

**RODRIGO HERMONT OZON**

**UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS PREÇOS DO PETRÓLEO NO  
MERCADO INTERNACIONAL UTILIZANDO O MODELO GARCH-M**

**CURITIBA**

**2007**

**RODRIGO HERMONT OZON**

**UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS PREÇOS DO PETRÓLEO NO  
MERCADO INTERNACIONAL UTILIZANDO O MODELO GARCH-M**

**Monografia apresentada para a  
obtenção parcial do grau de Bacharel  
em Ciências Econômicas do curso de  
Ciências Econômicas, Setor de  
Ciências Sociais Aplicadas,  
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz  
Curado**

**CURITIBA**

**2007**

## TERMO DE APROVAÇÃO

RODRIGO HERMONT OZON

UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS PREÇOS DO PETRÓLEO NO  
MERCADO INTERNACIONAL UTILIZANDO O MODELO GARCH-M

**Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel no curso de Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:**

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz Curado  
Departamento de Economia, UFPR

Prof. \_\_\_\_\_  
Departamento de Economia, UFPR

Prof. \_\_\_\_\_  
Departamento de Economia, UFPR

Curitiba, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

*Á Deus, a minha família e a todos aqueles que acreditam no meu potencial.*

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço aos professores do curso de Estatística da Universidade dentre estes, a Joel da Rosa que teve paciência e habilidade em publicar no site do laboratório de estatística e georinformação meu projeto e a monografia.

A dedicação de professores foi uma influência muito forte para que eu escolhesse um tema ligado a análise econométrica e aponto neste sentido Flávio Ribeiro Gonçalves pelo estímulo e paciência nas nossas conversas pela Universidade.

Não poderia deixar de esclarecer meus agradecimentos á Compagas pelo incentivo e por me despertar o interesse pelas questões energéticas.

Sou grato ao José Felipe de Almeida pelas dicas e pelo incentivo. Ao professor Mariano pela inspiração e por fazer despertar em cada aula a curiosidade pelo conhecimento da Ciência Econômica num enfoque especial. Aos meus amigos alunos de graduação pelo apoio e por sempre me ajudarem nos momentos difíceis. Ao Nelson (*in memorium*) que em especial deixa muitas saudades.

Finalmente, esta monografia não teria sido possível sem a orientação, de Marcelo Curado a quem devo meu agradecimento especial.

*A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido  
origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode,  
Isto fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.  
Isaac Newton*

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vi
LISTA DE SIGLAS.....	vii
<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>02</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>05</b>
<b>1.1 A IMPORTÂNCIA DO PETRÓLEO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO.....</b>	<b>05</b>
<b>1.2 OS IMPACTOS MACROECONÔMICOS DAS ALTERAÇÕES NOS PREÇOS DO PETRÓLEO .....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Impactos sobre a inflação e ao consumidor final.....	12
1.2.2 Impacto sobre o crescimento e a atividade econômica.....	14
1.2.3 Preços do petróleo e taxas de câmbio.....	18
<b>2 A EVOLUÇÃO DAS TEORIAS DE EXPECTATIVAS DOS AGENTES ECONÔMICOS E O MERCADO DE PETRÓLEO.....</b>	<b>20</b>
2.1 AS EXPECTATIVAS ESTÁTICAS E AS EXPECTATIVAS ADAPTATIVAS.....	20
2.2 EFICIÊNCIA INFORMACIONAL DE MERCADO E A HIPÓTESE DOS MERCADOS EFICIENTES.....	22
2.3 A HIPÓTESE DAS EXPECTATIVAS RACIONAIS.....	24
<b>3 DADOS UTILIZADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
4.1 RESULTADOS DOS TESTES DE RAIZ UNITÁRIA E DO MODELO DE COINTEGRAÇÃO.....	33
4.2 RESULTADOS DOS TESTES DE AVALIAÇÃO DO MODELO DE COINTEGRAÇÃO DE LONGO PRAZO.....	37
4.3 RESULTADOS DOS MODELOS DA FAMÍLIA ARCH E DA ESTIMATIVA DA CURVA DE IMPACTO DE NOTÍCIAS DE ENGLE & NG.....	41
4.4 RESULTADOS DA MODELAGEM VAR.....	47
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>62</b>
4.1.1 A Modelagem de co-integração.....	62
4.2.1 Testes de avaliação do modelo de regressão.....	66
4.3.1 A Modelagem ARCH, GARCH, EGARCH E TARCH.....	68
4.3.2 A estimativa da Curva de Impacto de Notícias de ENGLE & NG.....	73
4.4.1 A modelagem VAR.....	75
<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELA	1 - Testes de raízes unitárias para os preços <i>spot</i> do WTI e Brent.....	33
TABELA	2 - Resultado do teste Engle-Granger para a hipótese de cointegração entre $\ln WTI_t$ e $\ln Brent_t$ de longo prazo.....	35
TABELA	3 - Resultado do teste de avaliação para a hipótese 3 de média populacional zero através da equação (16).....	38
TABELA	4 - Resultados da escolha da estrutura da defasagem pelos critérios de informação Akaike (AIC) e Schwartz (SC).....	48
TABELA	5 - Resultados do teste de Causalidade de Granger.....	48
TABELA	6 - Resultado do teste <i>JJ</i> .....	49
TABELA	7 - Resultado da Decomposição da Variância (%) para $\ln WTI_t$ .....	52
TABELA	8 - Resultado das projeções para os próximos 4 dias com o modelo VEC.....	53
FIGURA	1 - O petróleo como um fator-chave no processo de desenvolvimento econômico.....	10
FIGURA	2 - Os efeitos de um choque de oferta adverso no curto prazo.....	16
FIGURA	3 - Resultado do teste Jarque-Bera (Equação (17)) para os resíduos da regressão de longo prazo de $\ln WTI_t$ contra $\ln Brent_t$ .....	41
FIGURA	4 - Funções de Impulso-resposta.....	51
GRÁFICO	1 - Comportamento dos preços <i>spot</i> do petróleo (em $US\$/bbl$ ).....	28
GRÁFICO	2 - Comportamento dos preços <i>spot</i> do petróleo (em $US\$/bbl$ ) e os respectivos cortes temporais.....	30
GRÁFICO	3 - Resultado das estimativas das elasticidades de curto e longo prazo para $\ln WTI_t$ contra $\ln Brent_t$ .....	37
GRÁFICO	4 - Ajuste histórico pelo modelo GARCH (1,1) para os retornos dos preços do WTI e Brent e respectivas volatilidades.....	43
GRÁFICO	5 - Resultado da estimativa da Curva de Impacto de Notícias.....	47
GRÁFICO	6 - Curva de Impacto de Notícias de GRANGER & NG.....	74
GRÁFICO	7 - Resultados das estimativas dos modelos GARCH ( $p, q$ ) para o primeiro e segundo cortes temporais para os retornos dos preços do WTI e Brent.....	82
GRÁFICO	8 - Resultados das estimativas dos modelos GARCH ( $p, q$ ) para o terceiro e quarto corte temporal para os retornos dos preços do WTI e Brent.....	83
GRÁFICO	9 - Resultados das estimativas dos modelos GARCH ( $p, q$ ) para o quinto e sexto corte temporal para os retornos dos preços do WTI e Brent.....	84

## LISTA DE SIGLAS

ARCH	-	<i>Autoregressive Conditional Heterocedasticity</i>
ADF	-	Dickey-Fuller Aumentado
DF	-	Dickey-Fuller
DW	-	Durbin-Watson
DWRC	-	Durbin Watson para Regressão Co-integrante
EA	-	Expectativas Adaptativas
EG	-	Engle-Granger
EGARCH	-	<i>Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity</i>
EUA	-	Estados Unidos da América
GARCH	-	<i>Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity</i>
GL	-	Graus de Liberdade
HER	-	Hipótese das Expectativas Racionais
HME	-	Hipótese dos Mercados Eficientes
JJ	-	Johansen-Juselius
MCRL	-	Modelo Clássico de Regressão Linear Normal
MQO	-	Mínimos Quadrados Ordinários
OECD	-	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONU	-	Organização das Nações Unidas
OPEP	-	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PP	-	Phillips-Perron
RESET	-	<i>Regression Specification Error Test</i>
TARCH	-	<i>Thresold Autoregressive Conditional Heterocedasticity</i>
WTI	-	<i>West Texas Intermediate</i>
US\$/bbl	-	<i>Dolars per billion barrel liter</i>
VAR	-	Vetores Auto-regressivos
VEC	-	<i>Vector Error Correction</i>

## RESUMO

O objetivo da monografia é analisar o comportamento, a volatilidade e a dinâmica dos preços do petróleo com os modelos de co-integração, os modelos ARCH e de Vetores Auto-regressivos e as devidas relações de expectativas dos agentes envolvidos neste mercado frente a notícias boas e ruins no período compreendido entre 1986 e 2007. Em particular, o trabalho procura mostrar como a escalada de alta recente dos preços do petróleo não necessariamente gera maiores níveis de volatilidade desencadeando assim diferentes efeitos nas economias desenvolvidas, reforçando a hipótese de que seu preço não é simplesmente estabelecido de acordo com equilíbrio entre oferta e demanda. Sendo que o novo patamar de preços embute riscos, tanto macroeconômicos, como o impacto inflacionário e que as medidas necessárias para seu controle influenciam as expectativas dos agentes, afetando os investimentos e o próprio crescimento econômico, quanto uma possível substituição por uma matriz energética de combustível renovável futuramente.

Palavras-chave: Preços do petróleo, Volatilidade, Curva de Impacto de Notícias

## INTRODUÇÃO

Apesar de as crises de 1973 a 1979 mostrarem ao mundo as conseqüências de uma economia sustentada energeticamente por um combustível vulnerável a fortes volatilidades no preço, o petróleo continua sendo o energético mais consumido no mundo. Recentemente suas cotações vem atingindo patamares mais elevados do que os evidenciados historicamente e assistimos a uma persistente e renitente elevação de preços.

O comportamento dos preços do óleo como energia não-renovável, exerce impacto sobre os preços aos consumidores finais e níveis de inflação, crescimento econômico e nível de atividade, tanto para países importadores desenvolvidos ou em desenvolvimento que necessitam de sua utilização em insumos para funcionamento, produção e desenvolvimento de praticamente todas as atividades econômicas.

Neste sentido, as relações entre as flutuações dos preços do petróleo e a economia mundial, são de grande importância, tornando relevante a tentativa de definir as condições de contorno que ajudem a explicar a formação e oscilação do preço desse produto no mercado internacional e sua influencia na economia mundial.

Como o fluxo de informações influencia de maneira significativa a formação de preços do petróleo no mercado internacional, esta pode ser explicada pelas Teorias de Expectativas dos Agentes e pelos modelos da família ARCH com o intuito de captar a volatilidade inerente em certos pontos do tempo e por que por intermédio da Decomposição da Variância pode se estimar quanto tempo um dado choque nos preços de cada óleo leva para se ajustar a sua trajetória.

Hoje, os preços dos barris do tipo Brent e WTI são os mais avaliados pelos agentes, onde rumores, convulsões políticas, mudanças nas políticas monetária e fiscal do governo vem afetando o grau de volatilidade e a capacidade de previsão dos analistas de período a período desde meados de janeiro de 1999.

Algumas das principais questões que norteiam o estudo buscam responder quais são os principais fatores determinantes dos preços do petróleo no mercado internacional, quais as relações entre as boas e más notícias nos preços dos óleos; quais os efeitos de mudanças nas condições de oferta para a demanda insatisfeita de derivados de petróleo, em termos macroeconômicos; quais as principais

características do mercado petrolífero e quais as semelhanças ou diferenças entre o comportamento dos preços dos óleos e as teorias de expectativas dos agentes;

Uma vez que a análise oferta demanda é limitada para compreender o comportamento dos preços do petróleo, diversos estudos recentes apontam para esta direção quando SOUZA (2006, p.60) afirma que: “A formação do preço do petróleo é resultado da relação de forças existentes entre os agentes estruturalmente heterogêneos que pertencem a esta indústria, pois o petróleo não é uma *commoditie* convencional. Desta forma, seu preço não é simplesmente estabelecido de acordo com o equilíbrio entre oferta e demanda.”

Dentro do contexto de confiabilidade nos dados estatísticos, explica SOUZA (2006, p. 65) que:

“(...) quanto à demanda há uma grande demora na publicação de dados. (...) não se conhece a situação corrente do balanço da oferta e da demanda de petróleo. O que realmente move os mercados são as percepções que os *traders* tem de desbalanceamentos locais, bem como a forma como os segmentos comerciais das companhias as interpretam e como concebem serem interpretadas notícias que podem ter impacto nos preços”.

Outro ponto importante é a instabilidade política no Oriente Médio, tanto historicamente, quanto recentemente na influência da dinâmica deste mercado. Para SOUZA (2006) as questões de tensões políticas entre os Estados Unidos (doravante EUA) e Irã, a crescente demanda chinesa por derivados de petróleo, as mudanças nas estruturas de oferta e demanda, como por exemplo, a redução da produção por parte dos países árabes ou então os fatores climáticos rigorosos não previstos nos EUA, favorecem movimentos especulativos de curto prazo.

Como a maioria das pesquisas em relação aos preços do petróleo são de curto prazo, uma relação de simultaneidade gerada por um sistema de equações convencional provavelmente não alcançaria resultados satisfatórios. Nas palavras de SOUZA (2006, p.93) “(...) há uma ‘inelasticidade extrema’ da procura e oferta em relação ao preço do barril no curto prazo. (...) qualquer alteração na demanda (consumidores e importadores) ou na oferta (produtores e exportadores) mesmo que pequena, provoca sempre variações significativas nos preços. Daí a chamada volatilidade do preço do crude [sic]”

Esta volatilidade pode ser modelada através dos modelos ARCH, levando-se em consideração algumas hipóteses que podem indicar o grau de impacto dos choques nos preços do barril como os possíveis graus de impacto de notícias e

informações de maneira direta nos preços do petróleo e que a sua tomada de decisão em relação a uma determinada informação tem um período de memória, ou seja, de acordo com GLEISER (2002, p.221), “ela leva um tempo para ‘caducar’. Este tempo de espera é o que causa o viés do passeio ao acaso, fazendo com que o que aconteceu no passado ainda influencie o que vai acontecer no futuro.”;

Destaca GLEISER (2002, p.231) que: “Os agentes aprendem a reconhecer padrões que coletivamente estão criando e que por sua vez criam novos padrões para os preços (...), para o qual novos modelos de previsão são formados”. Ou seja, os agentes conhecem o modelo econômico e ajustam suas expectativas constantemente;

Outra hipótese para explicar o comportamento dos preços do petróleo é a de o mercado do petróleo é complexo e altamente volátil, onde os preços apresentam as características de comportamento GARCH, ou seja, períodos de alta volatilidade nos preços, são seguidos de períodos de calma.

Do ponto de vista estatístico existe a possível dependência as condições iniciais nas séries mesmo após a filtragem dos modelos de heterocedasticidade condicional e níveis críticos e pontos de imprevisibilidade em certos momentos;

Neste contexto, este trabalho objetiva analisar a evolução da volatilidade dos preços do petróleo influenciadas por boas e más notícias utilizando dados de séries temporais gerando movimentos especulativos em certos momentos e mudando o comportamento dos mercados e verificar o papel das expectativas dos agentes envolvidos. Para tanto a investigação ressalta uma discussão técnica baseada na teoria econômica, em medir os níveis de oscilação dos preços do petróleo, iniciando com uma análise estatística com dados diários desde janeiro de 1986, passando por uma avaliação do surgimento das notícias e de suas possíveis influências nos preços e nas expectativas dos agentes neste mercado por intermédio dos modelos de heterocedasticidade condicional para medir a volatilidade e sua capacidade preditiva e o respectivo comportamento da dinâmica dos preços através do modelo de vetores auto-regressivos.

O presente trabalho surge da necessidade de mostrar que o novo patamar de preços do petróleo e suas flutuações embutem riscos, tanto macroeconômicos, como o impacto inflacionário e que as medidas necessárias para seu controle deslocam as expectativas dos agentes, afetando os investimentos e o próprio crescimento

econômico, quanto uma possível substituição por uma matriz energética de combustível renovável futuramente.

## **1. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, serão destacadas a evolução do petróleo e sua relevância no processo de desenvolvimento econômico e nos indicadores macroeconômicos em economias desenvolvidas e subdesenvolvidas, passando pelas principais teorias de expectativas dos agentes envolvidos neste mercado.

### **1.1 A IMPORTÂNCIA DO PETRÓLEO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO**

Nesta seção serão descritos brevemente os principais fatores que afetaram os preços do petróleo no mercado internacional, a importância do uso deste energético, seus efeitos no meio ambiente e algumas das principais propostas alternativas ao seu uso.

