualmente em duas categorias. A primeira categoria enfatizava as repercussões que resultavam da interdependência normal entre as economias de mercado, que faziam com que os choques de natureza global ou interna, pudessem ser transmitidos entre os países e mercados, devido as suas reais ligações. A segunda categoria envolvia choques ligados às mudanças não observáveis, sendo apenas o resultado do comportamento “irracional” dos agentes. Sob esta definição, o contágio surgiria quando um co-movimento ocorresse, mesmo quando não houvesse choques globais, nem a interdependência dos mercados.

Segundo Dornbush et al. (2000), contágio é definido como a propagação de distúrbios de um mercado para outro, observando-se os co-movimentos medidos, por exemplo, através do grau de preços dos ativos ou dos fluxos financeiros comparando-os aos co-movimentos em tempos tranquilos.

Dessa forma, Forbes e Rigobon (2001) formalizaram a definição de contágio associando-o a aumentos significativos das relações entre mercados, após um choque. Esta definição implicava que mesmo em mercados com alta correlação cruzada, após uma crise, só haveria contágio se a correlação entre estes mercados

aumentasse significativamente. Os autores adotaram o termo *shift-contagion* (contágio por alteração) para diferenciar a definição das demais existentes.

Corsetti, Pericoli e Sbracia (2005) aprofundaram a definição de Forbes e Rigobon (2001) destacando o fato de que muitos estudos associavam a ideia de correlação em crescimento, ou alto nível de volatilidade, à presença de contágio. Tal ideia, porém, poderia levar a avaliações errôneas em determinadas circunstâncias, dado que o conceito de interdependência é também consistente com a correlação ou volatilidade em crescimento. Assim, a questão seria identificar se o choque deflagrou a ocorrência de contágio ou de interdependência.

Segundo os autores, quando ocorrer interdependência entre os mercados, há certa estabilidade no comportamento dos parâmetros que vinculavam tais mercados, ou mesmo que descrevessem seu comportamento. A correlação entre eles, em períodos de crise, obedeceria à determinada trajetória ou um comportamento, que seria esperado pelo próprio processo gerador dos dados que descrevem tais mercados. Por outro lado, quando ocorrer contágio, segundo os autores, haveria um aumento de correlação, além da esperada em algum padrão de interdependência, associando contágio à ideia de aumentos excessivos de correlações entre os mercados.

Assim, Marçal e Valls Pereira (2008) concluíram que o contágio seria então normalmente evidenciado em situações inesperadas, como de crises financeiras ou choques em *commodities*, de grandes proporções. Situações em que os padrões usuais de transmissão atingem rapidamente países ou outros setores econômicos, sendo que, em outro ambiente, estariam praticamente isolados de tais efeitos.

Kleimeier et al. (2011) destacaram que, se as forças de transmissão forem provenientes de ataques especulativos, pânico financeiro ou comportamento de manada então, as crises que se seguiriam seriam contagiosas dificultando iniciativas de proteção por parte dos tomadores de decisão. Em contraste, se as crises forem transmitidas para mercados interdependentes através de ligações reais e estável, então a propagação de uma crise pode ser limitada. Neste caso, os países com bons fundamentos econômicos estariam protegidos.

Uma maneira de responder à pergunta sobre contágio *versus* interdependência é analisar os co-movimentos entre os mercados e seus preços. Um aumento da correlação-cruzada entre os mercados durante crises é geralmente visto como um indicador de contágio, enquanto correlações estáveis apontam

interdependência. Assim, em mercados que apresentassem um baixo grau de co-movimentos durante períodos estáveis, quando ocorresse uma proporção significativamente maior de co-movimentos, durante o período de crise, este seria indicativo de contágio. Entretanto, em mercados, que apresentem alto grau de co-movimentos, durante períodos estáveis, ocorrendo igual aumento destes, durante o período de crise, acarretaria apenas em interdependência.

Ao longo deste trabalho, sempre que mencionado o termo contágio, este fará referência ao trabalho de Corsetti, Pericoli e Sbracia (2005), ou seja, identifica-se a presença de contágio quando, a partir de choques inesperados nos preços de determinado mercado, há aumento excessivo das relações entre os diversos mercados, não observadas em um cenário de interdependência.

Assim, a volatilidade *spillover* ou o contágio de volatilidade registra a transferência de volatilidade de um mercado a outro, quando choques inesperados nos preços impulsionam aumentos excessivos de volatilidade.

3.2 O Setor energético e o mercado de *commodities*

Os estudos sobre a relação entre energia e *commodities* agrícolas estavam concentrados em duas áreas, a transmissão no nível de preços e os modelos de equilíbrio geral ou parcial, que analisam cenários alternativos das políticas de biocombustíveis.

Nessa vertente, Welch et al. (2007) analisaram como o aumento da demanda por milho para produção de etanol impactava a indústria de algodão. Através dos dados de produção e preço do algodão e da semente de algodão referentes a 2007/06, fixado como período base, foram realizadas projeções até 2011/12. No período analisado, os impactos sobre a indústria de algodão não foram tão diretos, mas já apresentavam significância. Como o aumento da demanda de etanol implicava na expansão de áreas de cultivo de milho, ocasionando uma redistribuição das culturas plantadas, os autores destacaram que, a partir do cenário com introdução de etanol, a área total plantada de algodão nos EUA sofreria uma redução de 2,1%.

McPhail e Babcock (2008) elaboraram um modelo estocástico de equilíbrio parcial, em relação à safra de milho de 2008/2009, para captar as ligações entre o mercado de milho e etanol nos EUA. Segundo os autores, as perspectivas para o mercado de milho dos EUA relacionava-se ao que acontecia com a indústria de etanol americana. O modelo inclui cinco variáveis estocásticas, consideradas as de maior contribuição para a volatilidade do preço do milho: área plantada, taxa de produtividade do milho, demanda de exportação, preço da gasolina e a capacidade da indústria de etanol. Os autores estimaram que a integração da gasolina com o mercado de milho gerou aumento significativo na volatilidade dos preços do milho.

Entretanto, tais estudos evidenciavam comportamento de integração entre o setor energético e as *commodities* agrícolas, mas pouco definiram sobre a real exposição ao risco inerente a essas relações.

Recentemente, um número maior de estudos de contágio vem sendo desenvolvido. Porém, ainda são poucos os que buscam avaliar as relações entre o setor energético. Hammoudeh, Jeon e Li (2003), Lee e Zyren (2007) e Chang, McAleer, Tansuchat (2010), analisaram o comportamento de contágio considerando o mercado de petróleo e seus derivados. No entanto, o acervo de trabalhos que conjugam as relações entre o setor energético com *commodities* agrícolas e a questão da volatilidade *spillover* é ainda mais limitado.

Yu, Bessler e Fuller (2006) investigaram a interdependência de longo prazo entre os preços de óleos vegetais, soja, colza, girassol e palma, assim como a relação dinâmica entre os preços dos óleos com o preço a vista do petróleo bruto. O interesse pelos óleos vegetais decorreu da utilização destes como matéria prima na produção de biodiesel. Analisaram dados semanais, de janeiro de 1999 a março de 2006. Após aplicação de modelos de séries temporais sobre a ideia de cadeias causais, encontraram resultados que apontam para existência de vetor de co-integração de longo prazo entre os cinco preços dos óleos.

No longo prazo, o óleo de soja apresentou maior influência entre os óleos vegetais, ou seja, as variações de seu preço explicavam entre 32% a 75% das variações nos preços dos outros óleos vegetais. No entanto, a influência dos choques no preço do petróleo sobre os preços dos óleos vegetais não foi significativa no período. Como conclusão, os autores enfatizaram que possivelmente, a influência do preço do petróleo em relação aos óleos vegetais crescerá a medida que o biodiesel se torne uma fonte crescente de energia.

No que se refere ao biocombustível oriundo do etanol, Tyner (2009) analisou a integração dos mercados de energia e milho, nos EUA. Avaliando-se um aumento no preço do petróleo levaria a um aumento do preço da gasolina, que por sua vez geraria um aumento na demanda do seu bem substituto, etanol. A sua premissa é de que maior consumo de etanol, exigiria maior produção da *commodity* geradora, que nos EUA é o milho, resultando assim em aumento do preço. Observou que, a partir de 2006, o mercado de etanol estabeleceu uma ligação entre o preço do petróleo e do milho, que não existia historicamente, confirmando a interdependência das variáveis analisadas. A correlação identificada entre o petróleo bruto anual e o preço do milho foi negativa, de -0,26, no período de 1988 a 2005. Em contrapartida, atingiu valor positivo de 0,80, durante o período de 2006 a 2008.

Du, Yu e Hayes (2009) investigaram as repercussões da volatilidade dos preços do petróleo bruto sobre as *commodities* agrícolas de milho e trigo. Utilizaram uma base semanal de preços futuro do petróleo, milho e trigo, no período de novembro de 1998 a janeiro de 2009, e os parâmetros do modelo foram estimados usando métodos bayesianos. Como resultado, não se identificou a presença de transmissão de volatilidade durante o período de 1998 a outubro de 2006. No entanto, a partir do período de outubro de 2006 a janeiro de 2009, o contágio de volatilidade entre o mercado de petróleo bruto para o mercado de milho foi significativo.

Harri e Darren (2009) avaliaram a dinâmica da média e variância entre os preços futuros do petróleo, milho e uma *proxy* da taxa de câmbio. Identificaram a ocorrência de contágio de volatilidade, evidenciando que a variância do preço do petróleo causa variação nos preços do milho.

Embora os estudos anteriores adotassem o pressuposto que a interdependência entre os mercados de milho e de energia era, em grande parte, induzida pela participação do etanol, estes não forneciam evidências empíricas diretas com os preços do etanol.

Dessa forma, Zhang et al. (2009) avaliaram a relação da volatilidade dos preços do etanol com a volatilidade dos preços do milho, soja, gasolina e petróleo nos EUA. Aplicando o modelo multivariado com heterocedasticidade condicional e dividindo seus dados em dois períodos, 1989 a 1999 com o etanol na fase pré-boom e 2000 a 2007 como período de boom do etanol, os autores evidenciaram resultados que sugeriam a não existência de ligações entre as volatilidades do petróleo, etanol e

milho em qualquer período da análise. Além disso, não identificaram relações de longo prazo entre os níveis dos preços agrícolas e de energia.

Serra, Zilberman e Gil (2010) analisaram como a volatilidade de preço do etanol brasileiro mudou ao longo do tempo e observaram a co-integração entre o petróleo bruto internacional e o preço do açúcar brasileiro⁸. Utilizaram-se do estimador de máxima verossimilhança de Seo (2007, apud SERRA; ZILBERMAN; GIL, 2010) que estima o modelo de correção de erros e o processo multivariado com heterocedasticidade condicional, conjuntamente. Os resultados provenientes da análise empírica das séries de preços *spot*, no período de 2000 a 2008, sugeriram uma influência no nível de preço e na volatilidade do petróleo bruto para o etanol e, finalmente, no preço do açúcar, porém com menos intensidade.

A determinação da alocação de produção entre etanol e açúcar é variável com o retorno financeiro obtido por esses produtos, ou seja, o que apresentar maior retorno será o foco de produção, justificando assim a escolha pela variável preço do açúcar brasileiro para análise de co-integração.

Diferentemente do observado no trabalho de Zhang et al. (2009), foi possível evidenciar no trabalho de Trujillo-Barrera, Mallory e Garcia (2011) comportamentos de contágio de volatilidade entre os preços de etanol, petróleo e milho nos EUA. A diferença deve ser atribuída ao período analisado, que foi de 2006-2011, que engloba questões recentes. Dessa forma, a atualidade inserida no estudo capturou não apenas as fragilidades econômicas, mas também as ações políticas em respostas as preocupações ambientais. Outra diferença foi em relação à metodologia, já que apesar de ambos examinarem o comportamento da volatilidade através de um modelo multivariado de heterocedasticidade condicional, os autores optaram por aplicar posteriormente o modelo de correção de erros, em resposta a cointegração das séries.

Os resultados apresentados nos trabalhos de Tyner (2009) e Du, Yu e Hayes (2009), atingiram as expectativas, dado que, a partir de 2005, os EUA definiram as diretrizes ao processo de incentivo à energia renovável, explicando a interdependência entre os mercados após esse período.

Outros estudos analisaram impactos das culturas geradoras de etanol sobre outras culturas agrícolas, demonstrando sua importância, na medida em que

⁸ No Brasil, o etanol é proveniente da cana-de-açúcar que é também a matéria-prima geradora de açúcar.

comprovam que alterações em um ponto da estrutura da matriz energética habitual podem propagar reflexos para outras indústrias. Assim, o entendimento da interligação dessas cadeias é fundamental para os tomadores de decisão.

Em suma, os estudos presentes na literatura sobre volatilidade *spillover* entre as commodities agrícolas e de energia ainda são bastante recentes e incipientes, sendo ainda mais escassos no Brasil. Dessa forma, esta pesquisa, contribui com tema inédito, tomando como base a análise de volatilidade *spillover* para o setor energético brasileiro.

4 MODELO EMPÍRICO

A volatilidade, ou variância condicional, é um dos principais focos de pesquisa em Finanças, exercendo um papel central em atividades como gerenciamento de risco e no apreçamento de derivativos. No entanto, esse parâmetro não é diretamente observável. Assim, modelar e prever a volatilidade das séries financeiras tem sido um importante objeto de investigação teórica e empírica, pois seu comportamento é fundamental na formulação de estratégias de investimentos. Esta Seção apresenta os principais modelos teóricos que contribuíram para a pesquisa.

4.1 Síntese geral sobre os modelos de avaliação de volatilidade

As séries financeiras apresentam comportamento diferenciado em relação à outras séries temporais, como por exemplo a não-linearidade. De um modo geral, pode-se afirmar que uma série financeira é não linear quando responde de maneira diferente a choques de informações. Nesse sentido, Black (1976) observou que o mercado torna-se mais volátil em resposta a choques negativos do que a choques positivos.

Quando se estuda séries financeiras, é preferível concentrar-se na análise de séries de retornos ao invés do uso direto das séries de preços. A razão desta preferência relaciona-se ao fato de que o retorno de um ativo financeiro possui propriedades estatisticamente mais atrativas, pois os retornos, ao contrário das séries em nível de preços, raramente apresentam tendências ou sazonalidades, com a exceção eventual de retornos intradiários.

Assim, como fato estilizado das séries de retornos financeiros, Mandelbrot (1963) e Fama (1965) evidenciaram a falta de validação empírica sobre a suposição de normalidade, já que as distribuições dos retornos, embora sejam aproximadamente simétricas, em geral são leptocúrticas, ou seja, apresentam caudas mais pesadas do que a distribuição normal. Segundo Clark (1973), o comportamento das séries deve-se a mudanças no volume de negociações, que

dependem do fluxo de informações diárias, que deveria ser absorvido por modelos que captassem tais fatos estilizados. Além disso, as séries financeiras violam um pressuposto básico da regressão, a homocedasticidade, não apresentando variância condicional constante ao longo do tempo, ou seja, o comportamento é heterocedástico.

Com base nessas evidências, necessitava-se desenvolver modelos de heterocedasticidade condicional, para modelar os *clusters* de volatilidade, ou seja, agrupamentos de volatilidade. Assim, a volatilidade depende de informações passadas, disponíveis até aquele instante, de modo que se possa definir uma variância condicional, que mudava ao longo do tempo. Estes fatos estilizados implicam em que estas séries necessitem de modelos diferenciados, capazes de incorporar a evolução da volatilidade no tempo.

Dessa forma, distinguem-se duas grandes classes de especificações para modelagem da variância condicional, classes do tipo determinísticas, representadas principalmente pelos modelos da família *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* - ARCH, introduzidos por Engle (1982), e as classes do tipo estocásticas representadas principalmente pelos modelos de *Stochastic Volatility* – SV, introduzidos por Taylor (1982).

O modelo ARCH foi o primeiro modelo empírico direcionado a considerar os fatos estilizados das séries de retornos financeiros, para a estimação da volatilidade. A ideia básica é que o retorno não se correlaciona serialmente e que a variância condicional depende dos retornos passados, ou seja, auto-regressivo, por meio de uma função quadrática.

Uma variação do modelo foi desenvolvida por Bollerslev (1986), sendo chamado de modelo GARCH – *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*, que generaliza e incorpora a própria variância condicional observada no passado ao modelo ARCH. Como vantagem aos modelos ARCH, os modelos GARCH permitem capturar movimentos persistentes na volatilidade dos ativos, sem estimar um grande número de parâmetros, sendo assim mais parcimonioso.