Inicialmente, há de se destacar o conceito de energia, que nada mais é do que a capacidade de produzir trabalho; e que capital é constituído por trabalho acumulado. Se conseguir energia necessária para a sobrevivência é a atividade que tem precedência sobre qualquer outra, em qualquer ser vivente, com a evolução, as diversas formas de vida desenvolveram estratégias diversificadas para captar, armazenar e utilizar de forma mais eficaz a energia disponível, aumentando sua capacidade de sobreviver e de deixar descendência.(PORTO, 2006, p.4)

Porém a sobrevivência de qualquer espécie de vida num certo ambiente está subordinada á capacidade de suporte deste ambiente, que na definição de PORTO (2006, p.5): "(...) que é determinada por sua capacidade de fornecer energia suficiente para a sobrevivência de um certo número de indivíduos daquela espécie, por tempo indeterminado."

A espécie humana aprendeu a aumentar artificialmente a capacidade de suporte do ambiente em que vivia, mediante ações que minimizassem o gasto próprio de energia e maximizar seu ganho.

Na visão de PORTO (2006), esse processo de maximização se iniciou com o uso do fogo pelo homem, pelo plantio de ervas produtoras de grãos de alto valor

energético e depois pela domesticação de animais que propiciavam a obtenção de proteína a um custo energético infinitamente inferior ao da caçada.

Com a evolução da sociedade de colhedores-caçadores a agricultores-pastores, que conduziu a especialização e inovação sempre com o intuito de minimizar o consumo próprio de energia, gerou um aumento da população que em melhores condições de procriar tendiam a ultrapassar a capacidade de suporte de qualquer região.

No entanto, a manutenção de taxas de crescimento populacional, ainda que por mais baixas que sejam, ao longo de gerações, leva a resultados catastróficos e por isso são raras na natureza.

PORTO (2006), destaca que a capacidade de suporte do sistema é determinada pela quantidade existente do elemento não renovável, concentrado, que estimula o crescimento. Uma vez que ele dure, a população crescerá explosivamente e a sua redução para níveis muito inferiores aos existentes no momento da “ultrapassagem”<sup>1</sup> torna-se inevitável não apenas pela exaustão dos recursos que viabilizaram o crescimento mas porque a depredação do meio ambiente, qualquer que seja, causada pelo aumento populacional, leva a sua capacidade de sustento para níveis muito menores que os iniciais.

Em 1800, a humanidade enveredou-se pelo caminho do “aumento transitório da capacidade de suporte”, ou seja, procurava-se esgotar um elemento essencial não renovável que durará tanto quanto durarem as reservas deste elemento existente no meio ambiente acessível a população, pelo uso energia fóssil armazenada pelos restos de organismos pré-históricos.

Desde então a partir do século XVII na Inglaterra, com a invenção do coque, substituindo o carvão de lenha por carvão mineral, na fabricação do ferro e do aço, com a devastação das florestas e a crescente dependência do carvão mineral para o aquecimento da indústria, que viera a ser substituída pela máquina a vapor de James Watt.

A partir daí a civilização industrial foi se desenvolvendo na mesma proporção do aumento do consumo do carvão e, depois do petróleo e do gás natural.

Então ao longo dos séculos XIX e XX os excedentes de riqueza produzidos pela utilização das fontes fósseis de energia permitiram que as populações

---

<sup>1</sup>Momento pelo qual a população ultrapassa o número em que se poderia manter estabilizada dentro da capacidade de renovação natural dos elementos indispensáveis à sua preservação.

européias explorassem de forma eficaz seus impérios coloniais e exportassem seus modelos econômicos, tecnologias e instituições de forma tão completa e disseminada que no final do último século, resultou no processo de homogeneização econômica e cultural expressado pelo conceito de “aldeia global.”

Porém a consolidação deste modelo só se confirmara a partir das primeiras décadas de do século XX, quando os hidrocarbonetos derivados de petróleo e gás natural, impuseram-se como a mais importante fonte de energia na economia mundial.

Na concepção de PORTO (2006, p.15) “(...) a abundância da produção manteve sempre o custo de extração suficientemente baixo para financiar o desenvolvimento acelerado da economia global, de uma forma que, no breve espaço de tempo de 70 anos, multiplicou muitas vezes a capacidade de suporte do planeta.”

Neste sentido o desenvolvimento industrial e agrícola baseado neste modelo, permitiu a população mundial elevar-se, cerca de 6 gerações, do nível de 1 bilhão de habitantes em meados do século XIX, para cerca de 6,5 bilhões atuais, ao mesmo tempo em que as condições de vida e saúde indubitavelmente melhores que as anteriormente prevalecidas.

O mundo demanda luz e na esteira desta necessidade, floresceu a moderna indústria do petróleo. Conta VAITSMAN (2001, p.18) que a primeira perfuração que deu resultado significativo se deu na Pensilvânia quando o Cel. Edwin Drake, iniciara a exploração de petróleo para fins comerciais em 27 de agosto de 1859 vindo a produzir 20 barris/dia para uma profundidade de 20 metros.

O achado de Drake incentivou muitos aventureiros e efêmeras empresas de petróleo a disputarem os terrenos exploráveis de toda a região, de maneira insustentada, provocando assim, uma exaustão prematura dos poços.

Esta concorrência gerou uma enorme flutuação dos preços e produção do petróleo nenhuma sustentação ao negócio petrolífero. O preço do barril de petróleo caiu bruscamente de 1859 a 1862 o que ocasionara a substituição do óleo de carvão e outros iluminantes pelo petróleo. “Naquele momento, a indústria de petróleo era compatível ao nível de desenvolvimento tecnológico do mundo à época: os únicos campos explorados eram aqueles em terra e que fossem de mais fácil perfuração, via percussão a base de utensílios mecânicos rudimentares.” (SOUZA, 2006, p.9).

No final deste período, a indústria petrolífera se desenvolvera tecnologicamente de forma crucial, com a substituição de cavalos e carroças pela

ferrovia e oleodutos de madeira, a descoberta de novos métodos de perfuração com melhor controle da pressão do gás e diminuição dos prejuízos e pela importância do refino que veio a tona posteriormente em 1877, com a invenção da lâmpada incandescente de Thomas Edison.

O empresário americano John Rockefeller, dono da *Standard Oil Company*, (nome dado pela preocupação com a qualidade do produto) resolveu racionalmente os desafios de armazenar, transportar e transformar o petróleo e vender os seus derivados. Para reduzir custos introduziu novos processos técnicos que melhoraram a produtividade e a qualidade dos derivados, especialmente do querosene, carro chefe dos produtos da indústria nas suas primeiras décadas de evolução.

Em 1870 a sua empresa já exercia atividades monopolísticas no refino de petróleo, pela compra das demais refinarias e controle do transporte de derivados e entre 1880/90 esse controle se estendia para ao redor de 90% do transporte ferroviário e de oleodutos, 80% da capacidade de refino e 90% da rede de distribuição e venda de produtos; estes já invadiam Europa, Ásia, África do Sul e Austrália e, em 1900, 70% das atividades do truste de empresas comandado por Rockefeller se desenvolviam fora dos Estados Unidos.(VAITSMAN, 2001, p.22)

Nos EUA, o excesso de domínio político e econômico das grandes indústrias pressionou o governo a tomar algumas medidas de controle. Então em 1890, criou a chamada lei do *Sherman Act*, que promulgava a justiça social, as condições do trabalho e do trabalhador e de proteção ao consumidor.

Em 1911 a Suprema Corte Federal dos Estados Unidos determinou a divisão do monopólio em 33 empresas, entre as quais algumas evoluíram para se tornar as maiores sociedades da IMP: a *Standard Oil of New Jersey*, depois *Esso* e *Exxon*; a *Standard Oil of New York*, após *Mobil Oil*; a *Standard Oil of California*, após *Socal*, hoje *Chevron*. Nas palavras de SOUZA (2006, p. 12):

“Estava inaugurada a nova fase da indústria do petróleo, baseada na concorrência entre companhias grandes e integradas. Mudava também o padrão energético do período, tendo a gasolina superado as vendas de querosene em 1910, contribuída pelo surgimento do automóvel. No período situado entre 1920 e 1930, Rockefeller viu sua Standard Oil liderar o grupo que ficou conhecido no mundo como “as sete irmãs”: Exxon, Chevron, Mobil, Texaco, Gulf, British Petroleum e Shell”.

Deste período em diante a indústria do petróleo cresceu imensamente, com empresas européias crescendo neste mercado, passando pelo período da Primeira

Guerra Mundial (movida a petróleo marinha inglesa) e chega ao século XX com um novo panorama novas províncias petrolíferas, novas companhias, a rápida ascensão do automóvel e a difusão da eletricidade. A competição oligopolica crescia reforçando a pressão por novas descobertas de fontes de suprimento na América Latina, no Oriente Médio e na Ásia.

Após a Segunda Guerra Mundial, o consumo energético mundial, puxado pela reconstrução e modernização das economias europeia e japonesa, cresceu a uma velocidade sem precedentes. Além disso, em 1949, o consumo dos Estados Unidos excede a oferta doméstica de petróleo. Entre 1950 e 1973, a produção de eletricidade foi multiplicada por 6, a de petróleo por 5,4 e a de gás natural por 6,3. Tais transformações apoiam-se na importação maciça de petróleo e, mais tarde de gás natural, por parte dos países em industrialização e/ou reconstrução no pós-guerra.(SOUZA, 2006).

Com o desenvolvimento do transporte com veículos automotores, o petróleo substitui o carvão como principal fonte de energia das economias nacionais.

No período conhecido como o do choque do petróleo que de acordo com FURTADO (1999, p. 201-203) “as origens da primeira crise do petróleo se iniciaram com os efeitos desencadeados pelo acordo de *Bretton Woods* em 1944, ao criar o sistema de taxas fixas de câmbio e adotar o dólar americano como moeda de referência para a cotação das demais no mercado monetário internacional.”

Os desajustes do balanço de pagamentos norte-americano, obrigaram o seu governo a emitir papel-moeda em valor superior às reservas metálicas disponíveis.

Com a Guerra do Vietnã em 1965-73 e o aumento do déficit fiscal dos EUA, a situação se agravou ainda mais e a instabilidade real da moeda norte-americana refletiu-se no sistema monetário internacional juntamente com a alta dos índices de inflação dos países industrializados em 1968-69.

Para evitar uma maior evasão de suas reservas metálicas, o governo norte-americano decidiu converter o dólar em ouro apenas para os bancos centrais dos demais países liquidarem seus débitos em 1970 e em 1971, a conversão cessou inteiramente e o dólar viria a se desvalorizar quase 10%.

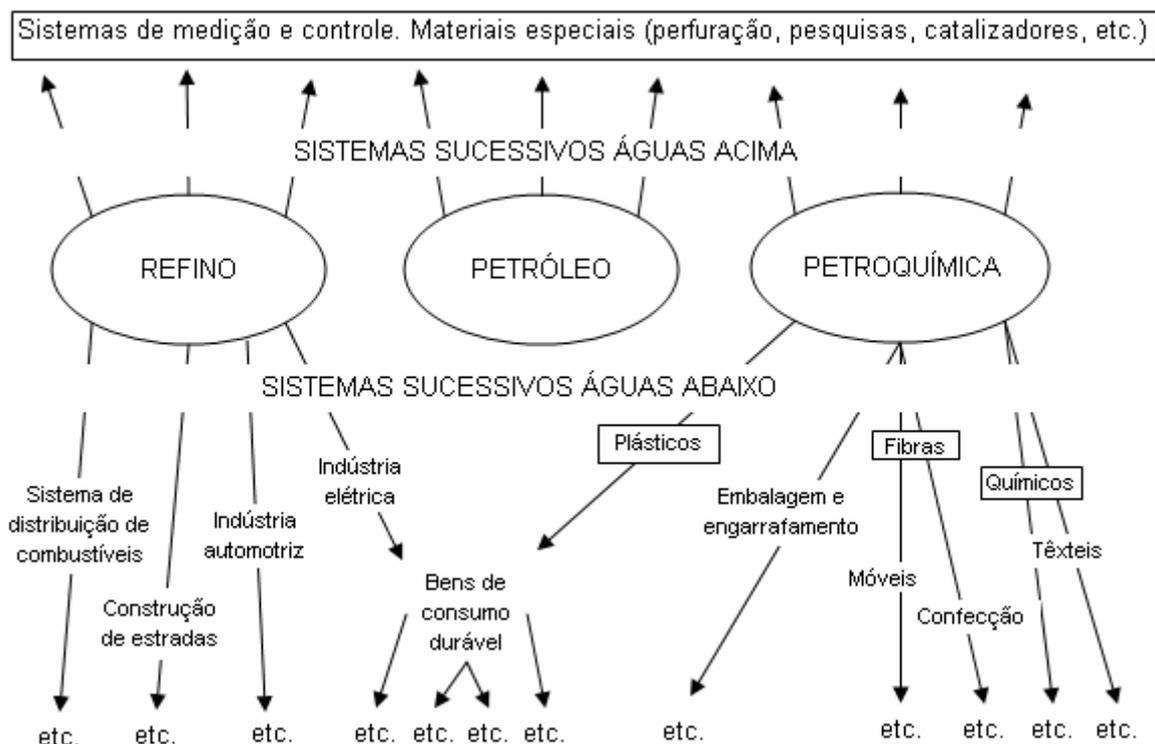
O petróleo que era considerado um fator-chave no processo de desenvolvimento da economia mundial, ou seja, fator com oferta abundante e preço decrescente, viera a chamar a atenção do mundo com o chamado “pico de Hubbert”,

nos anos 90, que se refere ao momento em que a produção mundial de petróleo atingirá o seu ponto máximo antes de começar a cair.

Como salienta PORTO (2006, p.30): “A visão hoje compartilhada por muitos especialistas independentes foi exposta por Kenneth S. Deffeyes, professor de geociências da Universidade de Princeton, que num meticoloso trabalho publicado em 2001, situou o ponto de inflexão da produção mundial de petróleo em algum momento entre os anos de 2004 e 2008.”

PÉREZ (2001, p.122) relaciona as revoluções tecnológicas e a interconexão dos sistemas, mostrando que as explosões de novas tecnologias, como a revolução da produção em série com seus sistemas sucessivos, que se consolidara desde 1910 se maturando em 1960 e 70, e a revolução da informática como um paradigma técnico econômico, que vem se difundindo cada vez mais é um processo multiplicador de inovações que formam o núcleo de cada revolução tecnológica, e explicam o enorme potencial de crescimento que tem cada uma destas constelações de novas tecnologias:

**FIGURA 1.** O petróleo como um fator-chave no processo de desenvolvimento econômico



**NOTA:** Adaptado pelo autor a partir de PÉREZ (2001, p. 122)

Neste sentido, o esquema proposto acima, leva a afirmar que o aumento recente nos preços do petróleo induzem a maiores investimentos nas economias por parte das petrolíferas em pesquisa e desenvolvimento para a descoberta de novas fontes do recurso natural.

Neste sentido na visão de PÈREZ (2001), de que o petróleo já foi um fator-chave da economia até o final do século passado, que alavancava a economia a um novo salto dentro do ciclo de Kondratieff, hoje só seria possível com os avanços tecnológicos oriundos de toda a contribuição de um novo fator-chave como a microeletrônica uma vez que esta abrange praticamente todas os segmentos produtivos. Dentro deste contexto TIGRE (1998) enfatiza que:

“Em termos econômicos, a revolução microeletrônica traz de volta o fantasma da "destruição criadora" de Schumpeter. Desde que foi esgotado o modelo do petróleo e energia barata, o mundo passa por um processo de crise estrutural, do qual só escapa poucos países como Japão que estão na vanguarda do processo de difusão das novas tecnologia e por isso se beneficiam de uma situação competitiva privilegiada.”

No entanto, no aspecto biológico, PORTO (2006, p.16) afirma que a nossa comprovada competência tecnológica seria capaz de nos livrar de anos terríveis de extermínio em escala global, argumentando que as projeções pessimistas de Robert Malthus de que o crescimento dos meios de subsistência seria excedido pelo crescimento populacional, já foram desmentidas varias vezes desde sua divulgação no século XIX, pelas menores taxas de crescimento demográfico, conseqüentes de melhores níveis de educação, quanto pelo desenvolvimento industrial e tecnológico que permitiu a descoberta e fabricação maciça de fertilizantes sintéticos, defensivos agrícolas, sementes híbridas e técnicas de manejo animal que permitiram enormes saltos na produção de alimentos, e as várias “revoluções verdes” que permitem manter países de grande população em seus níveis atuais de subsistência.

Hoje as pesquisas científicas se debruçam na busca de descoberta de novas fontes de energia e o que torna a era do petróleo realmente danoso é que não existe na verdade um substituto para ele. Neste sentido conclui PORTO (2006, p.116): “NENHUMA das possíveis alternativas tem condições de substituir o petróleo: nem os vastos depósitos de gás natural, nem a “gasolina sintética” tirada do carvão, ou os milhares de usinas termonucleares que seriam necessárias para carregar diretamente as baterias, ou produzir o hidrogênio para as “células de combustível”, destinadas a energizar as casas e as futuras frotas de carros elétricos.”

Portanto, essas afirmações possibilitam afirmar que o cenário futuro que se pode traçar motivado por uma escalada de preços do petróleo é o de uma estagflação, ou seja, recessão com inflação, piorando desta maneira os níveis gerais de renda, uma vez que os preços do petróleo causam a chamada inflação de custo pela seu encarecimento e sua oferta decrescente.

Vale mencionar ainda que para a Teoria Econômica, energia não pode ser produzida, somente consumida, no sentido de que ela não é uma mercadoria como outra qualquer, sempre incorrendo em perdas, da forma como se apresenta a natureza.

## **1.2 OS IMPACTOS MACROECONÔMICOS DAS ALTERAÇÕES NOS PREÇOS DO PETRÓLEO**

Os picos e quedas bruscas nos preços do petróleo são essencialmente inesperados e quando eles são sustentados, na maioria das vezes agravam-se em sérias conseqüências macroeconômicas para os países importadores e exportadores. As longas flutuações nos preços do petróleo exercem impactos significativos nos índices de inflação, crescimento econômico, apreciação das taxas de câmbio, balanço de pagamentos e no equilíbrio das taxas de juros.

Neste capítulo são abordados brevemente seus impactos frente aos cenários gerados pelas alterações nos preços do petróleo nas principais variáveis macroeconômicas.

### **1.2.1 Impactos sobre inflação e ao consumidor final**

De acordo com um estudo desenvolvido pelas Nações Unidas em 2005<sup>2</sup> a alta dos preços do petróleo afeta a economia em duas fases. Numa primeira fase, o preço imediato pago pela energia pressiona para cima o nível global de preços o que se traduz num maior custo de vida. Frente a um maior custo da energia, as empresas reduzem o seu uso, o que se traduz numa queda na produtividade do trabalho. Todavia a queda na produtividade não é necessariamente acompanhada

---

<sup>2</sup>Vide UNITED NATIONS, **The Exposure of African Governments to the volatility of international oil prices, and what to do about it.** In United Nations Conference on Trade and Development, Nova Iorque e Gênova, novembro de 2005.

pela queda nos salários reais e se torna uma consequência para que os empregadores optem por planos de redução de seus quadros de efetivos.

A flutuação dos preços do petróleo têm o efeito adicional de criar uma instabilidade na demanda, o que reprime os investimentos nos negócios desacelerando o crescimento de novas contratações.

Numa segunda fase o efeito é desencadeado quando a expectativa pública de preços de bens e serviços não relacionadas a elevação dos preços dos combustíveis afetem alguns dos principais indicadores de inflação que não incorporem os preços voláteis de energéticos e alimentos. Neste estágio as empresas se esforçam em se reerguem com mais baixos níveis de demanda e níveis mais elevados de custos na compra de energia, fazendo que as empresas limitem sua operação. O aumento acentuado e sustentado dos preços dos energéticos tem aumentado a capacidade ociosa. Como resultante, a economia como um todo evidencia uma queda no crescimento econômico e um ajustamento dos custos frente as mudanças nos papéis de produtores e consumidores de bens e serviços que ofertam ou demandam. Esta segunda fase, em geral, sintetiza-se nos efeitos da inflação ao consumidor final.

Neste sentido, SOUZA (2006, p. 127) afirma que os aumentos dos preços do petróleo afetam diretamente os preços ao consumidor, dado que seus derivados fazem parte da cesta de consumo das famílias e indiretamente via aumento dos preços ao produtor.

Destaca ainda que os movimentos nos preços do petróleo exercem um impacto significativo na inflação dos países da União Européia, onde num determinado mês, um choque nos preços poderá estar em parte relacionado com o período de repasse de preços.

Salienta-se que a evolução de preços de energéticos substitutos ao petróleo, como o gás natural, por exemplo, seguem a trajetória dos preços do petróleo, porém ainda com um período de atraso.

No tocante a influência dos juros, o autor ressalta que com uma política monetária orientada para manter a estabilidade de preços no médio prazo, haverá uma maior probabilidade de os trabalhadores aceitarem a redução no rendimento real e de as expectativas inflacionárias não serem afetadas pelo aumento temporário da inflação provocado pela alta dos preços do petróleo. Se as expectativas de inflação aumentarem, a política monetária ortodoxa fará subir as taxas de juros.

### 1.2.2 Impactos sobre o crescimento e atividade econômica

Um aumento dos preços do petróleo teria um impacto negativo na demanda da economia, uma vez que este seria capaz de deteriorar os termos de troca das economias importadoras líquidas de petróleo, redistribuindo os rendimentos nas economias importadoras líquidas de petróleo para as exportadoras líquidas de petróleo.

Assim, a queda da renda real nos países importadores de petróleo será traduzida numa maior demanda interna se esta não for compensada pela redução da poupança ou pelo aumento do endividamento.

Segundo SOUZA (2006, p. 133) além disso, se os parceiros comerciais de um país forem predominantemente importadores líquidos de petróleo, a queda da demanda interna será acompanhada por uma queda na demanda de exportações. No comércio internacional, a queda poderá ser negativa, se muitos países exportadores líquidos de petróleo, beneficiando de um choque petrolífero, tiverem uma menor propensão para o consumo do que os países importadores de petróleo, e provavelmente só ajustarem a respectiva demanda gradualmente.

Existe ainda o efeito da confiança, na qual um aumento dos preços do petróleo condiciona a uma piora do quadro de incerteza futura acerca das perspectivas econômicas em geral, podendo inibir os consumidores a fazerem grandes compras e das empresas de realizarem projetos de investimento.

No mercado financeiro, pela piora dos níveis de consumo e investimento e de uma maneira mais geral, pioram-se as condições de financiamento.

Contudo, como o petróleo é um importante fator de produção, uma explicação plausível é que a influência de um choque nos seus preços afete a economia real no lado da oferta, gerando aumentos nos custos de produção uma vez que sua substituição no curto prazo se mostra limitada.

Assim, como um resultado do aumento dos custos oriundos do petróleo mais caro, poderá haver uma redução no nível do produto e retração na demanda do fator trabalho.

Para PORTO (2006, p.80) o caso do petróleo se enquadra num mecanismo keynesiano na qual a liquidez existente aumenta a demanda por produtos industriais e agrícolas fornecidos pelos países subdesenvolvidos, ao mesmo tempo em que são oferecidos os meios necessários ao aumento da produção. “Nesse contexto,

enquanto puder sustentar-se, a expansão da economia em países como o Brasil, Rússia, Índia e China, provoca no mercado global um crescimento geral da demanda por bens e serviços que estimula o consumo de mais petróleo. (...) o aumento dos preços do petróleo provoca aumento e não diminuição da demanda.” Fazendo com que neste caso a elasticidade de preços funcione de maneira inversa ao esperado.

De uma maneira clara, dentro da visão de DORNBUSCH e FISCHER (1991, p.573-576), que relatam os dois maiores choques de oferta, impulsionados pelos aumentos dos preços do petróleo em 1973-1974 e 1979-1980 por parte da OPEP que quadruplicou o preço real<sup>3</sup> no primeiro período, e que ajudou a puxar a economia para uma recessão, (a pior desde o período pós-Segunda Guerra Mundial); e no segundo período o aumento dobrou o preço do petróleo e acelerou bruscamente a taxa de inflação, a qual levava muitos países a utilizar uma política monetária de aperto como forma de contenção o que agravou ainda mais a recessão.

Este segundo choque deixou o preço do petróleo tão alto o que levou alguns produtores da OPEP a excederem suas cotas de produção, e muitos novos produtores a entrarem no mercado. Durante década de 80 e no seu final, o preço real do petróleo estava quase no mesmo nível do final de 1973, seguido posteriormente de um declínio que é visto como um choque favorável do preço do petróleo.

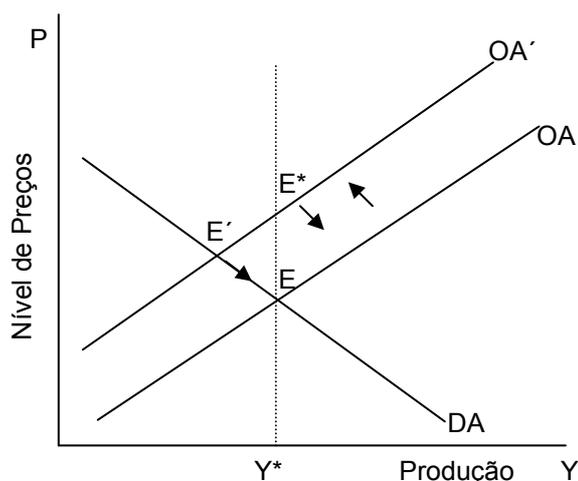
Os autores sintetizam as relações que ligam os níveis de salários aos preços através da seguinte equação:

$$P = \frac{1+z}{A} \cdot W + \Theta P_m \quad \text{Equação (1)}$$

Mostrando assim que para os dados salários ( $W$ ), margens de lucro e a produtividade marginal do trabalho, um aumento no preço real das matérias-primas aumentará os preços simplesmente porque ele aumentará os custos.

Desta maneira, o impacto de uma variação nos preços das matérias-primas (petróleo), desloca a curva de oferta agregada para cada nível de produção, refletindo um aumento em  $P_m$  da equação (1), ilustrado pela figura abaixo:

<sup>3</sup> DORNBUSCH e FISCHER (1991, p.574) definem o preço real do petróleo como o preço mundial do petróleo bruto deflacionado pelo deflator do PNB americano e expresso como um índice, com o primeiro trimestre de 1981- o nível mais alto alcançado ao longo do período- como 100.

**FIGURA 2.** Os efeitos de um choque de oferta adverso no curto prazo

**NOTA:** Adaptado pelo autor a partir de DORNBUSCH e FISCHER, (1991, p. 578)

O efeito imediato é o de aumentar o nível de preços e reduzir o nível de produção, provocando preços mais altos e produção mais baixa, pelo deslocamento da curva OA para cima porque cada unidade de produção agora custa mais para as firmas produzirem, assumindo-se que o choque de oferta não afete o nível de produção potencial que permanece em  $Y^{*4}$ .

Depois do choque ter atingido a economia, a economia se move do ponto  $E'$  para E, onde o desemprego força os salários neste ponto, e portanto, o nível de preços para baixo e o processo de ajuste é lento porque os salários demoram para se ajustarem.

O ajuste se daria ao longo da curva DA, com os salários caindo até E ser alcançado, no qual a economia estaria em pleno emprego com o mesmo nível de preços anterior ao choque. Porém o salário nominal é mais baixo do que era antes do choque, porque o desemprego ao mesmo tempo forçou o salário para baixo, fazendo com que da mesma maneira os salários reais também sejam menores do que antes do choque.

Os autores relatam que com o choque de 1973, os formuladores de políticas econômicas não sabiam o que poderia ser feito, uma vez que o conceito de choque de oferta era um fenômeno novo. Somente com a alta das taxas de desemprego no

<sup>4</sup> Neste exemplo, ainda mesmo que os autores reforcem a idéia salientando que o aumento do preço do petróleo nos anos 70 deslocou a curva OA para cima reduzindo o nível de produto potencial porque as firmas reduziram seu uso de petróleo e não podiam usar o capital tão eficientemente quanto antes.

final de 1974, tanto as políticas monetária e fiscal se mostraram estimuladoras no final de 1975-1976, ajudando assim a economia a recuperar-se da recessão mais rapidamente.

Na figura 3 acima, os autores destacam que nem sempre se respondem a choques de oferta com políticas estimuladoras, pois se o governo americano na época do choque do petróleo estivesse aumentado a demanda agregada o suficiente, a economia poderia ter se movido para  $E^*$ , ao invés de  $E'$ . Assim, os preços teriam aumentado na mesma extensão do deslocamento para cima da curva de oferta agregada, os salários nominais teriam permanecido fixos, e a economia teria se estabilizado no pleno emprego e o salário real teria ficado mais baixo de qualquer forma.

Por intermédio das políticas acomodativas (fiscal e monetária) que deslocariam a curva DA para cima, motivadas pelo distúrbio, necessitariam de uma queda no salário real; a política é ajustada para tornar possível ou acomodar esta queda no salário real ao salário nominal existente.

Durante o período compreendido entre 1973 a 1975 as políticas acomodativas não foram utilizadas pelo fato da presença de defasagem entre o impacto inflacionário de um choque de oferta e seus efeitos recessivos, assim, quanto mais acomodação houver, maior será o impacto inflacionário do choque e menor o impacto do desemprego, sendo a combinação de políticas uma resultante de uma situação intermediária com inflação (bastante) e algum desemprego.

Na concepção dos autores, parece que o declínio dos preços do petróleo em 1986, tenha ajudado a aumentar e manter o rápido crescimento de inflação baixa nas economias industrializadas nos dois anos posteriores. “A combinação de crescimento maior e baixa inflação é no mínimo em parte resultado do declínio dos preços do petróleo em 1986.”

Na visão de SOUZA (2006, p. 129) ainda que “o impacto sobre a taxa de inflação resultante do efeito direto seja de duração relativamente curta, o impacto do efeito indireto é mais prolongado devido à sua transmissão mais lenta e gradual”. Parece claro que um choque adverso de oferta motivado pelo aumento inesperado e insustentado dos preços do petróleo gere estagflação uma vez que retrai a curva de oferta agregada da economia e eleva os níveis de preços.

### 1.2.3 Preços do petróleo e taxas de câmbio

Diversos estudos macroeconômicos comprovam a relação entre os preços reais do petróleo e as taxas de câmbio, como em MCGUIRK (1983) e YOSHIKAWA (1990), porém nem sempre consideram a quantidade de moeda.

As combinações de queda do preço do petróleo e queda dólar no mercado internacional, reduzem os lucros das companhias petrolíferas tanto para as localizadas nos países exportadores como importadores.

O inverso desta combinação diminuiu as receitas do governo com o setor de combustíveis dificultando assim o processo de ajuste fiscal, como no caso brasileiro em 1999<sup>5</sup>, além de gerar prejuízos as empresas do ramo. (SOUZA e VERSIANI, 1999).

Já a combinação de desvalorização cambial com alta dos preços do petróleo e derivados tendem a provocar um aumento das expectativas de inflação.

De acordo com o estudo desenvolvido pela ONU (2005, p.18), os países exportadores de petróleo vivenciam um grande fluxo de renda quando os preços dos óleos disparam, mas com medidas inapropriadas para conter o afluxo súbito de divisas, podem exercer efeitos nefastos sobre a taxa de câmbio nominal; - ou seja, o preço da moeda doméstica em termos da moeda estrangeira. Os petrodólares auferidos e oriundos das negociações de óleo cru podem ser utilizados para financiar os países importadores, convertidos em moeda local, ou simplesmente colocar em uma conta poupança. Se caso se decidir gastar moeda estrangeira em importações, a oferta ou demanda de moeda do país por bens produzidos domesticamente não será afetada. De outro modo, o país poderá optar por converter a moeda estrangeira em moeda local e gastar nos bens domésticos não negociados. Neste caso, a escolha do Banco Central do país em flutuar a moeda (o que é mais comum nos livres mercados que são regidos pelas leis de oferta e demanda) ou em moeda fixa (a qual é a taxa de câmbio oficial determinada pelo governo) irá determinar em ultima instância o que acontecerá com a taxa de câmbio nominal.

No entanto, as taxas de câmbio reais que são mais afetadas pelas oscilações dos preços do petróleo nas diversas economias, como é mencionado no relatório da ONU (2005,p.18), que:

---

<sup>5</sup> SOUZA,V. e VERSIANI, I. **Petróleo e dólar complicam ajuste fiscal**, in Folha de São Paulo, 16 de setembro de 1999.

*“Oil-exporting countries experience a large flow of income when oil prices soar, but inappropriate measures to deal with the sudden inflow of foreign exchange can have harmful consequences on the nominal exchange rate – that is, the price of the domestic currency in terms of a key foreign currency. The petrodollars earned from a crude oil trade could be used to finance countries' imports, converted into local currency or simply put in a savings account. If it is decided to spend foreign exchange entirely on imports, the country's money supply or demand for domestically produced goods is not affected. Alternatively, the country may decide to convert foreign currency into local currency and spending on domestic non-traded goods. In that case, the choice of the country's central bank to float the currency (which is set in free markets by the laws of supply and demand) or fix the currency (that is the rate set by Governments as the official exchange rate) will ultimately determine what will happen to the nominal exchange rate.”*

Quando os preços do petróleo caem, a apreciada taxa de câmbio se torna sobrevalorizada. Ou seja, existe a possibilidade de uma perda de mercado para os exportadores não-petrolíferos, como agricultura, manufaturas e outros setores se esta real sobrevalorização for corrigida pela subsequente depreciação. Além disso, os ajustamentos em relação a taxa de câmbio real se tornam improváveis de gerar bons resultados. O efeito das grandes flutuações dos preços do petróleo transmitidas à taxa de câmbio real, como foi explicado por ONU (2005, p.18) *apud* Devlin e Lewin (2004), "que resultam em grande prêmios de risco nos setores não-petrolíferos e, assim, diminuem os investimentos nesses setores. Isso pode causar um declínio nos indicadores de produtividade, resultando na redução das taxas de crescimento ou estagnação no setor não-petrolífero."