Enquanto os modelos da família ARCH supõem que a variância condicional depende dos retornos passados, os modelos SV não adotam esta hipótese. Os modelos têm como premissa o fato de que a volatilidade presente depende de valores anteriores da mesma, mas, no entanto, é independente dos retornos

passados (MORETTIN, 2004, p. 353). Assim, os modelos SV permitem um processo estocástico de volatilidade que não depende de variáveis observáveis.

Assim, os modelos SV proporcionam maior flexibilidade na descrição de fatos estilizados, sobre retornos e volatilidades, mas são relativamente difíceis de estimar (SHEPHARD, 2005), dada a dificuldade do uso de técnicas estatísticas clássicas e a complexidade da função de verossimilhança aplicada na estimação.

No entanto, alcançaram-se progressos na estimativa de modelos SV utilizando a estatística bayesiana, com a técnica de Monte Carlo via cadeias de Markov - MCMC, que parecem apresentar bons resultados conforme avaliado nos trabalhos de Chib, Nardari e Shephard (2002), Jacquier, Polson e Rossi (2004), Li, Wells e Yu (2008) e Du, Hayes, Yu (2009).

Os métodos mais frequentes de simulação obtêm-se uma amostra da distribuição a *posteriori* em um único passo, no qual valores são gerados de forma independente e não há preocupação com a convergência do algoritmo, bastando que o tamanho da amostra seja suficientemente grande. Os métodos são classificados como não-iterativos e pode ser difícil estimar as densidades, dado que o ideal é que sejam, simultaneamente, boas aproximações a posteriori e fáceis de serem comparadas.

Em adição, o método MCMC é uma ferramenta importante nos métodos não-iterativos em problemas complexos, porém utiliza-se de intenso ferramental computacional. A ideia a princípio é a mesma, com a diferença de que se utilizam técnicas de simulação iterativas, baseadas em cadeias de Markov, e assim os valores gerados não serão mais independentes.

Em geral, estudos comparando SV com modelos da família ARCH favorecem o primeiro, porém, apesar dos avanços computacionais, as dificuldades técnicas ainda se tornam empecilho para o uso desse ferramental pelas instituições financeiras. Além disso, as evidências apontam que, em geral, os resultados não divergem e diante da flexibilidade dos modelos ARCH, continuam oferecendo vantagens por permitirem examinar os modelos de forma que se ajustem melhor aos dados.

Posteriormente, ajustados os modelos foram estendidos ao caso multivariado. A modelagem multivariada é importante para análise de séries financeiras, em que um dos objetos de estudo é modelar a interdependência. O

conhecimento da variável é crucial para os problemas de contágio, que é foco da pesquisa.

Dessa forma, estimam-se os modelos ARCH/GARCH multivariados para modelar a matriz de variância-covariância condicional das séries financeiras múltiplas. O conhecimento da matriz fornece informações sobre a medida de risco associada a certo conjunto de ativos financeiros.

Assim, quando se examinam séries financeiras, geralmente impõem-se restrições em relação à dependência entre elas, principalmente em relação à dependência nas caudas, entre os valores extremos. Muito se desenvolveu na tentativa de minimizar as restrições a fim de aumentar a precisão dos resultados estimados. Nesse sentido, um ferramental atual, é a técnica de cópulas.

As cópulas são funções que agrupam ou acoplam as funções de distribuição multivariadas às suas distribuições marginais, com padrão uniforme no intervalo $[0,1]$ (NELSEN, 1999). Uma das características mais atraentes e importantes das cópulas é que sozinhas englobam todas as informações relevantes sobre a estrutura de dependência entre as variáveis aleatórias, usando um ferramental flexível.

Comparativamente às outras metodologias da família GARCH, observa-se melhores resultados de estimação na técnica de cópulas. No entanto, apesar de sua superioridade, a estimação é lenta e de difícil convergência, principalmente para estimação de modelos multivariados, acima de quatro variáveis, dificultando o uso para tomadas de decisões.

As interações entre os mercados e a necessidade de análises conjuntas implicam no uso de modelagens de alta complexidade. Portanto, este trabalho objetiva adotar modelos que compatibilizem a generalidade e a simplicidade, através de mecanismos factíveis para avaliação de decisões, particularmente às instituições financeiras, indicando assim a praticidade do estudo.

Dessa forma, os modelos examinados avaliam a interdependência no segundo momento estatístico. Os modelos pertencem a classe determinística da família GARCH Multivariada – MGARCH.

4.2 Modelo GARCH multivariado - MGARCH

A extensão do modelo GARCH univariado para o n-variado, foi inicialmente introduzido por Bollerslev, Engle e Wooldridge (1988), Bollerslev (1990) e Engle e Kroner (1995). O MGARCH usando a mesma estrutura de um GARCH univariado, requer que a matriz de variância-covariância condicional - H_t das variáveis aleatórias ε_t dependa das informações disponíveis ψ_{t-1} até o período t-1, ou seja, tem-se que:

$$\varepsilon_t | \psi_{t-1} \sim N(0, H_t)$$

Onde, $\varepsilon_t = y_t - \sum_{i=1}^q y_{t-i}$ e sendo y_t o retorno do ativo.

Assim, dependendo da dimensão das matrizes das séries de retorno y_t , a estimação de um modelo MGARCH pode ser complexa. Por isso, para manter o modelo simples, algumas restrições são frequentemente impostas nas equações, como por exemplo, tem-se a adoção do critério de diagonalização para tornar o modelo mais parcimonioso e de fácil determinação. Dentre as derivações analisadas, destacam-se as modelagens VEC, BEKK e CCC.

4.2.1 Modelo VEC

O modelo VEC pode ser parametrizado como:

$$H_t = c_0 + \sum_{i=1}^q A_i \eta_{t-i} + \sum_{i=1}^p G_i H_{t-i}$$

Onde, $\eta_t = (\varepsilon_t \varepsilon_t')$ e A_i e G_i são matrizes simétricas.

No entanto, quando se observa os elementos das matrizes A_i e G_i , verifica-se o uso de parâmetros redundantes. Em particular, todas as equações de covariância aparecem duas vezes, ou seja, existe uma equação $h_{ij,t}$, assim como $h_{ji,t}$. Logo, todos os elementos fora da diagonal principal aparecem duas vezes em cada equação.

Entretanto, os termos redundantes podem ser eliminados sem causar efeito sobre o modelo, resultando em parâmetros únicos em cada uma das matrizes A_i e G_i . Uma parametrização mais conveniente é a aplicação do operador $\text{vech}(\cdot)$ ⁹ que omite os parâmetros em excesso, assim, um modelo MGARCH(p,q) torna-se:

$$\text{vech}(H_t) = c + \sum_{i=1}^q A_i \text{vech}(\varepsilon_{t-i} \varepsilon_{t-i}') + \sum_{i=1}^p G_i \text{vech}(H_{t-i}) \quad (1)$$

Dessa maneira, a parametrização é denominada como representação VEC, definida por Engle e Kroner (1995). A grande vantagem do modelo é a flexibilidade, pois permite que todos os elementos de H_t dependam de todos os produtos cruzados de $\text{vech}(\varepsilon_{t-i} \varepsilon_{t-i}')$ e de todos os elementos de H_{t-i} . Contudo, o grande número de parâmetros a serem estimados, mesmo para estruturas muito simples, pode gerar dificuldades computacionais. O processo de estimação torna-se particularmente difícil, não só por conta do número de parâmetros, mas também pela necessidade de impor restrições aos parâmetros de forma a evitar a ocorrência de variância negativa e garantir estabilidade.

Assim, a forma encontrada para garantir que H_t seja definida positiva para todo t , é assumindo-se que A_i e G_i sejam matrizes diagonais. A restrição torna o modelo mais fácil de ser estimado, já que as equações podem ser estimadas separadamente. O modelo restrito é denominado como Diagonal VEC.

⁹ O operador vech empilha as colunas do triângulo inferior da matriz para se obter um vetor coluna.

Considerando o exemplo: $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ então $\text{vech}(A) = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{22} \\ a_{32} \\ a_{33} \end{bmatrix}$

4.2.2 Modelo BEKK

Introduzido por Baba et al. (1991), revisado posteriormente por Engle e Kroner (1995), o modelo BEKK garante, por restrição, que a matriz de variância-covariância seja sempre positiva definida.

O modelo BEKK pode ser representado por:

$$H_t = c_0^* c_0^* + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^q A_{ik}^* \varepsilon_{t-i} \varepsilon_{t-i}' A_{ik}^* + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^p G_{ik}^* H_{t-i} G_{ik}^* \quad (2)$$

Onde, c_0^* , A_{ik}^* e G_{ik}^* são matrizes de dimensão $n \times n$, com c_0^* uma matriz triangular inferior.

Alguns casos especiais de modelos derivados do BEKK são considerados em análises de volatilidade, como por exemplo, modelos onde as matrizes A e G são do tipo escalar ou diagonal. É o caso do Escalar BEKK e do Diagonal BEKK, respectivamente.

4.2.3 Modelo de Correlação Condicional Constante – CCC

Proposto por Bollerslev (1990), o modelo CCC impõe a condição de que a correlação condicional seja constante em todo instante t . A matriz de covariância é dada por:

$$H_t = D_t R D_t$$

Onde D_t é a matriz diagonal com seus elementos compostos pela variância condicional $h_{ii,t}$ de cada série no instante t e R é a matriz dos coeficientes de correlação linear constante ρ_{ij} .

É possível deduzir, supondo uma distribuição normal condicional, o coeficiente de correlação linear entre as séries i e j é igual a ¹⁰:

$$\hat{\rho}_{ij} = \frac{\sum_{t=0}^T \hat{e}_{i,t} \hat{e}_{j,t}}{\left(\sum_{t=0}^T \hat{e}_{i,t}^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{t=0}^T \hat{e}_{j,t}^2 \right)^{1/2}}$$

Onde $\hat{e}_{i,t}$ e $\hat{e}_{j,t}$ são os resíduos padronizados das séries i e j encontrados na estimação univariada através dos modelos da família GARCH. Assim, para calcular a matriz de covariância do modelo, basta estimar os modelos univariados, obter os resíduos padronizados e posteriormente utilizá-los para calcular os coeficientes de correlação linear.

A simplicidade de estimação dos modelos CCC torna-os atraentes. A grande restrição do modelo é a matriz de correlação temporal dos ativos ser constante no tempo. É provável que as correlações temporais dos ativos se alterem ao longo do tempo por conta da variação temporal de suas respectivas variâncias e covariâncias. Em algumas situações esse tipo de limitação pode ser razoável, entretanto, em muitas aplicações, necessita-se de maior flexibilidade.

4.3 Especificações econométricas

Objetiva-se analisar a interação entre commodities agrícolas com foco no mercado de combustível, procurando identificar a existência de contágio de volatilidade entre estas.

Portanto, devido às interrelações entre as variáveis econômicas, Sims (1980) destacou que todas as variáveis deveriam ser tratadas em sistemas de equações, simultâneas e simetricamente. A discussão introduziu um novo método de abordagem de séries multivariadas, o modelo de Vetores Autorregressivos – VAR.

Assim, a ideia é examinar modelos dinâmicos com o mínimo de restrições, nos quais todas as variáveis fossem tratadas como endógenas. Dessa forma, os

¹⁰ Conforme Bollerslev (1990)

modelos VAR examinam relações lineares entre cada variável, de suas próprias defasagens e entre as defasagens de todas as demais variáveis do sistema, tendo como restrições apenas a determinação do conjunto de variáveis a serem analisadas e o número máximo de defasagens envolvidas nas relações.

Aprimorando o modelo VAR, Engle e Granger (1987), desenvolveram o modelo Vetorial de Correção de Erros – VEC. O modelo VEC, é um VAR restrito que permite que as séries com determinadas especificações, como por exemplo, a não estacionariedade, convirjam para uma relação de equilíbrio de longo prazo.

Entretanto, as modelagens de estruturas multivariadas podem ser de complexa estimação. Assim, para a utilização desses vetores é ideal que se realize uma filtragem dos dados, de forma a retirar dos retornos a estrutura linear existente no primeiro momento das séries.

O excesso de parametrização e a perda de graus de liberdade podem prejudicar na captura de informações importantes do sistema, dessa forma, é necessária uma determinação apropriada dos *lags* temporais a serem considerados. Para tal, optou-se por utilizar os Critérios de Informação de Akaike – AIC e Bayesiano de Schwarz – BIC.

O procedimento Minimum Akaike's Information Criterion Estimation - MAICE, consiste em escolher, como melhor modelo, aquele que apresentar o menor valor de AIC. A ideia é que, uma boa estimativa para a função logarítmica da verossimilhança esperada, pode ser obtida através dos dados observados, podendo ser aplicada como um critério para comparar modelos. Analogamente, o procedimento BIC é uma estatística semelhante ao critério de Akaike, com a característica de impor uma penalidade maior pela inclusão de coeficientes adicionais a serem estimados. Assim como no procedimento anterior, escolhe-se o modelo que apresentar a estatística de menor valor. Tais critérios têm a vantagem de serem objetivos, pois dependem da comparação direta entre modelos e não da interpretação subjetiva do analista.

Como mencionado anteriormente, as séries financeiras apresentam características diferenciadas, que violam os pressupostos da metodologia tradicional, implicando na necessidade de uso de modelagens capazes de capturar esses comportamentos estilizados.

Portanto, a utilização dos modelos vetoriais é ideal para contornar as características de autocorrelação das séries de retorno, enquanto os modelos da

família MGARCH são capazes de modelar séries com variância e covariância que se alterou ao longo do tempo, ou seja, com comportamento heterocedástico.

Dessa forma, para a modelagem multivariada dos cenários propostos neste estudo, são utilizados os modelos: Diagonal VEC; Diagonal BEKK; Escalar BEKK e CCC.

A opção de mais de um modelo justifica-se pela tentativa de se encontrar aquele que melhor se adapte às séries apresentadas, dado que, o fato de um modelo representar melhores resultados de estimação, apenas reflete o desempenho ao caso específico analisado, não garantindo que terá sempre o melhor desempenho em relação aos demais.

4.4 Dados

Com o crescimento da participação do etanol no mercado de energia combustível, identificou-se uma relevante necessidade de estudo, justificando-se a aplicação dos modelos das subseções 4.1 e 4.2.

Nesse sentido, procurou-se absorver dos modelos as especificidades das interrelações existentes no mercado brasileiro, examinado dois cenários, cada qual englobando um conjunto específico de variáveis, assim definidas:

- Cenário I – objetiva identificar a presença de volatilidade *spillover* entre os preços futuros de petróleo e milho, cotados no mercado internacional, e o preço futuro de etanol, cotado no Brasil. Ou seja, propõe-se identificar a presença de volatilidade *spillover* no mercado futuro de etanol brasileiro.

O cenário justifica-se em função da importância das três variáveis examinadas, decorrente de que o petróleo é a fonte de maior participação no setor energético, sendo o produto primário para a produção de gasolina e diesel. O milho ganhou importância, pois partir dessa *commodity* que é realizada a maior parte de produção de etanol. Na produção global, o etanol originado a partir do milho tem maior representatividade mundial. Assim, os impactos sobre a safra de milho devem

resultar em impactos diretos sobre a cotação do etanol, justificando a introdução da *commodity* na análise de contágio.

A última variável que compõe o cenário é o preço futuro do etanol cotado no Brasil. O etanol brasileiro é produzido da cana-de-açúcar, mas, embora a *commodity* que influencie o comportamento do etanol produzido no Brasil seja o açúcar, considerou-se no modelo o preço futuro, pois engloba as expectativas do mercado e das variáveis econômicas, incorporadas aos preços.

Assim, para compor o Cenário I, foram coletadas séries de preços futuros do etanol negociado na Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros – BM&FBOVESPA, dos preços futuros do milho negociado na Chicago Board of Trade – CBOT e dos preços futuros do petróleo WTI negociado na New York Mercantile Exchange – NYMEX.

As séries de preços do cenário referem-se ao período de 18/05/10 a 29/12/11 (BLOOMBERG, 2012). O curto período examinado decorre do fato do contrato de etanol hidratado, com liquidação financeira na BM&FBOVESPA, ter iniciado suas operações somente em maio de 2010. A operacionalização recente do contrato implicou em um reduzido número de observações.

Uma possível solução para o problema seria realizar examinar um ativo substituto com alta correlação do etanol do Brasil, porém, o contrato futuro com máxima correlação seria o de etanol futuro cotado na CME¹¹, que apontou uma correlação de 0,605.