Finalizando a análise o estudo da ONU (2005) aponta ao que se refere aos importadores de petróleo, como aumento das despesas com a importação de petróleo resulta em um aumento da oferta em moeda local, enfraquecendo assim a moeda em relação à moeda estrangeira. A moeda enfraquecida irá aumentar a carga de pagamentos e levar a balança de pagamentos problemas, bem como a uma redução das importações e outras despesas. Quando os produtos petrolíferos são fortemente subsidiados, os efeitos sobre o orçamento tornam-se mais visíveis, levando a um aumento do déficit orçamentário e de um agravamento do déficit no balanço de pagamentos. Insustentáveis déficits orçamentários conduzem a fuga de capitais uma vez que o setor privado passa a desconfiar de um aumento de impostos e da inflação.

## 2 EVOLUÇÃO DAS TEORIAS DE EXPECTATIVAS NO MERCADO DE PETRÓLEO

O objetivo central desta seção é o de descrever a evolução das principais teorias econômicas de expectativas e o de descrever alguns dos principais estudos empíricos feitos com as mesmas no mercado de petróleo.

### 2.1 AS EXPECTATIVAS ESTÁTICAS E AS EXPECTATIVAS ADAPTATIVAS

Considerando-se que o futuro da economia é sempre uma incógnita, razão pela qual famílias e empresas necessitam formular expectativas quanto ao futuro para tomar a maioria das suas decisões intertemporais, precisam, na realidade fazer avaliações complexas de diversos acontecimentos.

O conceito de expectativa na ciência econômica veio à tona com Keynes para designar a incerteza em relação ao futuro.

O exemplo clássico citado por DORNBUSCH e FISCHER (1991), em Keynes se dá quando um indivíduo deseja fazer um investimento que dependerá das taxas de juros e das expectativas. Se as expectativas forem boas (otimistas) ele provavelmente investirá.

Para Keynes o futuro da economia é algo completamente e radicalmente incerto e as decisões de investimento por parte dos agentes se dão pelo seu *animal spirit* (instinto animal) pelo mesmo.

As expectativas são importantes para a teoria da preferência pela liquidez. A demanda de dinheiro para satisfazer o motivo especulativo depende das expectativas sobre as mudanças da taxa corrente de juros. Se, por exemplo, a taxa corrente é baixa e os preços das ações são altos, é de esperar que os preços das ações caiam. Diante dessa perspectiva, as pessoas preferirão ter dinheiro a ações, porque seu custo de manutenção é baixo e, dessa forma, evitarão perdas de capital, se caírem — como se espera — os preços das ações.

No entanto, este exemplo simples foi se aperfeiçoando para mais próximo da realidade econômica contemporânea e o papel das expectativas mencionadas por Keynes foram se tornando cada vez mais relevantes na Ciência Econômica.

Neste contexto, nas palavras de SACHS & LARRAIN (1998, p.43-44):

“Nos últimos anos tem havido muito debate entre economistas e psicólogos com relação às maneiras pelas quais os agentes econômicos realmente formulam suas expectativas, e como os macroeconomistas deveriam supor que o fazem nos modelos teóricos. Alguns economistas acham que as pessoas usam ‘regras’ simples para formular suas expectativas; outros que elas usam processos complicados para decidir quais são suas expectativas para o futuro.”

Uma *regra* simples é considerar que o próximo período (ou ano) fosse igual ao atual, assim denominada de expectativas estáticas, ou seja, supõe-se que:

$$Y_{t+1}^e = Y \quad \text{Equação (2)}$$

Uma formulação simples foi inicialmente introduzida por Milton Friedman, que supôs o mecanismo de expectativas adaptativas (doravante EA). Segundo esta perspectiva, as pessoas atualizam as expectativas com relação ao futuro, dependendo da concretização ou não das expectativas no período anterior.

Supondo que  $Y^e$  signifique a expectativa de  $Y$  neste período que se manteve conforme o previsto. Assim,  $(Y - Y^e)$  representa o erro de previsão do período anterior. Neste mecanismo de expectativas adaptativas,  $Y_{t+1}^e$  é formulada neste período atualizando as expectativas  $Y^e$  em uma fração  $\gamma$  de erro previsto, ou seja:

$$Y_{t+1}^e = Y^e + \gamma(Y - Y^e) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde  $0 < \gamma < 1$ . Se reescrevermos esta equação vemos que o valor de  $Y$  no próximo período será a média ponderada da previsão do período anterior e o valor real de  $Y$  no presente. Então:

$$Y_{t+1}^e = (1 - \gamma)Y^e + \gamma Y \quad \text{Equação (4)}$$

Quando  $\gamma = 0$ , as expectativas ficam inalteradas de período para período, ou seja  $Y_{t+1}^e = Y^e$  e quando  $\gamma = 1$  as expectativas são estáticas pois  $Y_{t+1}^e = Y$ .

Em favor da hipótese da EA, GUJARATI (2000, p.604) reforça:

“Ela fornece meios razoavelmente simples de modelar expectativas na teoria econômica enquanto postula um modo de comportamento sobre a

parte dos agentes econômicos que parece eminentemente sensata. A crença de que as pessoas aprendem com a experiência é, obviamente, um ponto de partida mais sensato do que a hipótese implícita de que elas são completamente destituídas de memória, o que é característico da tese das expectativas estáticas. Além disso, a afirmação de que as experiências mais distantes exercem um efeito menor que uma experiência mais recente estaria de acordo com o bom senso e pareceria ser amplamente confirmada pela simples observação.”

Porém, com os desenvolvimentos teóricos e o passar dos anos muitos economistas argumentaram que estes eram mecanismos muito crus e que as pessoas deveriam utilizar métodos mais sofisticados para formar expectativas, uma vez que decisões importantes são postas em jogo, como decisões de investimentos de empresas e famílias em geral.

## **2.2 EFICIÊNCIA INFORMACIONAL DE MERCADO E A HIPÓTESE DOS MERCADOS EFICIENTES**

O conceito de eficiência informacional de mercado foi inicialmente introduzido na obra de BACHELIER (1900), com o desenvolvimento de um modelo estocástico, para analisar os preços dos ativos. Descobriu que os mesmos seguem um passeio ao acaso ou um movimento aleatório. Décadas mais tarde, em especial nos anos 60, com o surgimento de diversos trabalhos empíricos e com a introdução dos modelos estocásticos na econometria, este conceito voltou a fazer parte da agenda de estudo das ciências econômicas.

A definição original de eficiência informacional é dada por FAMA (1970), onde a completa incorporação das informações estariam dispostas no sistema de preços.

Para ROSS (1987), a identificação de mercados eficientes é mais prática por identificar a ausência de arbitragem.

De acordo com a definição de CARVALHO *et. alli.* (2000, p.388): “Pela hipótese dos mercados eficientes, o mercado de capitais é eficiente quando todas as informações disponíveis para a tomada de decisão são veiculadas pelos preços dos ativos.”

Na concepção de ROSS (1987), a eficiência de mercado é resultado da negociação, orientada por análises subjetivas de informações e viabilizada pela

mobilidade do capital. Para ele, o preço é exógeno para o investidor e serve como um direcionador para a alocação ótima de recursos onde o mercado será um reflexo das tomadas de decisões dos agentes econômicos que reconhecem que o preço do ativo reproduz toda a informação disponível e de que (consequentemente) sua rentabilidade seja clara o tempo todo.

Com a capacidade de migração do capital, ele sempre buscará a melhor oportunidade de investimento, favorecendo assim investidores e especuladores de utilizarem esta mobilidade de seus ativos para obterem ganhos de arbitragem. Assim, o arbitrador atuaria sem riscos, quando há discrepâncias nos preços do mesmo produto entre mercados.

Neste sentido, a HME (doravante Hipótese dos Mercados Eficientes) considera que as abordagens da Análise Fundamental e Análise Técnica são de pouca valia para a previsão dos futuros movimentos dos preços dos ativos financeiros, uma vez que se baseiam em dados do passado, cujas flutuações foram aleatórias. Esta visão considera que existem inúmeros participantes num mercado eficiente, que competem livremente e em igualdade de condições de mercado explicado pelos preços (cotações) e que todos tem acesso as informações que são capazes de afetar os preços.

Logo, na medida em que novas informações surgem aleatoriamente, seus reflexos nos preços fazem com que os mesmos se comportem aleatoriamente. A crítica principal dos adeptos da Análise Técnica e da Análise Fundamental é a de que as cotações das ações nas Bolsas de Valores são as melhores estimativas de seu valor real, devido ao altamente eficiente sistema do mecanismo de preços (flutuações) inerente ao mercado de ações nas Bolsas de Valores<sup>6</sup>.

No mercado acionário, a ausência de oportunidades de arbitragem pode ser vista como ausência de oportunidade de ganhos anormais sistemáticos. No entanto, os ganhos no mercado de ações são obtidos, essencialmente por movimentos especulativos, pois a atuação neste mercado é intermediada pela análise subjetiva de informações; portanto inerentemente arriscada e especulativa, e o risco envolvido nas negociações de ações envolvem o uso das informações não permite o uso do termo arbitragem, uma vez que este não envolve a questão do risco nas transações.

---

<sup>6</sup> Esta hipótese estende-se também às taxas de câmbio: neste caso, a hipótese é que as taxas a termo (futuro) são a melhor aproximação do que serão as taxas *spot* no futuro.

Para GLEISER (2002, p.212-213) a HME é limitada pois “reduz o agente ao *homo economicus*: decisor racional que busca defender seus interesses, utilizando-se de sua capacidade ilimitada de cálculo e de plena informação.” Ou seja, pressupõe que todos tem capacidade ilimitada de cálculo e o mesmo acesso as notícias, como se fossem investidores homogêneos.

### 2.3 A HIPÓTESE DAS EXPECTATIVAS RACIONAIS

Com os aperfeiçoamentos das teorias de expectativas, MUTH (1961) formulou a Hipótese das Expectativas Racionais (a HME é uma adequação á área de finanças) na qual sugeria que quando os agentes formam expectativas, eles o fazem utilizando uma distribuição subjetiva de probabilidades que desejam prever, que deveria coincidir com a distribuição objetiva de probabilidades que efetivamente rege o comportamento daquela variável (CARVALHO *et. alli*, 2000, p.216) .

Esta idéia fora difundida posteriormente por Robert Lucas e Thomas Sargent, formalizando o conteúdo informacional através da suposição de que os agentes econômicos individuais usam informações relevantes e disponíveis correntes ao formar suas expectativas, e não dependem puramente da experiência passada como nas expectativas adaptativas. Ou seja, ela postula que “as expectativas são racionais uma vez que incorporam eficientemente todas as informações disponíveis ao tempo em que a expectativa é formulada e não apenas as informações do passado”<sup>25</sup>. (GUJARATI, 2000, p.604)

Um agente racional não comete o mesmo erro sistematicamente, porém isso, possibilita afirmar que: “A totalidade da situação do mercado continua a ser desconhecida em sua complexidade, mas os participantes obedientes á sua natureza racional, constroem o que eles acreditam ser o mais provável cenário futuro.”(GLEISER, 2002, p.155). O que não significa que os participantes do mercado consigam fazer previsões acuradas e gastar dinheiro solidamente, mas implica que as expectativas dos participantes, como um todo que irão prever com uma maior eficácia os cenários futuros, uma vez que estas expectativas quando se consolidam em atos determinarão o comportamento do mercado.

No entanto, a HER, se subdivide em três principais versões:

- Na forma fraca os agentes usam toda a informação relevante pra formar suas expectativas, onde todas as informações estão contidas nos preços históricos;
- Na forma semi-forte o agente maximiza sua informação, se valendo de toda a informação pública relevante para estimar sua projeção sobre o futuro.
- Na forma forte a expectativa subjetiva dos agentes econômicos acerca de uma variável coincidirá com a esperança matemática condicional da variável, ou seja, com sua verdadeira probabilidade.

Formalmente a discussão sobre expectativas racionais pode ser formalizada como: (GLEISER, 2002, p.259)

$$P_t^e = E(P_t / I_{t-1}) \quad \text{Equação (5)}$$

Onde a sentença  $P_t^e$  representa o retorno esperado do ativo no tempo  $t$  a  $t + 1$  e do lado direito da expressão representa-se o retorno esperado da ação condicional a informação disponível para os agentes econômicos no período  $t - 1$ .

CURADO (2006, p.61) mostra que a HER requer que a previsão feita pelo modelo seja consistente com a evolução da variável prevista, condicionada a informação avaliável no momento  $t$ . Assumindo-se que o retorno no tempo  $t$  seja =1, então:

$$P_{t+1} = P_{t+1,r}^* + \varepsilon_{t+1} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:  $\varepsilon_{t+1}$  é uma variável totalmente aleatória, com média zero, em geral um ruído branco<sup>7</sup>.

A equação (5) “afirma que a diferença entre o preço em  $t + 1$  e a sua previsão é igual a uma variável aleatória. Como por hipótese, na média  $\varepsilon_{t+1}$  é zero, então pode-se afirmar que na média a previsão do modelo e a evolução da variável são iguais. Isso significa que a utilização da HER resulta na impossibilidade de os agentes econômicos cometerem erros sistemáticos sobre a evolução futura de uma

<sup>7</sup> Além da media zero, uma variável aleatória do tipo ruído branco deve ter média zero e variância constante (homocedástica), ou seja, ter covariância nula entre os resíduos.

variável. O erro pode ocorrer pontualmente, mas na média os agentes acertam no alvo”.(CURADO, 2006, p.61)

Vale ressaltar que nesta modelagem a variância é tida como constante. Ela mensura a magnitude dos erros (choques exógenos). Assim, quanto menor a variância, mais concentrados da média zero serão os erros e quanto maior a magnitude dos choques maior a variância. Destaca-se nesta situação o emprego dos modelos GARCH, quando identificada a heterocedasticidade nas séries.

Uma vez que  $\varepsilon_{t+1}$  da equação (5) é um elemento imprevisível (seja de conjuntura externa, seja de rumores políticos), seu valor só é conhecido no período  $t$  em que se faz observação da variável de interesse (ou seja, seus valores se tornam efetivos). Portanto, não está contido nas informações disponíveis (com ou sem custo de obter informação) no período  $t - 1$  quando da estimação. Como não há padrão discernível em relação aos choques (erros) inesperados, a HER fornecerá a expectativa mais precisa e confiável possível sobre o valor da variável de interesse.

Se houver padrão nos choques, o agente aprende o processo que rege esses choques e o estima racionalmente, como numa regressão do tipo:

$$P_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 X_{t-1} + \alpha_3 Z_{t-1} + E_{t-1}(\varepsilon_t) \quad \text{Equação (7)}$$

Observa-se que ainda assim, a projeção poderá incorrer em erro, pois há um termo de erro estocástico, representado pelo termo  $E_{t-1}(\varepsilon_t)$

As expectativas no mercado de petróleo foram modeladas por PRAT e UCTUM (2001)<sup>8</sup> utilizando a HER e todos os outros modelos de expectativas, com a metodologia de pergunta para 180 especialistas e analistas de mercado de aproximadamente 30 países para estimar os valores futuros de uma larga escala de variáveis econômicas e os preços do petróleo WTI, com um horizonte de cobertura de 3 a 12 meses á frente.

Um resultado central encontrado é a de que as expectativas possam ser viesadas, porém são economicamente racionais. Também mostraram que o processo de agregação ótimo das expectativas, conduzem a uma mistura dos

---

<sup>8</sup> Serão somente descritos os resultados obtidos, sem entrar em todos os detalhes expostos pelos autores. Para tal finalidade, vide PRAT, G., UCTUM, R. **Modeling price expectations in the oil market: evidence from survey data**. CNRS/University of Paris-X Nanterre, França, abril de 2001.

processos (mecanismos), que puderam ser interpretados como um resultado das misturas de expectativas individuais ou um efeito de heterogeneidade do grupo.

Usando dados de um chamado “Consenso de Projeção” acharam que não somente a HER pode ser rejeitada – se é suposto que isto é usado para direcionar a opinião dos especialistas ou somente um grupo deles – porém, nenhum dos fundamentos macroeconômicos foram significantes.