Para constituir o segundo cenário, definiu-se um conjunto específico de variáveis:

- Cenário II - objetivou identificar a presença de volatilidade *spillover* entre os preços futuros de petróleo e açúcar cotados no mercado internacional em relação ao preço físico de açúcar no Brasil. Ou seja, propõe-se identificar a presença de volatilidade *spillover* no mercado físico de etanol brasileiro.

Assim como no Cenário I, o petróleo como fonte de maior participação no setor energético, também é avaliado no Cenário II. Adicionalmente, a cana-de-

¹¹ CME – Mercado de negociação de commodities envolvendo as bolsas CME, CBOT, NYMEX e COMEX.

açúcar no Brasil, além de ser o produto primário do açúcar, também é responsável pela geração de etanol. Assim, a quantidade a ser alocada para fabricação dos dois produtos é definida pela atratividade dos preços relativos. O *trade off* na alocação da produção, faz com que os produtos sejam altamente correlacionados.

Por exemplo, com base nos últimos 9 anos, a correlação entre o preço do mercado físico de açúcar e etanol, no Brasil, é de 0,803, indicando a existência de uma forte correlação entre esses mercados. Assim, devido a alta correlação, uma possível existência de comportamento de contágio de volatilidade no mercado físico de açúcar, seja um bom indício para a presença de contágio de volatilidade no mercado físico de etanol, justificando-se o uso da *commodity* na análise.

Em abril de 2011 foi proposta a Medida Provisória n° 532, com o objetivo de estabelecer uma política de intervenção governamental sobre o nível de produção de etanol. A intervenção pode interferir no grau de correlação dos mercados, porém, como atualmente já existe uma forte correlação presente, justifica-se a análise do cenário. A última variável que compõe Cenário II é o preço futuro do açúcar, que é determinado pelo mercado internacional, impactando no preço do mercado interno.

Foram coletadas as séries de preço futuro do açúcar cotado na NYMEX, o WTI utilizadas no Cenário I e o preço *spot* do açúcar brasileiro, informação proveniente do Centro de Estudos Avançados de Economia Aplicada - CEPEA.

As séries de preços correspondem ao período entre 20/05/03 e 29/12/11 (BLOOMBERG, 2012). A opção por iniciar a análise no ano de 2003 é que no período houve um incentivo maior para produção e consumo de etanol. No Brasil, o incentivo deu-se com o lançamento dos veículos *flex fuel*, que permitem ao consumidor a opção de decidir na hora do abastecimento o tipo de combustível que utilizará. Por outro lado, o interesse americano no aumento da produção do álcool combustível foi decorrente da invasão do Iraque pelos EUA, destacando-se a questão da dependência ao petróleo.

Por fim, os testes definidos na subseção 4.3 foram calculados com relação às séries de retornos dos ativos, que apresentam propriedades estatisticamente mais atrativas. Aponta-se na Equação 3 o cálculo dos retornos:

$$R_t = \ln\left(\frac{Cotação_t}{Cotação_{t-1}}\right) \quad (3)$$

Os preços dos ativos foram convertidos para a mesma unidade de valor, o dólar americano (US\$) através do PTAX-800, cotação de venda informada pelo banco central brasileiro - Bacen. Para a aplicação dos modelos, usou-se como ferramenta de auxílio o software Eviews 7.

5 RESULTADOS

Nesta seção, se apresenta os principais resultados obtidos pelos modelos estimados.

5.1 Estatísticas descritivas

É comum que as séries de retorno financeiras apresentem características estilizadas, como não normalidade e alta curtose. Assim, antes da aplicação da metodologia, foram analisadas as características das séries em questão. A Figura 13 apresenta a série histórica do logarítmico dos preços. A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das séries dos retornos.

Figura 13 - Série histórica do logarítmico dos preços das séries analisadas

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das séries dos retornos dos preços

Estatísticas	Cenário I			Cenário II		
	WTI	Milho	Etanol	Açúcar	Açúcar Físico	WTI
Média	0,09%	0,15%	0,13%	0,06%	0,06%	0,06%
Mediana	0,14%	0,12%	0,19%	0,000%	0,008%	0,03%
Máximo	8,20%	8,62%	5,74%	13,06%	7,92%	17,17%
Mínimo	-9,04%	-10,40%	-27,66%	-12,37%	-7,49%	-13,07%
Desvio Padrão	2,08%	2,23%	2,43%	2,38%	1,34%	2,07%
Assimetria	-0,29413	-0,11395	-7,52038	-0,257908	-0,228393	0,160996
Curtose	4,660491	4,661317	87,605	5,676603	6,633312	7,867572

Pela Tabela 1, observou-se que todas as séries apresentam coeficiente de curtose, ou seja, grau de achatamento da distribuição acima de 3, o que indicou que os retornos possuem caudas longas (pesadas) e conseqüentemente as séries de retornos não apresentavam distribuição normal.

Outro teste relevante é em relação à estacionariedade das séries, definida por Mandelbrot (1997) como uma das características básicas do comportamento de séries temporais. Para avaliar o comportamento estacionário das séries, deve-se identificar a presença de raiz unitária.

Quando a série temporal caracteriza-se por um passeio aleatório, costuma-se dizer que a série possui raiz unitária. A relevância de identificar se a série possui raiz unitária está no fato de que, em caso afirmativo, os choques externos causam efeito permanente na série. Ao passo que, em uma série estacionária, há um retorno à média após certo tempo.

A estacionariedade é uma condição fundamental para a análise de séries de tempo, porque o uso dos modelos de regressão envolvendo séries temporais não estacionárias pode resultar no problema de regressão espúria. Séries não-estacionárias não são passíveis de modelagem dentro do arcabouço tradicional.

Dessa forma, para avaliar a existência de raiz unitária aplica-se o teste o de Dickey-Fuller Aumentado - ADF. Para definir se uma série é ou não estacionária, deve-se comparar as estatísticas τ , τ_{μ} e τ_{τ} , com os valores críticos de Dickey-

Fuller. Se os valores das estatísticas forem maiores que os valores críticos de Dickey-Fuller, rejeita-se a hipótese nula de presença de raiz unitária na série e, portanto, a série é considerada estacionária.

A Tabela 2 apresenta o resultado do teste ADF para as séries analisadas:

Tabela 2 - Resultado do teste ADF

Estatísticas	Cenário I			Cenário II		
	WTI	Milho	Etanol	Açúcar	Açúcar Físico	WTI
ADF	-19,1389	-18,6183	-17,7197	-46,3677	-11,0439	-48,5612
P-Valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

O teste de ADF apontou que as séries de retorno analisadas, em ambos os Cenários são estacionárias, ou seja, rejeitam a hipótese nula de presença de raiz unitária, ao nível de 1 % de significância.

Como as séries demonstraram comportamento estacionário, optou-se pela utilização do modelo VAR, no qual se determinou o número de defasagens pela observação de critérios estatísticos.

5.2 Análises

Como definido na Seção 4, a escolha do melhor modelo VAR melhor para o conjunto de dados, foi feita através do princípio de Critério de Informação. A estatística BIC, em ambos os cenários, apresentou vantagens em relação ao AIC, por ter sido mais parcimoniosa. Assim, para a modelagem de autocorrelação dos retornos, utilizou-se um modelo VAR com 1 lag de defasagem temporal, para o Cenário I, enquanto para o Cenário II, um modelo VAR de 2 lags de defasagem.

Os resultados comparativos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação dos resultados BIC do modelo VAR para os dois Cenários analisados

LAGS	Cenário I		Cenário II	
	AIC	BIC	AIC	BIC
1	-14,3241	-14,2127	-15,1444	-15,1125
2	-14,3352	-14,1093	-15,1768	-15,1210
3	-14,3073	-13,9998	-15,1942	-15,1144
4	-14,2795	-13,8790	-15,2053	-15,1015
5	-14,2901	-13,7962	-15,2111	-15,0833
6	-14,2901	-13,7962	-15,2116	-15,0598

Para os modelos da família MGARCH, da mesma maneira como feito para o modelo VAR, a avaliação de qual modelo se adapta melhor as séries apresentadas é apontado pelo Critério de Informação. Na Tabela 4, apresenta-se a comparação entre os métodos.