Não obstante, a formação das expectativas parece ser caracterizada por um empirismo complementar dentre processos adaptativos, regressivos e extrapolativos para ambos os horizontes, i.e. um modelo *mix* de expectativas. Interessante é que as projeções acertaram na média para os três meses posteriores e concluíram que uma importante propriedade desta modelagem é a de as expectativas exercem uma certa estabilidade nas estratégias no mercado de petróleo. Em linhas gerais, para os autores, a mistura de comportamento parece explicar a razão pela qual a processos básicos são inadequados para descrever as expectativas e por que a HER não é validada pelos dados.

### 3 DADOS UTILIZADOS

A série temporal para a análise segue a periodicidade diária para os preços *spot*<sup>9</sup> do Brent, negociado na Bolsa de Londres e WTI<sup>10</sup> (West Texas Intermediate) que é negociado na Bolsa Mercantil de Nova Iorque, com período de cobertura de 02 de janeiro de 1986 até 02 de outubro de 2007, disponíveis em EIA (2007). totalizando 5591 observações, período este conhecido como início do contra-choque.

Como explica CAVALCANTE (2007), a precificação de referencia para o petróleo se deu com os *benchmarks*, ou seja, um padrão de referencia a partir do qual o preço de uma determinada *commoditie* é obtida.

O gráfico a seguir demonstra o comportamento dos preços do petróleo em dólares norte-americanos por barril, cobrindo o período proposto para análise.

---

<sup>9</sup> “O termo *spot* provém do inglês e significa a vista, ou seja, é usada a série *spot*. pois se acredita numa maior volatilidade dos preços do que no mercado futuro ou estrutura a termo” (DIAS, 2005).

<sup>10</sup> Brent era o nome de uma antiga plataforma de petróleo (Brent Spar) da Shell no Mar Norte.

**GRÁFICO 1** – Comportamento dos preços *spot* do petróleo (em US\$/bbl)

**FONTE :** EIA (2007)

Para o caso de petróleo, os primeiros *benchmarks* surgiram no final da década de 70 e início dos anos 80 do século XX, como resultado do rápido crescimento do mercado spot para este produto. Antes da predominância do mercado spot, os preços eram determinados com base em contratos de longo prazo entre compradores e vendedores (em sua maioria, países da OPEP) através das empresas estatais de petróleo dos países produtores. (*Benchmark* não-oficial: Árabe Leve) O crescimento da produção não-OPEP a partir do final dos anos de 1970 (Reino Unido, México e Egito), o processo de nacionalização das *majors*, e o maior número de agentes operando no mercado internacional favoreceu a expansão do spot e a reformulação do mercado de contratos de longo prazo (que se tornaria o atual mercado a termo ou forward).

O autor salienta que, atualmente estima-se que o mercado spot seja responsável por cerca de 35-40% das vendas físicas de petróleo no mundo, sendo o restante (60%) comercializado no mercado a termo (forward).

Justifica-se o uso destes dois principais óleos como referência na análise uma vez que o WTI funciona como um referenciador para as operações de compra venda para o mercado americano e o Golfo do México. É considerado o petróleo de referência com mercado mais transparente, sendo o principal óleo negociado na Bolsa de Mercadorias de New York (NYMEX) por meio de um contrato futuro para

petróleo leve com baixo teor de enxofre que possui opção de entrega do produto, que ocorre em Cushing, Oklahoma, EUA. Pode ser considerado um rival do Brent BFO no papel de benchmark dependendo do mercado para o qual se olha (Canadá, EUA e US Gulf).

“Neste sentido, considera-se o WTI mais uma referência para o mercado de bolsa que para o mercado físico, funcionando atualmente como um leading financial benchmark para os mercados futuros e de swaps. O WTI, por ser um petróleo negociado com base em um contrato futuro, está mais sujeito a fatores psicológicos, financeiros e técnicos, enquanto o Brent depende mais dos fundamentos de mercado (oferta e demanda). Estas características tornam estes benchmarks mais complementares que competitivos entre si”. (CAVALCANTE, 2007)

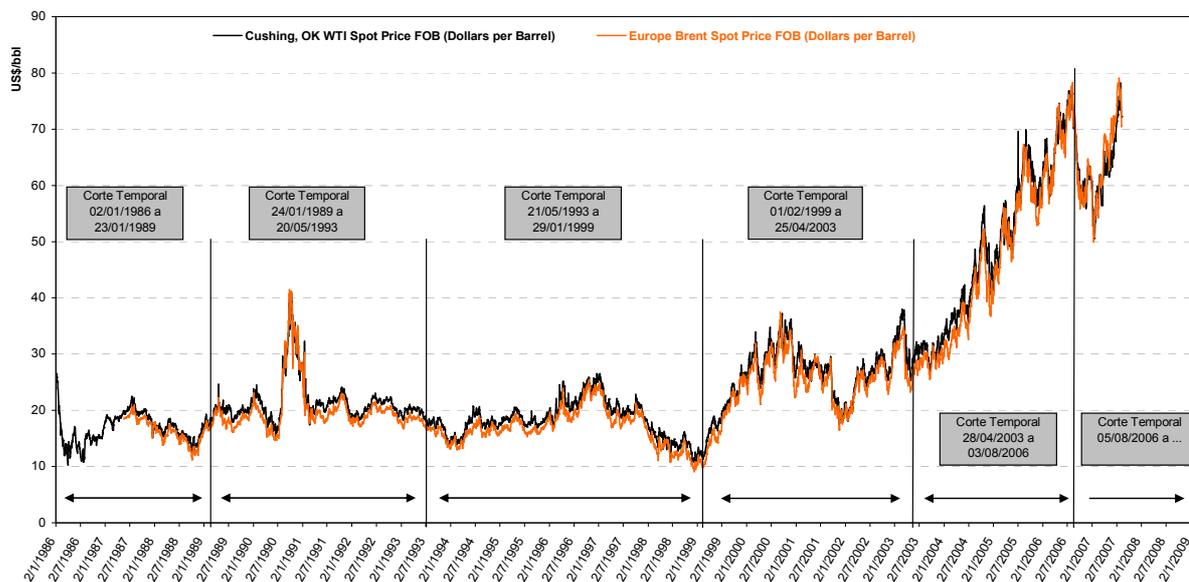
Já a denominação Brent *blend* é dada a partir do terminal de Sullom Voe, na Escócia, sendo o principal benchmark para as operações realizadas na Bacia do Atlântico e é referência por cerca de 2/3 do mercado internacional de petróleo, conforme mencionado pelo autor supracitado acima.

Desta forma, o autor mostra que os parâmetros principais para a precificação de um petróleo são os seguintes: Oferta vs. Demanda do petróleo X + oferta vs. Demanda de mercado via benchmark + °API + Teor de enxofre %. Assim, dado o preço (em US\$/bbl) determinado no mercado do petróleo de referência, o preço de um certo petróleo X é obtido a partir do preço do benchmark aplicando-se um fator (fórmula) de ajustamento. Este fator é periodicamente ajustado de forma a refletir melhor o mercado para o petróleo X.

A fórmula, por sua vez, está sujeita a revisões com relação a sua composição, bem como ao(s) indicador(es) de referência (petróleo, e eventualmente, derivados) que entram na mesma.

Com o intuito de se identificar alguns fatores de turbulência nos preços motivada pelas informações vigentes, foram adotados 6 cortes temporais conforme ilustra o gráfico 2 e os principais eventos relacionados aos preços dos óleos a seguir:

**GRÁFICO 2** – Comportamento dos preços *spot* do petróleo (em US\$/bbl) e os respectivos cortes temporais.



**NOTA:** Representação adaptada pelo autor a partir dos dados obtidos em EIA (2007)

- Primeiro corte – de 02/01/1986 a 23/01/1989. (780 observações): Conforme disposto em EIA (2007), neste período configuraram-se o largo uso de preços fixos e fórmula de preços, a falha no encontro entre países da OPEP e não-OPEP e o desperdício de 11 milhões de galões de óleo cru pela Exxon Valdez;
- Segundo corte – de 24/01/1989 a 20/05/1993. (853 observações): Este período foi marcado pelos aumentos do “teto” da produção para 19.5 milhões de b/d por parte da OPEP, pela invasão do Iraque ao Kuwait marcada principalmente pela “Operação Tempestade no Deserto”, onde 17,3 milhões de barris foram concedidos a venda. Dentre os eventos políticos, ressaltam-se o fim da guerra do Golfo Pérsico e a dissolução da União Soviética e o último fogo nas reservas de petróleo são extinguidos em 06 de novembro de 1999. Também destacam-se as ameaças de sanções da ONU em encontros com a Líbia, e a declaração de que a Arábia Saudita concordaria com a manutenção de elevações de preços pela OPEP, onde sua produção alcançaria 255.3 milhões b/d. o maior excesso de oferta da década. Com isso, o Kuwait alavanca sua produção para 560.000 b/d em desafio a cota estipulada pela OPEP;

- Terceiro corte – de 21/05/1983 a 29/01/1999). (1464 observações): No início deste período ocorreu uma queda brusca da temperatura nos EUA e na Europa. Os EUA lançam mísseis ao navio iraquiano, do sul do Iraque que seguia em direção ao refúgio de curdos no norte do país.  
Sob a Resolução 986 do Conselho de Segurança das Nações Unidas o Iraque começa a exportar petróleo.  
A tensão aumenta quando o Iraque se recusa a permitir a entrada de inspetores das Nações Unidas nas suas reservas do leste, elevando os preços. E finalmente, a OPEP eleva sua produção para o teto de 2.5 milhões de barris/dia para 27,5 milhões, sendo este o primeiro aumento significativo em quatro anos.
- Quarto corte – de 01/02/1999 a 25/04/2003. (1089 observações): JUNIOR, LOOTY e FERNANDES (2006) avaliam o período coberto pelos anos de 2001 e 2003, marcados pela relativa estabilidade do preço do petróleo, sendo mantido dentro dos patamares estabelecidos pela OPEP. Para os autores, ainda as perspectivas de uma guerra dos EUA contra o Iraque e a queda do dólar americano se caracterizaram no final de 2002 e 2003 respectivamente.  
De acordo com EIA (2007), o tripé de insuficiência para atender a forte demanda mundial, os cortes da produção pela OPEP e outros fatores, incluindo condições climáticas e os baixos níveis de estoques de petróleo e os ataques de 11 de setembro marcaram novamente instabilidades nos preços.  
Conforme o instituto, ainda destacaram-se as ações estratégicas do lado da demanda, com a autorização do presidente Clinton nos EUA a liberação de 30 milhões de barris da chamada “Reserva Estratégica de Petróleo” por 30 dias para apoiar fornecedores em particular de óleo de calefação.  
Os preços voltam a cair devido ao desbalanceamento pelo excesso de oferta frente a demanda desaquecida e pela baixa produção da OPEP.
- Quinto corte – de 28/04/2003 a 03/08/2006. (848 observações): Nesses três anos e quatro meses o cenário foi marcado por uma forte desvalorização da moeda americana, a instabilidade da guerra no Iraque e do crescimento sustentado da demanda, das importações dos países Não-OPEP e das condições de oferta do petróleo. As atenções se voltaram para o lado da oferta; nas palavras de JUNIOR, LOOTY e FERNANDES (2006):

A China tornou-se o segundo maior importador de petróleo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. O crescimento do consumo, nos últimos anos - conduzido pelo aumento das demandas chinesa e americana - junto à recuperação econômica mundial, aumentou o medo de falta de abastecimento e tem contribuído para a manutenção de patamares elevados do preço do petróleo. No caso da oferta, as atenções se concentraram nos planos de investimento, na capacidade de produção e nas questões políticas dos principais países exportadores.

Ainda neste período, em meados de 2005, os elevados patamares de preços, acima de US\$/bbl 55,00 persistiram com tendência de alta, invertendo para baixo da linha de expectativa dos agentes no final do ano impulsionados pela baixa demanda norte-americana por óleo de calefação.

- Sexto corte – de 05/08/2006 a 02/10/2007: Recentemente, no primeiro semestre de 2007, os possíveis fatores desencadeadores de incerteza nos preços foram atribuídos ao Irã. Os EUA em relação ao beneficiamento de energia nuclear e a guerra diplomática da Inglaterra em relação a captura de marinheiros britânicos em junho e os tremores de terra e furacões perto das reservas de petróleo e refinarias norte-americanas em agosto e na região da Ásia em setembro, podem ser destacados como um dos principais fatores de elevação nos preços.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES<sup>11</sup>**

Em termos sintéticos, este capítulo mostra os principais resultados da análise econométrica necessária para se compreender as relações de longo prazo entre os preços do petróleo negociados nos Estados Unidos, (WTI) em função dos preços praticados na Europa (Brent).

Posteriormente esta relação é testada a luz dos pressupostos das 11 hipóteses estabelecidas no Modelo de Regressão Linear Normal e em seguida as séries de preços são avaliados através dos desempenhos dos modelos de volatilidade com impactos simétricos, GARCH e EGARCH e de efeito assimétrico TARARCH, para ambas as séries temporais individualmente, historicamente e dentro dos 6 cortes temporais propostos acima, relacionado as respectivas volatilidades estimadas aos principais eventos e notícias econômicas vigentes. Em seguida são

---

<sup>11</sup> Todos os resultados foram obtidos com o software Eviews 4.1

estimadas as Curvas de Impacto de Notícias que mensuram os efeitos de surgimento de boas e más notícias diretamente nos preços, desde janeiro de 1986.

Finalmente, estima-se um modelo de Vetores auto-regressivos e de Correção de Erros com o objetivo de obter uma melhor compreensão da dinâmica dos preços em função de seu passado, das respectivas volatilidades geradas pelos modelos GARCH anteriormente e roda-se o modelo de simulação de melhor desempenho avaliado através dos critérios de seleção de *Theil U* e seus respectivos coeficientes de desigualdades  $U^M$ ,  $U^S$  e  $U^C$ , para computar uma projeção futura “ $n$  passos á frente”.

Os respectivos procedimentos metodológicos para os modelos propostos encontram-se no apêndice deste trabalho, no qual são descritos exaustivamente as etapas, os pressupostos e os passos que são feitos para encontrar os resultados mencionados a seguir.

#### 4.1 RESULTADOS DOS TESTES DE RAIZ UNITÁRIA E DO MODELO DE COINTEGRAÇÃO

A partir dos resultados obtidos com a metodologia adotada para a série histórica parte-se dos resultados gerais para os particulares nos diversos cortes temporais selecionados.

A etapa inicial dos procedimentos metodológicos para atingir alguns dos principais objetivos específicos parte da análise de cointegração verificando a hipótese da presença de raízes unitárias nas séries estudadas por intermédio das equações 10, 11 e 12 disponíveis no apêndice deste trabalho.

A tabela a seguir demonstra os resultados dos testes de raiz unitária para detectar a hipótese do passeio aleatório.

**TABELA 1.** Testes de raízes unitárias para os preços *spot* do WTI e Brent

Testes de raiz unitária de 02/01/1986 a 27/09/2007 para $\ln WTI_t$			
Teste	DF	ADF	PP
Série em nível: Estatística $\tau$ ( <i>tau</i> )	-1,72834	-3,211932	-2,894095
Série em 1ª diferença: Estatística $\tau$ ( <i>tau</i> )	-66,70929	-76,07376	-76,88632
Valores críticos			
	1%	-3,48000	-3,95968
	5%	-2,89000	-3,41061
	10%	-2,57000	-3,12708

Testes de raiz unitária de 02/01/1986 a 27/09/2007 para $\ln \text{Brent}_t$			
Teste	DF	ADF	PP
Série em nível: Estatística $\tau$ ( $\tau$ )	-1,866929	-2,351996	-2,372084
Série em 1ª diferença: Estatística $\tau$ ( $\tau$ )	-66,04412	-69,829226	-69,79608
Valores críticos			
	1%	-3,48000	-3,95979
	5%	-2,89000	-3,41066
	10%	-2,57000	-3,12711

**Fonte:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

**\*Nota:** Todos os testes incluíram tendência e intercepto

De acordo com os resultados gerados pelos testes DF, ADF e PP, ambas as séries de preços *spot* do WTI e Brent em logaritmos não se mostraram estacionárias em nível, apresentando assim raiz unitária, sugerindo que a influência dos (*logs*) preços no presente são explicados pelos (*logs*) dos preços no passado e que as observações do passado fornecem algum poder de previsão acerca dos preços no futuro. No entanto, somente na sua primeira diferença apresentaram estacionariedade, ou seja, as séries originais são integradas de ordem 1 (I(1)), mostrando que a sua transformação que é equivalente a transformação para série de retornos de preços,  $r_t = \left( \frac{\ln P_t}{\ln P_{t-1}} \right)$  mostrará que os preços de hoje é o melhor estimador do preço de amanhã, porém sujeito a um erro aleatório e decorrente do surgimento de novas informações não previsíveis.

Embora tanto  $\ln \text{WTI}_t$  quanto  $\ln \text{Brent}_t$  estejam tendendo para cima de forma estocástica, elas parecem estar tendendo ao mesmo tempo dentro de um processo de caminho aleatório, com uma relativa sincronia. Através da estimativa da equação de longo prazo (Equação (13)) encontram-se os seguintes resultados:

$$\widehat{\ln \text{WTI}_t} = 0,232538 + 0,946917 \ln \text{Brent}_t$$

$$t = (65,72) \quad (854,27)$$

$$R^2 = 99,871 \quad d = 0,31476$$

A equação mostra que cerca de 99% das variações nos preços do Brent explicam as variações em WTI e o coeficiente de elasticidade apresenta o sinal

esperado para o Brent (relação positiva), indicando que para cada variação de 1% nos preços do WTI, o Brent tende a variar em torno de 0,95%.

Através da combinação linear das duas variáveis, pode-se mostrar que as séries são estacionárias e evitar o problema correlato de regressão espúria, não-estacionariedade e tendência estocástica. Desta forma, roda-se o teste Durbin-Watson para a regressão co-integrante e teste de Engle Granger de raiz unitária para os resíduos estimados da equação de regressão de longo prazo (13).

O teste DWRC rejeita a hipótese de co-integração em todos os níveis de significância, uma vez que  $d$  se mostrou menor que todos os valores críticos tabulados.

Em contraste, através do teste de EG verifica-se que o resíduo da equação de longo prazo (13) se mostra estacionário em nível, uma vez que o valor absoluto da estatística  $\tau$  ( $tau$ ) é maior do que os valores críticos tabulados. A tabela a seguir resume o resultado do teste EG para  $\hat{\mu}$ :

**TABELA 2.** Resultado do teste Engle-Granger para a hipótese de cointegração entre  $\ln WTI_t$  e  $\ln Brent_t$  de longo prazo

Testes de raiz unitária para o resíduo da regressão de LP $\ln WTI_t$ contra $\ln Brent_t$		
Teste	DF	ADF
Série em nível: Estatística $\tau$ ( $tau$ )	-21,49882	-21,65902
Série em 1ª diferença: Estatística $\tau$ ( $tau$ )	-79,33611	-100,2713
Valores críticos		
	1%	-2,14597
	5%	-3,48000
	10%	-2,89000

**Fonte:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

**\*Nota:** Os testes incluem tendência e intercepto

Os testes DF e ADF para o teste EG se mostram altamente significativos, evidenciando desta forma que apesar de  $\ln WTI_t$  e  $\ln Brent_t$  serem não-estacionárias, as mesmas são co-integradas. Neste trabalho serão considerados os resultados obtidos pelo teste EG para fins práticos de análise, pois conforme destaca GUJARATI (2000, p.732): "A valiosa contribuição dos conceitos de raiz unitária, co-

*integração, etc, é nos obrigar a verificar se os resíduos da regressão são estacionários.”*

O autor ainda faz referência à polêmica que gira em torno do debate em relação a superioridade de DWRC sobre DF citando o livro organizado por Engle-Granger, no qual discute o poder das duas estatísticas, ou seja a probabilidade de não se cometer um erro do Tipo II, ou seja, aceitar uma hipótese nula quando ela é falsa.

Vale destacar que o valor da razão  $t$  de  $\ln \text{Brent}_t$  é altamente significativo, validando desta maneira a relação de equilíbrio de longo prazo entre as duas séries de preço.

Logo, ainda que haja equilíbrio de longo prazo, no curto prazo, podem ocorrer desequilíbrios e o erro de (13) pode ser usado para ligar o comportamento de  $\ln \text{WTI}_t$  de curto prazo com seu valor a longo prazo, como um “erro equilibrador” (Gujarati, 2000 p.734). O Mecanismo de Correção de Erros corrige quanto ao desequilíbrio, gerando desta maneira as respectivas elasticidades de ajuste e a velocidade da captura ao ajustamento de longo prazo.

Por meio da estimativa da equação (15) de curto prazo, foram obtidos os seguintes resultados:

$$\Delta \ln \widehat{\text{WTI}}_t = 9,41 + 0,647242 \Delta \ln \text{Brent}_t - 0,127494 \mu_{t-1}$$

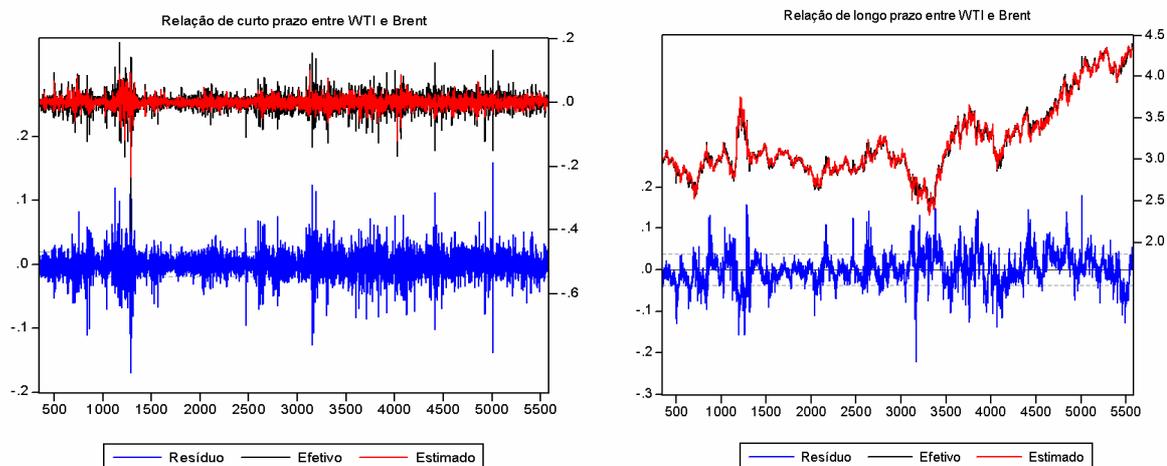
$$t = (0,354) \quad (55,34761) \quad (-17,92270) \quad p\text{-valor } 0,0000$$

$$R^2 = 0,375081 \quad d = 2,367561 \quad \text{Verossimilhança log} = 9739,545$$

Mostrando que alterações a curto prazo nos preços do Brent têm efeitos positivos significativos nos preços do WTI e que cerca de 13% da discrepância entre o valor efetivo e o valor de longo prazo, ou equilíbrio dos preços do WTI, é eliminada ou corrigida a cada dia de negociação. A elasticidade de longo prazo obtida em (13) é cerca de 0,95% para os preços do Brent confirmando a relação de longo prazo entre as duas séries de preços e que os preços WTI se ajustam a sua trajetória de crescimento a longo prazo com razoável rapidez após uma perturbação.

O gráfico a seguir ilustra os valores estimados e efetivos e os resíduos das regressões de curto e longo prazo:

**GRÁFICO 3.** Resultado das estimativas das elasticidades de curto e longo prazo para  $\ln WTI_t$  contra  $\ln Brent_t$  :



**FONTE:** Resultado desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

Logo, utilizando-se os retornos logarítmicos das séries de preços, obtém-se uma relação semelhante para a estimativa de curto prazo e ainda torna-se possível a visualização através dos resíduos para ambas as equações estimadas dos padrões de volatilidade das relações propostas.

## 4.2 RESULTADOS DOS TESTES DE AVALIAÇÃO DO MODELO DE COINTEGRAÇÃO DE LONGO PRAZO

Avaliando os resíduos da equação cointegrante de longo prazo, parte-se para a segunda etapa metodológica de avaliação das 11 hipóteses clássicas do modelo de regressão linear normal (MCRL).

A primeira hipótese é atendida, visto que esta pressupõe que o modelo seja linear nos parâmetros tanto na equação de curto quanto na de longo prazo.

A segunda hipótese assume que a variável explicativa seja não estocástica é validada pois análise de regressão é condicional ao regressor.

A terceira hipótese postula que a expectativa do erro deva ser nula. Através do teste de média populacional zero, verifica-se que esta hipótese foi violada (o  $p$ -valor indica rejeição da hipótese nula,  $\mu = 0$ , em todos os níveis de significância) e que consequentemente a covariância entre o termo de erro e a variável explicativa não é nula.

**TABELA 3.** Resultado do teste de avaliação para a hipótese 3 de média populacional zero através da equação (16)

	Valor	Probabilidade
Média	1,28	
Desvio padrão	0,037794	
Estatística <i>t</i>	2,45	1

Fonte: Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

No entanto, isto afirma a hipótese descrita por GUJARATI (2000), na qual se a variável explicativa não é estocástica e a média de erro é zero, a covariância entre o erro e a variável é nula por hipótese.

Contudo, há de se esperar que a variância dos resíduos não seja constante diferentemente do que é postulado na 4ª hipótese do MCRLN. Para confirmar tal possibilidade, foi rodado o teste de White com os seguintes resultados:

$$\hat{\mu}_i^2 = 0,002044 - 0,000513 \ln Brent_i + 9,84(\ln Brent_i)^2$$

Como,  $n \times R^2 = 4,4738$ , que tem, assintoticamente, uma distribuição por qui-quadrado com 2 graus de liberdade e seus valores críticos a 5% igual a 5,9914, o valor crítico a 10% é igual a 4,6051 e o valor crítico a 25% é 2,7725. Com base no teste de White, conclui-se que somente ao nível de 5% e 10% não há heterocedasticidade e a 25% não é possível rejeitar a hipótese nula da ausência de heterocedasticidade, reforçando fortemente a hipótese de que os resíduos não apresentam variância constante.

Na quinta e a sexta hipótese na qual assume-se ausência de autocorrelação nas perturbações para os dados  $X$ 's e que os erros sejam independentes. Através do teste Breusch-Godfrey e do teste do efeito ARCH para a quinta e sexta hipótese respectivamente.

Utilizando 4 valores defasados dos resíduos de MQO da regressão de longo prazo e 4 valores defasados dos resíduos obtidos desta regressão, pelo teste Breusch-Pagan-Godfrey foram obtidos os seguintes resultados:

$$\hat{\mu}_i^2 = 0,001698 - 0,000535 + 0,589605\mu_{t-1} + 0,172504\mu_{t-2} + 0,071542\mu_{t-3} + 0,069912\mu_{t-4}$$

Como o valor de  $n \times R^2 = 3848,197$  com valor- $p = 0,0000$  rejeita-se a hipótese de que todos os 4 coeficientes dos  $\hat{\mu}'$ 's são iguais a zero, não causando surpresa uma vez que o valor da estatística Durbin-Watson da equação de longo prazo (13) fornecia uma forte evidencia de autocorrelação entre os resíduos.

Pelo teste de efeito ARCH, assumindo que a variância de  $\hat{\mu}'$  dependa do quadrado do termo de perturbação nos 4 instantes anteriores foram obtidos os seguintes resultados:

$$\hat{\mu}_t^2 = 0,000328 + 0,512732\mu_{t-1}^2 + 0,128397\mu_{t-2}^2 + 0,073804\mu_{t-3}^2 + 0,055783\mu_{t-4}^2$$

$$t = \quad (10,4703) \quad (37,159) \quad (8,295) \quad (4,768) \quad (4,042)$$

$$R^2 = 0,47 \quad \quad \quad d = 2,00$$

O valor de  $n \times R^2 \approx 2465,556$ , com valor- $p = 0,00000$ , que é aproximadamente  $\chi^2$  com 4 graus de liberdade. Pela tabela de qui-quadrado fica claro que a probabilidade de obter tal valor de qui-quadrado é muito menor que 0,005 uma vez que o valor- $p$  é muito baixo, sugerindo fortemente que a variância do erro se correlaciona serialmente.

Diversos modelos econométricos de avaliação dos preços do petróleo foram formulados por diversos autores, como JUNIOR, LOOTY e FERNANDES (2006) que utilizando os preços *spot* do Brent de 2001 a 2006, calcularam um índice de instabilidade e utilizaram um modelo GARCH (1,1) para prever a volatilidade dos preços do Brent.

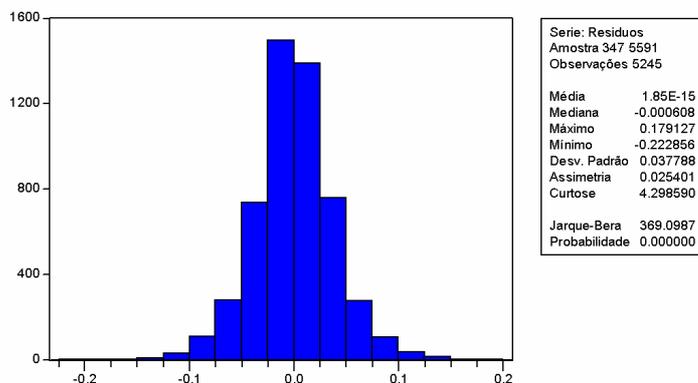
Para o CPB (2006), citando os estudos econométricos desenvolvidos indicam que os preços correntes dos contratos futuros em função dos preços *spot* presentes, não são bons preditores dos valores de preços *spot* no futuro.

BARREL e POMERANTZ (2004), utilizaram dados mensais para realizar uma simulação de um aumento de US\$ 10,00 nos preços do barril do petróleo em função dos dados de inflação e das taxas de juros reais da economia dos países da OECD e concluem alertando para os choques permanentes nos preços do petróleo:

*“The impacts of oil shocks also depend on whether they are temporary or permanent. A permanent shock should change the equilibrium real rate of interest and equilibrium output. In a forward looking world real interest rates will rise more if the shock is seen to be permanent, and hence output will decline more in the short run for a given monetary response. Hence the*



**FIGURA 3.** Resultado do teste Jarque-Bera (Equação (17)) para os resíduos da regressão de longo prazo de  $\ln WTI_t$  contra  $\ln Brent_t$ .



**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

Conclui-se portanto, que das 11 hipóteses do Modelo Clássico de Regressão Normal, 4 foram violadas, como a que se pressupõe que a variância dos erros seja homocedástica a de que os resíduos não sejam autocorrelacionados e que os mesmos se distribuam normalmente.

Uma hipótese forte que fora violada, que diz respeito a correta especificação do modelo, pode ajudar a implementar melhorias na modelagem dos dados diários através da inclusão de mais variáveis explicativas, como as taxas de juros e inflação norte-americanas ou dos países da OECD, a relação de valorização/desvalorização do dólar norte-americano frente ao euro, ou até mesmo os valores de contrato futuro do petróleo.

#### **4.3 RESULTADOS DOS MODELOS DA FAMÍLIA ARCH E DA ESTIMATIVA DA CURVA DE IMPACTO DE NOTÍCIAS DE ENGLE & NG.**

De maneira específica, o emprego dos modelos da família ARCH se justifica com a violação da maioria das hipóteses do MCRLN descritas anteriormente.

Vale ressaltar que a violação da hipótese da correta especificação do modelo poderia incorrer em viés por omissão de variável relevante tornando os estimadores por MQO viesados e inconsistentes. Complementa GUJARATI (2000, p. 474) que: *“Além disso, as variâncias e os erros-padrão desses coeficientes são estimados incorretamente, viciando assim os procedimentos usuais dos testes de hipóteses.”*

Uma forte evidência da sua utilização se confirma com o resultado do teste de

efeito ARCH descrito na etapa anterior que confirma que para os resíduos da equação de relação de longo prazo entre  $\ln WTI_t$  e  $\ln Brent_t$  a variância do erro se correlaciona serialmente.

Neste sentido através dos resíduos das equações de curto e longo prazos ilustrados no gráfico 3, se torna possível identificar os padrões de aglomeração de volatilidades e se a capacidade de previsão das variáveis oscila periodicamente.

Parece evidente que no período compreendido entre o primeiro e metade do segundo corte temporal (observações de 500 a aproximadamente 1300 no eixo de x do plano cartesiano), tanto para as equações de curto e longo prazo, a volatilidade se mostra bastante alta seguida de um período de relativa calma (observações de 1500 a 2500 aproximadamente) e novamente de elevada volatilidade (observações 2500 em diante), implicando que estes choques de volatilidades de hoje irão influenciar as expectativas de volatilidade  $n$  períodos no futuro, confirmando a relação citada por ALEXANDER (2001) e JUNIOR, LOOTY e FERNANDES (2006).

No entanto, este fenômeno de persistência pode ser visto de uma outra maneira, como o processo causado tanto pela chegada de notícias ou da dinâmica do mercado em relação as mesmas.