Tabela 4 – Comparação dos resultados AIC e BIC para os dois Cenários

Modelo	Cenário I		Cenário II	
	AIC	BIC	AIC	BIC
Diagonal VEC	-14,2658	-13,9902	-15,7449	-15,6491
Escalar BEKK	-14,3641	-14,1702	-15,6908	-15,6164
Diagonal BEKK	-14,9238	-14,7094	-15,7302	-15,6505
CCC	-14,9867	-14,7017	-15,7284	-15,6406

Com base nos resultados apresentados, observou-se que, para o Cenário I, o critério de AIC indicou como melhor modelo o CCC e o BIC indicou o modelo Diagonal BEKK. Para o Cenário II, segundo o AIC, o melhor modelo foi o Diagonal VEC enquanto, segundo o BIC foi o Diagonal BEKK.

Adicionalmente, as correlações condicionais do modelo CCC registraram os seguintes resultados apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 – Matriz de correlação entre as variáveis

	WTI	ETH	MILHO
WTI	1	0,26	0,24
ETH	0,26	1	0,10
MILHO	0,24	0,10	1

Segundo os resultados, o modelo CCC apresentou fraco indício de presença de relação de interdependência entre as variáveis. O mesmo não se pode afirmar para o modelo Diagonal BEKK, no qual o indício foi forte.

No entanto, como definido anteriormente, considera-se a existência de contágio quando, a partir de choques inesperados nos preços de determinado mercado, há aumento excessivo das relações entre os diversos mercados, não observados em um ambiente de interdependência. Assim, apesar da presença de forte interdependência no modelo Diagonal BEKK, não se observou, em suas oscilações, movimentos expressivos que pudessem apontar a existência de contágio. Além disso, o curto prazo das séries analisadas pode ter dificultado a identificação desse comportamento. A Figura 14 a correlação condicional entre as séries analisadas.

Figura 14 - Correlação condicional entre as variáveis do Cenário I – Modelo Diagonal BEKK

Outra forma de análise gráfica do comportamento é através das variâncias condicionais, como se pode observar na Figura 15.

Figura 15 - Variância condicional das variáveis do cenário I segundo modelo Diagonal BEKK

Avalia-se através da variância condicional se movimentos individuais são representativos entre as outras variáveis. Como o modelo CCC apresentou fraco indício de interdependência, procedeu-se a análise apenas do modelo Diagonal BEKK.

Notou-se que os choques ocorridos no milho e no etanol não resultaram de choques sobre o WTI. No entanto, entre os meses de junho e julho de 2010, tanto a variância do etanol como a do milho, seguiram o mesmo comportamento de alta. O período foi marcado por altas nos preços americanos de soja e milho, devido a reação as questões climáticas que poderiam acarretar na redução da produção.

Uma vez que os EUA são os maiores produtores mundiais de milho e de etanol, a diminuição da produção de milho afeta a capacidade de abastecimento de etanol implicando em pressão nos preços do mesmo.

Assim, preço futuro de etanol, no Brasil, acompanhou as notícias do mercado externo, sofrendo reflexo direto da possível redução da produção

americana de etanol. Porém, ao mesmo tempo, a expectativa de aumento da safra de açúcar 2010/2011, comparada ao ano anterior, refletiu em períodos de preços baixistas no futuro de açúcar. Assim, a volatilidade observada no retorno dos preços do etanol, nesse período, foi proveniente das expectativas dos agentes.

Muitas vezes, a volatilidade é determinada por questões não observáveis. Os agentes, ao se depararem com situações inesperadas pelo mercado, reagem de forma irracional, alimentando comportamentos de manada¹², que acabam por impulsionar a aumentos excessivos de volatilidade, mesmo que não tenham ocorrido choques econômicos.

A análise simulada foi também realizada para o Cenário II, que como observado na Tabela 4, pelo critério de AIC apontou o Diagonal VECM como o modelo que melhor se ajusta as séries analisadas, enquanto pelo BIC foi o modelo Diagonal BEKK.

Figura 16 - Correlação condicional entre as variáveis do Cenário II - Modelo Diagonal BEKK

¹² Comportamento de manada é um termo usado para descrever situações em que indivíduos em grupo reagem todos da mesma forma, mesmo sem um planejamento prévio de decisão.

Figura 17 - Correlação condicional entre as variáveis do Cenário II - Modelo Diagonal VEC

Através da análise dos gráficos de correlação condicional presentes na Figura 16 e Figura 17 observa-se que, apesar das modelagens apresentarem praticamente o mesmo comportamento, o modelo Diagonal BEKK, identificou uma captura mais expressiva da correlação condicional. Por conta disso, esse modelo foi usado para uma análise mais aprofundada do comportamento das séries. O modelo Diagonal BEKK tem apresentado vantagens em relação a outros modelos da família MGARCH, diversos trabalhos de análise de volatilidade demonstraram que o Diagonal BEKK apresentou maior significância nos coeficientes estimados. Neste trabalho não foi diferente, o modelo Diagonal BEKK registou forte indício de presença de relação de interdependência entre as variáveis, definindo períodos de alta correlação.

Para uma análise mais acurada, subdividiu-se as séries em três períodos, em que o ponto de secção foi a crise do *subprime*. A crise apresentou seus primeiros sinais ainda no ano de 2007, porém, o período avaliado foi o auge da crise, 15 de setembro de 2008 a 30 de junho de 2009. Quando em 15 de setembro de 2008, o banco de investimento Lehman Brothers, quarto maior dos EUA, decretou concordata, desencadeando efeitos em cascata de falências e quebras de

instituições financeiras, culminando na maior queda diária do índice Dow Jones e das principais bolsas de valores internacionais desde os atentados de 11 de setembro de 2001.

A Tabela 6 evidencia o grau de correlação entre as variáveis nos períodos, antes, durante e pós o choque econômico de abrangência mundial.

Tabela 6 – Grau de correlação entre as variáveis em três períodos analisados

Períodos e Variáveis	Açúcar	Açúcar Físico	WTI
Mai 2003 / Set 2008			
Açúcar	1	0,0487	0,1718
Açúcar Físico	0,0487	1	0,0681
WTI	0,1718	0,0681	1
Set 2008 / Jun 2009			
Açúcar	1	0,4694	0,5000
Açúcar Físico	0,4694	1	0,4073
WTI	0,5000	0,4073	1
Jul 2009 / Dez 2011			
Açúcar	1	0,1785	0,2314
Açúcar Físico	0,1785	1	0,3966
WTI	0,2314	0,3966	1

No período anterior a crise do *subprime*, notou-se uma baixa correlação entre as variáveis, indicando um fraco indício de interdependência. Porém, no período de abrangência da crise, o grau de correlação aumentou, em relação ao evidenciado no período anterior, registrando um aumento superior a dez vezes da correlação do retorno do preço do açúcar físico com o retorno do preço do açúcar futuro. O aumento das relações entre os mercados pode ser considerado excessivo e indicativo de contágio entre os mesmos.

Nos anos de 2008 a 2009, período de auge da crise do *subprime*, o preço do barril do petróleo sofreu um crescimento vertiginoso, registrando alta volatilidade do WTI. A instabilidade financeira mundial estimulou os investidores institucionais a

direcionarem suas apostas para os mercados de *commodities* e seus derivativos, em busca de altos retornos nos mercados futuros para compensar as grandes perdas com os ativos financeiros. Os mercados de *commodities* oferecem possibilidade de retorno elevado ante a menor rentabilidade dos ativos financeiros tradicionais em razão tanto da queda dos juros americano como da depreciação do dólar, além de fornecer diversificação de risco, uma vez que esses mercados, historicamente, não são correlacionados com os mercados de títulos e ações. O direcionamento de investimento, principalmente por parte dos investidores especulativos, implicou na tendência de alta dos preços das *commodities*.

Além dos movimentos especulativos, o descompasso entre a oferta e a demanda das *commodities*, principalmente de petróleo e alimentos, fortaleceu ainda mais a pressão nos preços. O crescimento acelerado dos países em desenvolvimento, em particular a China, contribuiu para sustentar a expansão de consumo de petróleo e alimentos. Assim, ao mesmo tempo em que a alta dos preços de petróleo estimulava a produção e demanda de biocombustíveis, também implicava na diminuição da oferta de alimentos, ou pelo desvio da produção de alimentos para fabricação de álcool e de biodiesel, ou por elevar os custos da produção agrícola, devido ao aumento dos preços dos fertilizantes e do transporte.

No período definido na pesquisa, como pós- crise, soma-se aos impactos da crise do *subprime*, o agravamento das tensões geopolíticas do Oriente Médio, a crise de energia nuclear no Japão deflagrada pelo *tsunami*, o agravamento da situação fiscal da Europa e o arrefecimento da atividade econômica americana e da Zona do Euro. Assim, os últimos anos vêm se destacando como um período de grande instabilidade mundial.

Nesse sentido, pela Tabela 6, observou-se a redução da correlação no terceiro período comparada ao período de auge da crise. Porém, a redução não voltou aos níveis observados no período anterior a crise do *subprime*. O comportamento apontou a ocorrência de um aumento da interdependência dos mercados, no segundo momento. Adicionalmente, pelas variâncias condicionais, na Figura 18 têm-se os movimentos individuais das variáveis, segundo o modelo Diagonal BEKK, focando o período da crise do *subprime*.

Os gráficos da Figura 18 corroboraram a presença de interdependência entre as variáveis envolvidas. Observou-se que as oscilações da volatilidade do retorno do preço futuro do açúcar no ano de 2008 foram acompanhadas por

oscilações, no retorno do preço *spot* do açúcar. Após o período *subprime*, as correlações não se mantiveram no mesmo nível assistido antes da crise. O choque observado no *subprime* provocou maior interdependência entre os mercados. Dessa forma, a alteração no patamar de interdependência, fez com que futuros choques só sejam considerados contágios se as séries apresentarem níveis superiores aos assistidos no choque anterior. Aumentos de correlação equivalente ao observado no *subprime* se enquadram apenas como comportamento de estabilidade, ou seja, apenas obedeceriam determinada trajetória que já seria esperada pelo próprio processo gerador dos dados que descrevem tais mercados.

Figura 18 -Variância condicional das variáveis do Cenário II segundo modelo Diagonal BEKK

6 CONCLUSÃO

Esta dissertação buscou analisar evidências que pudessem ser indicativas de comportamentos de volatilidade *spillover* sobre o mercado de etanol brasileiro.

Estudos envolvendo análise de contágio entre mercados são importantes, dada a crescente interdependência entre as economias dos países. O crescente interesse dos países na condução de políticas energéticas, que busquem diminuir a dependência das fontes de origem fóssil e melhorar as condições de preservação do meio ambiente, levou a ampliação das alternativas de fontes energéticas com a utilização de commodities agrícolas como matéria prima. A produção de biocombustíveis se insere nesse contexto. Porém, ao mesmo tempo em que minimiza a dependência mundial ao petróleo, passou a gerar um relacionamento entre as commodities agrícolas e o setor de energia combustível.

Para analisar esse relacionamento, foram trabalhados dois cenários, o primeiro analisando se o mercado futuro de etanol brasileiro é passível de contágio e o segundo focou no mercado físico de etanol, através da alta correlação com o mercado físico de açúcar.

Como resultados obtidos, quando considerado o Cenário I, os choques ocorridos no milho e no etanol não foram advindos de choques sobre o WTI, não indicando comportamento de interdependência entre as variáveis consideradas. A não observação de contágio no Cenário I pode ter decorrido da limitação dos dados disponíveis, pela recente existência de contrato futuro de etanol brasileiro e baixa liquidez dos contratos negociados, o que incentiva análises futuras sobre comportamentos de volatilidade *spillover* sobre o mercado de etanol brasileiro.

Porém, quando trabalhado com séries de períodos mais longos, como ocorrido no Cenário II, os anos de 2008 a 2009 apontaram mudança no comportamento da variância condicional do WTI, e também, contagiosamente, no mercado futuro e físico do açúcar. Esse período foi marcado como auge da crise do *subprime*, que impactou fortemente no preço do petróleo WTI,

Diante das análises apresentadas, esta dissertação, apoiada por evidências empíricas, apontou a ocorrência de comportamentos de volatilidade *spillover* sobre o mercado de etanol brasileiro.

Assim, como observado no trabalho de Serra e Zilberman (2009) os resultados encontrados no Cenário II, através da modelagem do comportamento da

variância condicional e da correlação condicional ao longo do tempo, corroboram o comportamento esperado de contágio.

Concluindo, a pesquisa trouxe de forma inovadora, evidências que vêm somar ao grupo de trabalhos voltados para a análise de volatilidade *spillover* e agrega a gama de estudos uma análise em relação às *commodities* agrícolas e ao mercado de energia.

Estudar a interdependência envolvendo o mercado de etanol tornou-se relevante dado o grau de importância econômica que esse produto representa no mercado de energia combustível, em especial para o Brasil, que figura com segundo maior produtor mundial.

Dessa forma, estudos focados em análise de contágio de volatilidade contribuem para um melhor entendimento desses mecanismos, necessário para a mitigação do risco inerente aos mercados, possibilitando, inclusive, uma melhor definição de estruturas de hedge, como hedge dinâmico, importante instrumento nas operações de investimento em mercado futuro.

Demais economias e setores também são passíveis de análise de contágio de volatilidade o que torna relevante a continuidade de estudos no tema e a realização de novas pesquisas, dado que, com as instabilidades econômicas e a independência entre mercados os sujeitos a propagações de choques, que anteriormente em nada impactariam suas estruturas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2011. 158 p.

BABA, Y.; ENGLE, R.F.; KRAFT, D. F.; KRONER, F.K. **Multivariate Simultaneous Generalized ARCH**. San Diego: University of California, Department of Economics, 1991. 33 p. (Discussion Paper, 89-57R).

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2008. 316 p.

BERTELLI, L.G. **A verdadeira história do Próalcool**. Brasília, Biblioteca Digital do Senado Federal, 2005. Disponível em: <<http://www2.senado.gov.br/bdsf/item/id/60823>>. Acesso em: 28 mar. 2011.

BLACK, F. Studies of stock market volatility changes. In: MEETING OF THE BUSINESS AND ECONOMIC STATISTIC SECTION, 1976, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia: American Statistical Association, 1976. p. 177-181.

BLOOMBERG. **Séries de preços futuros**. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com>>. Acessos em: 10 jun. 2011 e 10 jan. 2012.

BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 31, n. 3, p. 307-327, Apr. 1986.

_____. Modelling the coherence in short-run nominal exchange rates: a multivariate generalized ARCH model. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 72, n. 3, p. 498-505, Aug. 1990.

BOLLERSLEV, T.; ENGLE, R.; WOOLDRIDGE, J.M. A capital asset pricing: model with time varying covariances. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 96, n. 1, p. 116-131, Feb. 1988.

BRASESCO. **Petróleo e derivados**. São Paulo: DEPEC, 2011. Disponível em: <<http://www.economiaemdia.com.br>>. Acesso em: 28 mar. 2011.

CHANG, C.; McALLER, M.; TANSUCHAT, R. Analyzing and forecasting volatility spillovers, asymmetries and hedging in major oil markets. **Energy Economics**, Amsterdam, v. 32, n. 6, p. 1445–1455, Nov. 2010.

CHIANG, T. C.; JEON, B. N.; LI, H. Dynamic correlation analysis of financial contagion: evidence from Asian markets. In: KOLB, R.W. **Financial contagion: the viral threat to the wealth of nations**. Hoboken: John Wiley, 2011. p. 103-114.

CHIB, S.; NARDAR, F.; SHEPHARD, N. Markov chain Monte Carlo methods for stochastic volatility models. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 108, n. 2, p. 281-316, June 2002.

CLARK, P.K. A subordinated stochastic process model with finite variance for speculative prices. **Econometrica**, Hoboken, v. 41, p. 135-155, 1973.

CORSETTI, G.; PERICOLI, M. E.; SBRACIA, M. Some contagion, some interdependence: more pitfalls in tests of financial contagion. **Journal of International Money and Finance**, New York, v. 24, n. 8, p. 1177-1199, Dec. 2005.

DORNBUSH, R.; PARK, Y. C.; CLAESSENS, S. Contagion: understanding how it spreads. **The World Bank Research Observer**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 177-197, Aug. 2000.

DOYLETECH CORPORATION. Total economic impact assessment of biofuels plants in Canada. In: THE CANADIAN RENEWABLE FUELS SUMMIT - CRFA 2010. Disponível em: <http://www.greenfuels.org/uploads/documents/01_doyletech_total.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2011.

DU, X.; HAYES, D.; YU, C. **Speculation and volatility spillover in the crude oil and agricultural commodity markets: a Bayesian analysis**. Iowa State University, Center for Agricultural and Rural Development, 2009. (Working Paper, 09-WP 491). Disponível em: <<http://www.card.iastate.edu>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

EARTH POLICY INSTITUTE. **World fuel ethanol production**. Washington, Data Center, 2011. Disponível em: < http://www.earth-policy.org/data_center/C26 >. Acesso em: 29 abr. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis**. Brasília, 2010. 25 p.