Como o objetivo das estimativas dos modelos da família ARCH é somente explicar a volatilidade das séries de preços *spot* do Brent e do WTI, no período histórico e nos 6 cortes temporais selecionados<sup>12</sup>, destacam-se os resultados com as séries de retornos dos preços *spot* bem como os resultados gerados pelo modelo GARCH ( $p,q$ ) através da estimativa das equações (21) e (22) respectivamente, (estatísticas z entre parênteses)

$$\Delta \ln WTI_t = 0,000224$$

(0,776)

$$\sigma_t^2 = 1,06 + 0,149699 \varepsilon_{t-1}^2 + 0,474638 \sigma_{t-1}^2 + 0,370547 \sigma_{t-2}^2$$

(3,99)      (4,569)      (1,863)      (1,602)

$$R^2 = -0,000001 \quad s = 0,025253$$

$$DW = 2,035586 \quad \text{Verossimilhança log} = 13429,91$$

$$\Delta \ln Brent_t = 0,000371$$

(1,476)

$$\sigma_t^2 = 6,02 + 0,084204 \varepsilon_{t-1}^2 + 0,907932 \sigma_{t-1}^2$$

(4,557)      (7,083)      (86,602)

<sup>12</sup> Vide anexos para resultados do modelo ARCH para as séries e os cortes temporais.

$$R^2 = -0,000019 \quad s = 0,022980$$

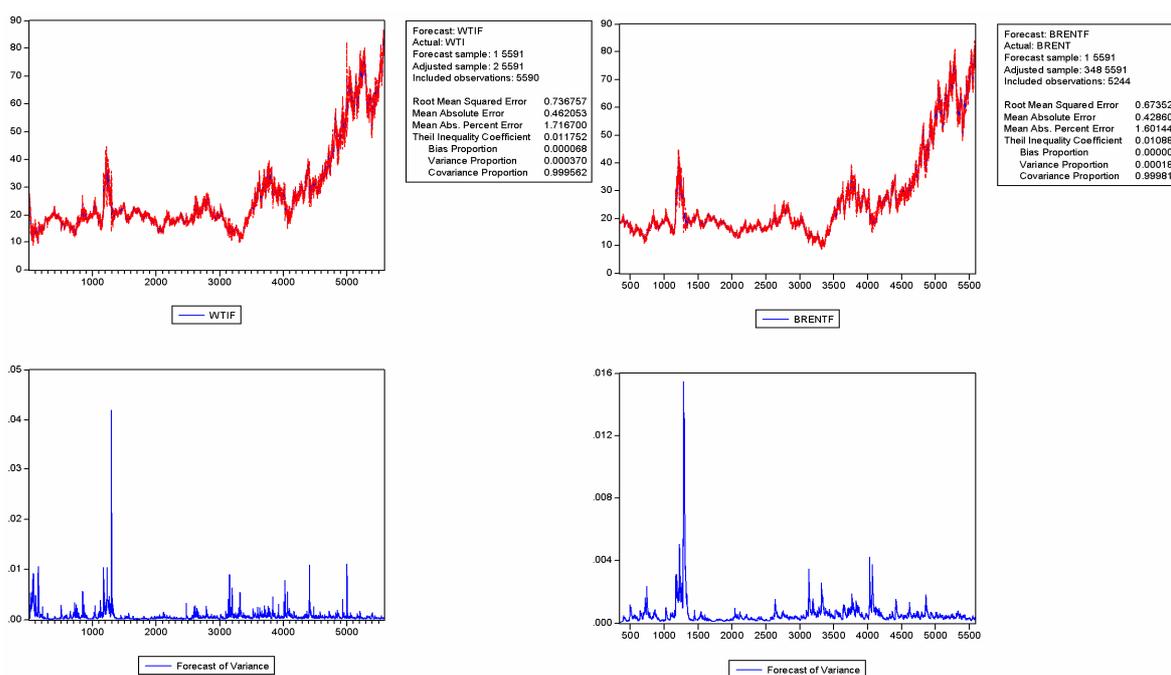
$$DW = 1,928048 \quad \text{Verossimilhança log} = 12991,41$$

Os resultados obtidos com ambas as equações mostram que os coeficientes ARCH e GARCH foram estatisticamente significativos e apresentaram os sinais esperados. Os valores dos erros-padrão foram baixos ( $s$ ), com suspeitas de ausência de autocorrelação com base nas estatísticas Durbin Watson ( $DW$ ) e os valores da função de verossimilhança logarítmica diminuíram em relação ao modelo de co-integração estimado anteriormente

Para ambas as equações, os valores da soma dos coeficientes ARCH e GARCH foram muito próximos de 1, indicando desta maneira que os choques de volatilidade serão persistentes, havendo desta maneira uma convergência da variância condicional se direcionar a uma constante lentamente.

Vale destacar o baixo valor obtido com o  $R^2$  com a uma explicação clara dada por PINDYCK e RUBINFELD (2004, p.335): “Como a estimação por mínimos quadrados ordinários maximiza o  $R^2$ , a correção para levar em conta a heterocedasticidade (...) pode levar a uma redução do  $R^2$ . (Esse é um exemplo de que o valor de  $R^2$  para avaliar uma regressão é limitado).”

**GRÁFICO 4.** Ajuste histórico pelo modelo GARCH (1,1) para os retornos dos preços do WTI e Brent e respectivas volatilidades



**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

Uma visão geral que se pode observar no gráfico acima é a de que o aumento dos patamares de preços do petróleo, não necessariamente indicam maiores níveis de volatilidade, o que corrobora com o trabalho de JUNIOR, LOOTY E FERNANDES (2006).

Dentro da análise que compõe o período dos 6 cortes temporais<sup>13</sup> selecionados, verifica-se um maior grau de volatilidade, (variância condicional) dentro do segundo corte temporal, com uma oscilação na ordem de 50% para os preços do WTI e na ordem dos 25% para os preços do Brent, motivada pela invasão do Iraque ao Kuwait e pela Guerra do Golfo, onde 17,3 milhões de barris de óleo cru foram concedidos a venda.

Assim, seguindo as informações dispostas em EIA (2007) e JUNIOR, LOOTY e FERNANDES (2006), torna-se possível atribuir os impactos das notícias em relação ao mercado petrolífero e quanto as expectativas dos agentes envolvidos nas volatilidades mensuradas pelos modelos de heterocedasticidade condicional.

No primeiro corte, a volatilidade dos preços do WTI, oscilou em torno de 11%, enquanto o Brent, oscilou na casa de 5%, como choques significativos na tendência natural dos preços, possivelmente ocasionada pelo largo uso de preços fixos e fórmula de preços, a falha no encontro entre países da OPEP e não-OPEP e o desperdício de 11 milhões de galões de óleo cru pela Exxon Valdez.

Dentro do terceiro corte temporal, marcado pela adversidade climática nos EUA e Europa, e com o início do programa de exportação Iraquiano, o qual impôs uma elevação nos seus preços posteriormente em conjunto com o aumento da produção da OPEP, os preços do Brent variaram para a casa dos 25% e os do WTI na casa dos 35%.

No período que compunha o quarto corte temporal, de 01/02/1999 a 25/04/2003, marcadas pela iminência de guerra dos EUA contra o Iraque, e da desvalorização da moeda norte-americana, a crescente demanda mundial, adversidades climáticas e ataques terroristas as torres gêmeas, desencadearam uma oscilação máxima na casa de 6% para os preços do WTI e Brent quase que numa mesma proporção.

Ainda com fatos marcantes semelhantes ao período anterior, no quinto corte temporal, de 28/04/2003 a 03/08/2006, marcado pela forte desvalorização do dólar

---

<sup>13</sup> Vide anexos para visualizar o comportamento das variâncias condicionais nos períodos selecionados.

norte-americano, o crescimento da demanda de importações de países não-OPEP, e a oferta fragilizada pelo crescimento da demanda chinesa e expectativas em relação a questões políticas dos países exportadores, deslocaram os preços para trajetória de alta, fazendo com que os preços do WTI batessem num pico de 5% acima de sua tendência e os do Brent na casa dos 7,5%.

E finalmente, no período do sexto corte temporal, de 05/08/2006 a 02/10/2007, o pico de volatilidade para os preços do WTI atingiram cerca de 6,5% e os preços do Brent, oscilaram em média na casa dos 2% a 6%, possivelmente direcionada pelos conflitos políticos entre os EUA e Irã quanto a beneficiamento nuclear e as imprevisibilidades climáticas, como os furacões em direção as reservas norte-americanas e a crescente difusão dos impactos de diversas notícias em relação ao mercado petrolífero, desviaram os preços de sua trajetória natural.

Através da estimativa do modelo TARARCH (1,1) para toda a série de  $\Delta \ln WTI_t$  e  $\Delta \ln Brent_t$  se torna possível reconhecer os componentes assimétricos na variância condicional. Os resultados alcançados com a estimativa da equação (23) para a variância condicional foram os seguintes: (estatísticas z entre parênteses)

$$\Delta \ln WTI_t = 0,000358$$

(1,339)

$$\sigma_t^2 = 8,12 + 0,129393 \varepsilon_{t-1}^2 - 0,034389 \varepsilon_{t-1}^2 d_{t-1} + 0,884176 \sigma_{t-1}^2$$

(1,339)    (4,191)                    (-1,049)                    (67,035)

$$R^2 = -0,000037$$

$$s = 0,025253$$

$$DW = 2,035511$$

$$\text{Verossimilhança log} = 13429,63$$

$$\Delta \ln Brent_t = 0,000341$$

(1,367)

$$\sigma_t^2 = 6,09 + 0,081103 \varepsilon_{t-1}^2 + 0,006280 \varepsilon_{t-1}^2 d_{t-1} + 0,907681 \sigma_{t-1}^2$$

(4,573)    (5,282)                    (0,355)                    (85,854)

$$R^2 = -0,000010$$

$$s = 0,022982$$

$$DW = 1,928067$$

$$\text{Verossimilhança log} = 12991,61$$

Na equação do  $\Delta \ln WTI_t$ , como o valor do parâmetro  $\varepsilon_{t-1}^2$  se mostrou superior a zero, com um maior efeito das boas notícias, o valor do parâmetro  $\gamma_1$  (-0,034389) foi menor que zero, indicando assim que não existe um movimento de elevação da volatilidade nos períodos de queda do que de alta nos mercados de preços do petróleo, ou seja, torna-se possível afirmar a ausência do chamado *leverage effect*, no qual as más notícias elevam a volatilidade e a presença de um impacto de notícias assimétrico.

Essa constatação é muito parecida com a obtida anteriormente com a estimativa do modelo GARCH, para as séries históricas e para os cortes temporais.

Já para a análise da série dos retornos logarítmicos dos preços do Brent, os resultados foram distintos, somente sendo igual na comparação com a série do WTI em relação aos efeitos das boas notícias nos preços, com valor do parâmetro  $\varepsilon_{t-1}^2 > 0$  e apresentando um valor do parâmetro  $\gamma_1 > 0$  indicando que o *leverage effect* se faz presente na série analisada, motivado principalmente pelas más notícias com impactos assimétricos.

Para a incorporação na análise de possíveis efeitos simétricos e assimétricos nos preços dos óleos, a estimativa do modelo EGARCH para a variância em termos logarítmicos e que garante que a projeção da variância condicional seja não-negativa, atingiu os seguintes resultados para a equação (24): (estatísticas z entre parênteses)

$$\Delta \ln WTI_t = 0,000357$$

(1,349)

$$\sigma_t^2 = -0,293922 + 0,228401 \log \sigma_{t-1}^2 + 0,013776 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + 0,983715 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right|$$

(-7,303)      (7,413)      (0,604)      (223,820)

$$R^2 = -0,000037$$

$$DW = 2,035512$$

$$s = 0,025253$$

$$\text{Verossimilhança log} = 13444,85$$

$$\Delta \ln Brent_t = 0,0000341$$

(1,369)

$$\sigma_t^2 = -0,280384 + 0,191083 \log \sigma_{t-1}^2 - 0,004375 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + 0,982325 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right|$$

(-6,154)      (7,082)      (-0,315)      (209,955)

$$R^2 = -0,000010$$

$$DW = 1,928067$$

$$s = 0,022982$$

$$\text{Verossimilhança log} = 12985,22$$

Todos os coeficientes estimados mostraram-se significativos estatisticamente e ainda com evidências de ausência de autocorrelação residual e com baixos erros-padrão. A função de verossimilhança aumentou para  $\Delta \ln WTI_t$  e diminuiu para  $\Delta \ln Brent_t$  em relação a do modelo GARCH (1,1) anteriormente estimado.

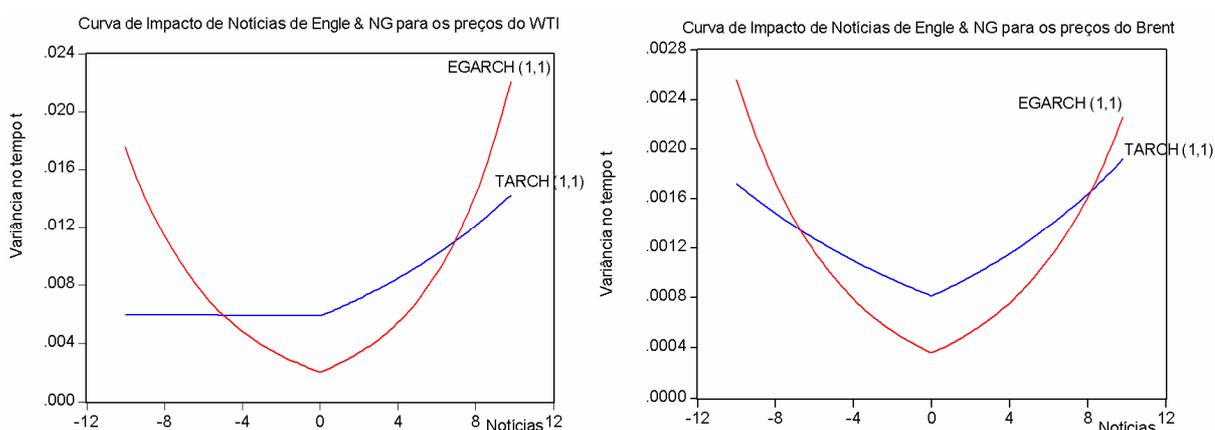
Como em ambas as séries estudadas com o valor de  $\gamma \neq 0$ , a presença do *leverage effect* se confirmou.

A próxima etapa dos procedimentos econométricos visa estimar a Curva de Impacto de Notícias, com resposta simétrica e assimétrica a boas e más notícias, desenvolvida por ENGLE & NG (1993) para representar a resposta da volatilidade a choques nos valores dos retornos dos preços.

Como foi visto que movimentos para baixo do mercado, são seguidos de altas volatilidades da mesma magnitude, possivelmente causada pela característica da distribuição de probabilidade leptocúrtica dos ativos financeiros com média alta e caudas largas.

Através dos modelos EGARCH (1,1) e TARARCH (1,1) estimados anteriormente, torna-se possível representar os choques assimétricos à volatilidade.

### GRÁFICO 5. Resultado da estimativa da Curva de Impacto de Notícias



**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

Nota-se através do gráfico acima que a variância no tempo  $t$  em termos percentuais, dos preços *spot* do petróleo, respondem de maneira simétrica com o modelo EGARCH(1,1) (linhas em vermelho) e de maneira assimétrica com o modelo TARARCH(1,1) (linhas em azul) ao histórico ou surgimento de notícias neste mercado, reforçando assim a hipótese na qual as informações ou notícias, sejam elas por motivos especulativos ou não se mostram altamente representativas no comportamento dos seus preços.

#### 4.4 RESULTADOS DA MODELAGEM VAR

Seguindo as etapas metodológicas, prossegue-se para a estimativa do modelo VAR, iniciando pela escolha da defasagem ótima pelos critérios de Schwartz

e Akaike. Os resultados encontrados indicam um padrão ótimo na escolha de 7 *lags* temporais para o modelo, uma vez que o critério AIC se mostrou sensível a escolha da estrutura da defasagem:

**TABELA 4.** Resultados da escolha da estrutura da defasagem pelos critérios de informação Akaike (AIC) e Schwartz (SC). Equações (25) e (26)

Defasagem	Verossimilhança log	AIC	SC
0	69756	-26.7102	-26.7051
1	97974	-37.5088	-37.4838
2	99715	-38.1695	-38.1244
3	99788	-38.1914	-38.1262
4	99889	-38.2237	-38.1384
Defasagem	Verossimilhança log	AIC	SC
5	99940	-38.2372	-38.1319
6	100044	-38.2711	-38.1457
7	100164	-38.3109	-38.1654*
8	100224	-38.3276	-38.1621
9	100262	-38.3359	-38.1503
10	69756	-38.336*	-38.1303

**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

**NOTA:** \* indica seleção de ordem de defasagem pelo critério

Pelo teste de Causalidade de Granger, pela  $H_2$  conclui-se que  $\log(\text{WTI})$  não causam  $\log(\text{Brent})$  é fortemente rejeitada, enquanto a hipótese  $H_1 - \log(\text{Brent})$  não causam  $\log(\text{WTI})$  não pode ser rejeitada.