_____. **Plano decenal de expansão de energia 2020**. Brasília, 2011. 343 p.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International energy outlook: AEO-2011**. Washington, 2011. 292 p.

ENGLE, R.F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom. **Journal of the Econometric Society**, Oxford, v. 50, n. 4, p. 987-1007, July 1982.

ENGLE, R.F.; GRANGER, C.W.J. Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. **Econometrica**, Hoboken, v. 55, p. 251–276, 1987.

ENGLE, R.F.; KRONER, K.F. Multivariate simultaneous generalized ARCH. **Econometric Theory**, Cambridge, v. 11, n. 1, p. 122-150, Feb.1995.

FAMA, E.F. The behaviors of stock-market process. **The Journal of Business**, Chicago, v.38, n. 1, p. 34-105, Jan. 1965.

FLOOD, R.P.; GARBER, P.M. Collapsing exchange-rate regimes: some linear examples. **Journal of International Economics**, Amsterdam, v 17, n. 1/2, p. 1-13, Aug. 1984.

FORBES, K.J.; RIGOBON, R. Measuring contagion: conceptual and empirical issues. In: CLAESSENS, S.; FORBES, K.J. **International financial contagion**. Boston: Kluwer Academic Press, 2001. chap. 3, p. 43-66.

HAMMOUDEH, S.; JEON, B.; LI, H. Causality and volatility *spillovers* among petroleum prices of WTI, gasoline and heating oil in different locations. **North American Journal of Economics and Finance**, Philadelphia, v. 14, n. 1, p. 89–114, 2003.

HARRI, A., DARREN, H. Mean and variance dynamics between agricultural commodity prices and crude oil prices. In: **ECONOMICS OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES AND GLOBALIZATION: THE ROAD AHEAD MEETING**, 2009, Orlando.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2010**. Paris, 2010. 650 p.

_____. **Key world energy statistics 2011**. Paris, 2011. 80 p.

JACQUIER, E.; POLSON, N.; ROSSI, P. Bayesian analysis of stochastic volatility models with fat-tails and correlated errors. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 185-212, 2004.

KHANNA, M.; CHEN, X.; HUANG, H. Land use and greenhouse gas implications of biofuels: role of technology and policy. In: **2011 AAEA & NAREA JOINT ANNUAL**

MEETING, 2011, Pittsburgh, July 24-26, 2011. **Proceedings...** Pittsburgh: AAEA, 2011. p. 45.

KHANNA, M.; CHEN, X.; HUANG, H.; ÖNAL, H. Meeting the mandate for biofuels: implications for land use and food and fuel prices. In: AAEA, CAES, & WAEA JOINT ANNUAL MEETING, 2010, Denver, Colorado, July 25-27, 2010. **Proceedings...** Denver: AAEA, 2010. 39 p.

KLEIMEIER, S.; LEHNERT, T.; VERSCHOOR, W.F.C. Contagion or interdependence: does the speed of the transmission of shocks matter? In: KOLB, R.W. **Financial contagion: the viral threat to the wealth of nations**. Hoboken: John Wiley, 2011. p. 37-44.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p.223-253, 2010.

KRUGMAN, P.R. A model of balance of payment crises. **Journal of Money, Credit and Banking**, Hoboken, v. 11, n. 3, p. 311-325, Aug.1979.

LEE, T.K.; ZYREN, J. Volatility relationship between crude oil and petroleum products. **Atlantic Economic Journal**, New York, v. 35, n. 1, p. 97–112, Mar. 2007.

LI, H., WELLS, M.; YU, C.L. A Bayesian analysis of return dynamics with levy jumps. **Review of Financial Studies**, Oxford, v. 21, n. 5, p. 2345-2378, 2008.

MANDELBROT, B. B. The variation of certain speculative prices. **The Journal of Business**, Chicago, v. 36, p. 394-419, 1963.

_____. **Fractals and scaling in finance: discontinuity, concentration, risk**. New York: Springer-Verlag, 1997. 551 p.

MARÇAL, E.F.; VALLS PEREIRA, P.L. **Testando a hipótese de contágio a partir de modelos multivariados de volatilidade**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, Escola de Economia de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ocs/index.php/ebf/5EBF/paper/viewFile/1556/673>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

MASSON, P. **Contagion: monssonal effects, *spillovers* and jumps between multiple equilibria**. Washington: International Monetary Fund, 1998. 32 p. (Working Paper, WP/98/142).

McPHAIL, L.L.; BABCOCK, B.A. **Ethanol, mandates, and drought**: insights from a stochastic equilibrium model of the U.S. corn market. Ames: Iowa State University, Center for Agricultural and Rural Development, 2008. 24 p. (Working Paper, 08-WP 464).

MORETTIN, P.; TOLOI, C.M.C. **Análises de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 544 p.

NELSEN, Roger B. An Introduction to Copulas. **Lecture Notes in Statistics (Springer)**, New York, v. 139, 216 p.

OBSTFELD, M. Rational and self-fulfilling balance of payments crises. **American Economics Review**, Nashville, v. 76, p. 72-81, 1986.

PRITSKER, M. The channels for financial contagion. In: CLAESSENS, S.; FORBES, K.J. **International financial contagion**. Boston: Kluwer Academic Press, 2001. chap. 4, p. 67-97.

SERRA, T.; ZILBERMAN, D.; GIL, J. Price volatility in ethanol markets. In 2009 AAEA & ACCI JOINT ANNUAL MEETING, ANNUAL MEETING, AGRICULTURAL AND APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION, 2009, Milwaukee. **Proceedings...** Milwaukee: AAEA, 2009. 29 p.

SHEPHARD, N. **Stochastic volatility**: selected readings. Oxford: Oxford University Press, 2005. 525 p.

SIMS, C.A. Macroeconomics and reality. **Econometrica**, Hoboken, v. 48, n. 1, p. 1-48, Jan. 1980.

TABAK, B.M.; SOUZA, M.M. Testes de contágio entre sistemas bancários: a crise do subprime. **Relatório de Estabilidade Financeira**. Brasília: BACEN, v.8, n.2, p. 135-152, out. 2009. 160 p.

TAYLOR, S.J. Financial returns modelled by the product of two stochastic processes: a study of daily sugar prices - 1961-79. 1982. In: ANDERSON, O.D. **Time series analysis**: theory and practice. Oxford: Oxford University Press, 2005. v. 1, p. 203-226.

TYNER, W. E. The integration of energy and agricultural markets. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF AGRICULTURAL ECONOMISTS CONFERENCE, 27., 2009, Beijing. **Proceedings...** Beijing: IAAE, 2009. 14 p.

TRUJILLO-BARRERA, A.; MALLORY, M.; GARCIA, P. Volatility *spillovers* in the U.S. crude oil, corn, and ethanol markets. In: CONFERENCE ON APPLIED COMMODITY PRICE ANALYSIS, FORECASTING, AND MARKET RISK MANAGEMENT, 2011, St. Louis. **Proceedings...** St. Louis: NCCC-134, 2011. 20 p.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

WELCH, M.; MOHANTY, S.; PAN, S.; FADIGA, M.L. Spillover effects of the biofuel revolution on the U.S. cotton industry. In: BELTWISE COTTON CONFERENCES, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans: National Cotton Council of America, 2007. p. 786-795.

WOLF, H. International asset price and capital flow comovements during crisis: the role of contagion, demonstration effects, and fundamentals. In: CONFERENCE ON CAPITAL FLOWS, FINANCIAL CRISES, AND POLICIES, Apr, 15-16, 1999, Washington. **Proceedings...** Washington: World Bank/IMF/WTO, 1999. 26 p.

YU, T.H.; BESSLER D.A.; FULLER, S. Cointegration and causality analysis of world vegetable oil and crude oil prices. In: AAEA ANNUAL MEETING, 2006. Long Beach. **Proceedings...** Long Beach: AAEA, 2006. 22 p.

ZHANG, Z.; LOHR, L.; ESCALANTE, C.; WETZSTEIN, M. Ethanol, corn, and soybean price relations in a volatile vehicle-fuels market. **Energies**, Basel, v. 2, n. 2, p. 320–339, June 2009.