**TABELA 5.** Resultados do teste de Causalidade de Granger

Hipótese nula	Obs	F-estatístico	P-valor	Decisão
$H_1$ : $\log(\text{Brent})$ não causam $\log(\text{WTI})$	5241	14,074	2,00E-11	Não Rejeitar
$H_2$ : $\log(\text{WTI})$ não causam $\log(\text{WTI})$	5241	172,905	0,000000	Rejeitar

**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

Esta situação é conhecida como “Inversamente, causalidade unidirecional de  $\log(\text{WTI})$  para  $\log(\text{Brent})$ , pois o conjunto de coeficientes defasados de  $\log(\text{Brent})$  não foi estatisticamente diferente de zero e o conjunto de coeficientes defasados de  $\log(\text{WTI})$  foram estatisticamente diferentes de zero.

Os resultados sugerem que a direção da causalidade é de  $\log(\text{WTI})$  para  $\log(\text{Brent})$ , pois o valor estimado de  $F$  se mostrou altamente significativo. Por outro

lado não há “causação inversa” de  $\log(\text{Brent})$  para  $\log(\text{WTI})$ , pois o valor calculado de  $F$  não é estatisticamente significativo.

Em geral os resultados indicam desta forma que as informações relevantes para previsão das respectivas variáveis estão contidas nas séries temporais destas variáveis, como exposto por GUJARATI (2000, p.627).

A próxima etapa da construção do modelo VAR é a de realizar o teste de *Johansen-Juselius* (JJ), para verificar a possibilidade da presença de mais de um vetor de cointegração entre as variáveis. A tabela a seguir sumariza os principais resultados:

**TABELA 6.** Resultado do teste JJ

Tendência nos dados	Não há		Linear		Quadrática
	Sem intercepto e tendência	Com intercepto e sem tendência	Com intercepto e sem tendência	Intercepto e Tendência	Intercepto e Tendência
Número de vetores de cointegração (selecionados a 5% de significância)					
Traço	3	3	3	3	4
Max-Eing.	3	3	3	3	4
Verossimilhança log por ranking (linhas) e modelo (colunas)					
0	100250.1	100250.1	100250.5	100250.5	100251.2
1	100354	100354.8	100355.3	100357.7	100358.3
2	100416	100422.3	100422.8	100427	100427.5
3	100448.2	100476.9	100477.3	100484.7	100485.3
4	100448.6	100477.6	100477.6	100487.7	100487.7
Critério de Informação Akaike por ranking (linhas) e modelo (colunas)					
0	-38.24983	-38.24983	-38.24849	-38.24849	-38.24719
1	-38.28646	-38.2864	-38.28544	-38.28598	-38.28507
2	-38.30709	-38.30876	-38.30817	-38.309*	-38.30845
3	-38.31635	-38.32616	-38.32594	-38.32761	-38.32745
4	-38.31343	-38.32298	-38.32298	-38.32533	-38.32533
Critério de Informação de Schwartz por ranking (linhas) e modelo (colunas)					
0	-38.10944	-38.10944	-38.10308	-38.10308	-38.09678
1	-38.13604	-38.13473	-38.13001	-38.1293	-38.12462
2	-38.14664	-38.14581	-38.14271	-38.14103	-38.13798
3	-38.14587	-38.15192*	-38.15045	-38.14836	-38.14694
4	-38.13292	-38.13746	-38.13746	-38.1348	-38.1348

**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

O teste indica a presença de 3 vetores de cointegração presentes na relação entre  $\ln \text{WTI}_t$ ,  $\ln \text{Brent}_t$ , e as respectivas volatilidades ao nível de 5% de significância, porém, se contradizem na escolha do tipo de tendência nos dados.

Ao se verificar que a tendência nos dados é estocástica, opta-se pela escolha indicada pelo Critério de Informação de Schwartz, com intercepto e sem tendência, para a estimativa do modelo VEC, futuramente.

Primeiramente, após estimados os resultados obtidos com o modelo VAR não-estrutural, de longo prazo e o modelo VEC não-estrutural de curto prazo<sup>14</sup>, são

<sup>14</sup> Vide anexos para ver os resultados gerados pelos modelos

geradas as funções de impulso-resposta e decomposição da variância dos erros de previsão.

As funções de impulso-resposta para uma alteração de um desvio-padrão a 10 períodos à frente para o modelo VAR, estão representadas na figura 5 a seguir e apontam a reação de  $\ln WTI_t$  quando há algum choque exógeno nas variáveis incorporadas no modelo.

Os resultados encontrados ressaltam a importância da volatilidade dos preços do WTI e Brent e dos seus níveis. Convém salientar outro resultado interessante: o efeito do  $\ln Brent$  sobre  $\ln WTI$ . Observou-se que o  $\ln WTI$  aumenta em decorrência de um choque no  $\ln Brent$  e *vice-versa*, contrastando desta maneira com os resultados encontrados como teste de causalidade de Granger, possivelmente causada pelo poderio da OPEP no mercado, como explica PERTUSIER (2007):

“OPEP, finalmente, já escaudada como culpada por tudo, finge que os preços são efetivamente estabelecidos pelo mercado (com o Brent e WTI como referência) e rotula suas intervenções como forma de estabilizar o mercado, uma ação bem-vinda ao interesse de todos”.

Já para CAVALCANTE (2007), a dinâmica do mercado de petróleo nem sempre é lógica pois: “Às vezes trás à tona algumas inconsistências, como a ocorrência de preços elevados & excesso de oferta no mercado. (...) Formas como os agentes tentam (com ou sem sucesso) influenciar os preços e como reagem aos mesmos explicam as inconsistências”. E ainda destaca que a oferta de petróleo está perigosamente concentrada nas mãos de poucos agentes, porém este agentes têm “políticas de preços” onde as empresas privadas não podem influenciar os preços e países consumidores estão, predominantemente, comprometidos com políticas de livre comércio e soluções de mercado, portanto não advogam controle de preços.

Do lado da oferta, PERTUSIER (2007) reforça a idéia de que a renda dos países produtores é exclusivamente oriunda da tributação da produção, que é papel passivo dos governos dos países produtores, fazendo surgir o problema de que preço se deveria tributar a produção de petróleo.

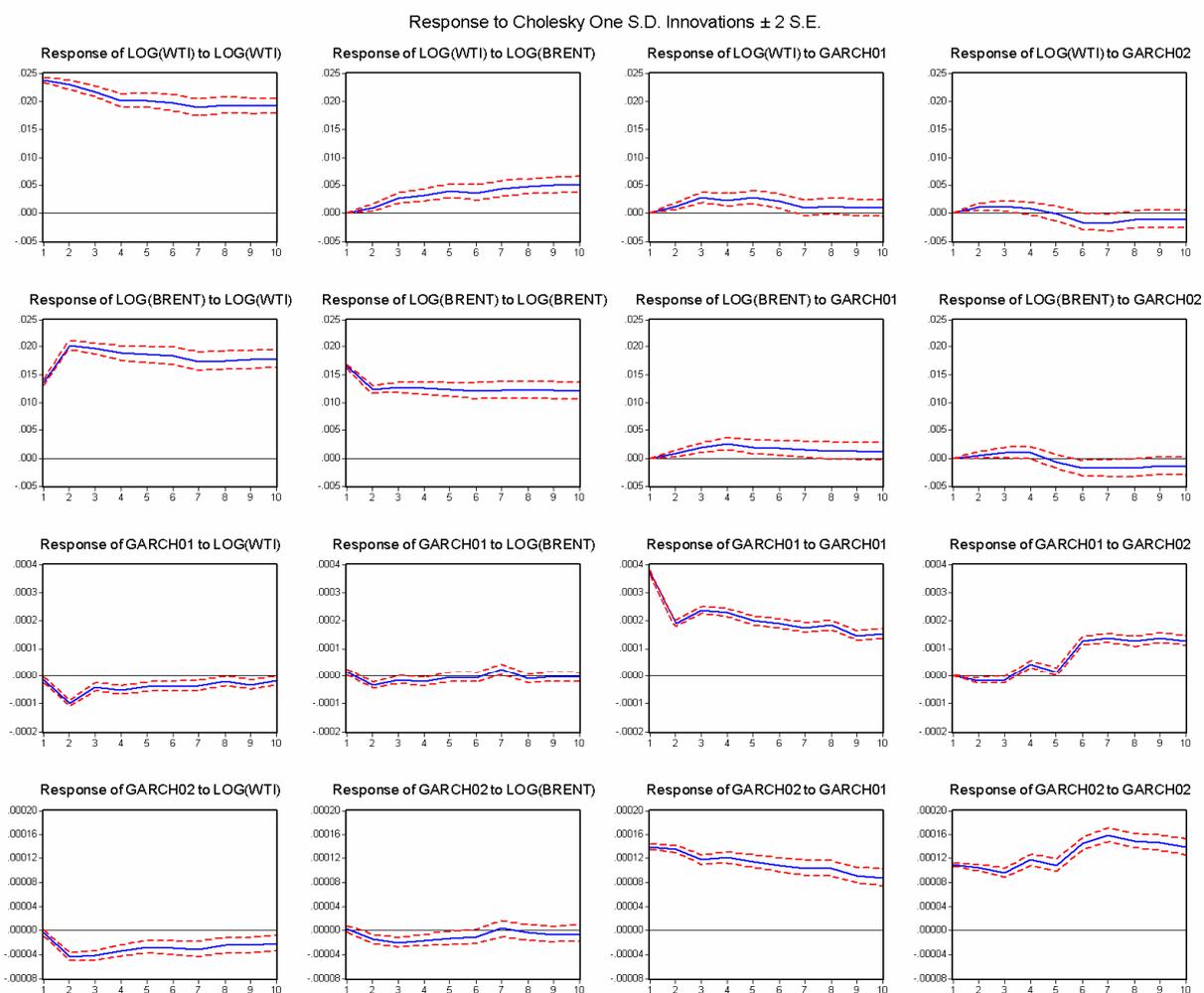
O autor propõe um modelo interessante de “preços oficiais de referência (*posted prices*)” onde se sugere um acordo de divisão dos lucros em 50% para ambas as partes e uma adoção de preços pré-estabelecidos entre governo e empresas, pois os preços internacionais de referencia não são transparentes e a questão da desconfiança por parte dos países produtores dos preços de

transferência das empresas internacionais. “Nos anos 50 e 60 os ‘*posted prices*’ eram os únicos preços com visibilidade no mercado internacional”.

Neste sentido, esta falta de transparência nos preços do petróleo pode ser contornada pela visualização dos efeitos de um choque na volatilidade dos preços do WTI, que se mostraram positivas em relação as volatilidades nos preços do Brent e vice-versa.

Já, o efeito de um choque na volatilidade sobre os preços do WTI são positivos (Response of log(wti) to garch01), enquanto a resposta de um choque na volatilidade dos preços do Brent são negativos em relação a seus preços. (Response of log(brent) to garch02)

**FIGURA 4.** Funções de Impulso-resposta



**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

**NOTA:** As linhas contínuas representam as funções impulso-resposta, enquanto as linhas pontilhadas representam os intervalos de confiança de dois desvios padrão, obtidos a partir de uma simulação de Monte Carlo com 1000 repetições.

Com o objetivo de se verificar quanto tempo em média os preços de cada óleo em função de outro e de suas volatilidades podem demorar a se ajustar a um possível choque, desviando de sua tendência de reversão á media, foi calculada a Decomposição da Variância para  $\ln WTI$  por intermédio da equação (29):

**TABELA 7.** Resultado da Decomposição da Variância (%) para  $\ln WTI$ :

Período	$\ln WTI$	$\ln Brent$	$\sigma_t^2 WTI$	$\sigma_t^2 Brent$
1	100,00	0,00	0,00	0,00
2	99,7	0,08	0,13	0,09
3	98,77	0,51	0,57	0,16
4	98,23	0,91	0,71	0,15
5	97,59	1,40	0,89	0,12
6	97,24	1,66	0,91	0,19
7	96,86	2,05	0,83	0,26
8	96,51	2,45	0,77	0,26
9	96,19	2,83	0,72	0,26
10	95,90	3,17	0,67	0,26

**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1

Verifica-se que para 10 dias após o choque, cerca de 96% do comportamento dos preços do WTI se devem a ele mesmo, sendo que os preços do Brent correspondem a cerca de 3,17% dos preços do WTI. Ainda é interessante ressaltar que entre o quarto e o sétimo dia após o choque, uma parcela significativa da variação dos preços do WTI é explicada por uma elevação na sua volatilidade histórica na faixa de 0,70% a 0,80% da variação total, invertendo a trajetória para um movimento de queda posteriormente.

No entanto, a representatividade do efeito da volatilidade dos preços do Brent é a que detêm um menor impacto após um choque nos preços do WTI, com um média de 0,18% em 10 dias de negociação.

A última etapa metodológica, visa comparar e selecionar o melhor modelo que explique e projete os preços do WTI no futuro, pelo conjunto de equações descritas de (30) a (34) e realizar uma projeção  $n$  períodos a frente com o modelo proposto<sup>15</sup>.

O modelo selecionado pelos critérios para a projeção futura seria o de cointegração de curto prazo, porém este viola uma série de hipóteses do MCRLN e

<sup>15</sup> Vide anexos para visualizar todos os resultados.

por este motivo, o modelo VEC foi selecionado por justamente apresentar uma melhor previsibilidade em relação ao demais modelos expostos n períodos á frente.

Em síntese o resultado alcançado com o modelo de Vetor de Correção de Erros, para os próximos 4 dias, projeta-se os seguintes valores:

**TABELA 8.** Resultado das projeções para os próximos 4 dias com o modelo VEC

Período (dia de negociação)	Valores efetivos	Valores projetados	Erro (em US\$/bbl)	Erro (%)
	WTI (US\$/bbl)	WTI (US\$/bbl)		
quarta-feira, 3 de outubro de 2007	79.97	80.25	-0.28	0.35%
quinta-feira, 4 de outubro de 2007	81.48	80.44	1.04	-1.27%
sexta-feira, 5 de outubro de 2007	81.2	80.51	0.69	-0.85%
segunda-feira, 8 de outubro de 2007	78.97	80.57	-1.60	2.02%

**FONTE:** EIA (2007)

**NOTA:** Resultado desta pesquisa obtido a partir de Eviews 4.1 para os valores projetados.

Vale destacar que o modelo superestima os dados e capta os efeitos da forte tendência de alta dos preços.

#### 4 CONCLUSÃO

O propósito deste estudo foi o de demonstrar como a volatilidade e as expectativas dos agentes influenciadas por certas notícias se refletem nos preços do petróleo, no passado e no período recente, gerando movimentos especulativos em certos períodos e mudando o comportamento dos mercados.

No entanto, alguns fatores estruturais como a oferta limitada de petróleo e a demanda mundial crescente motivada pelo aumento populacional em escala exponencial acabam por sufocar a “capacidade de suporte” do sistema e do meio ambiente.

O uso do recurso da energia do petróleo como seu principal fator-chave de desenvolvimento econômico e seu consumo de forma indiscriminada incentivado pelos países desenvolvidos em grande maioria, traz a tona questões de sustentabilidade e a responsabilidade da Ciência Econômica em conceituar “energia” com a única finalidade de consumo, não podendo ser produzida, sempre incorrendo em perdas substanciais da forma como se apresenta na natureza.

Dentro deste contexto, a escalada de alta dos preços do petróleo, exerce efeitos nas principais variáveis macroeconômicas dos países dependentes do mesmo, como aumento da inflação, no nível de atividade com aumentos das taxas de desemprego, e redução dos níveis de produção no curto prazo.

São muitas as principais causas que desencadeiam a alta dos preços, dentre as quais historicamente foram motivados essencialmente pelos deslocamentos das curvas de demanda agregada por bens e serviços, pelas limitações da oferta, por rumores políticos e alterações na condução de políticas econômicas por parte dos governos, por exemplo.

A formação das expectativas dos agentes econômicos envolvidos neste mercado frente a novas notícias podem se mostraram capazes de afetar o comportamento dos preços *spot* do petróleo, corroborando os resultados encontrados por PRAT e UNCTUM (2001), quando os mesmos incorporam um modelo de *mix* de expectativas, sejam elas adaptativas, regressivas ou extrapolativas. Com a análise desenvolvida através do uso dos modelos econométricos de co-integração, da família ARCH e VAR/VEC, torna-se possível afirmar que existe uma relação de equilíbrio de longo prazo entre os preços do petróleo do tipo WTI, negociado na Bolsa norte-americana de Chicago e os preços do petróleo do tipo Brent, negociado na Bolsa de Londres, uma vez que historicamente a indústria petrolífera norte-americana tenha se iniciado neste mercado antes da inserção da indústria europeia e que estes dois representam os principais mercados mundiais.

Porém a existência de desequilíbrios podem ser atribuídas a falta da inclusão de variáveis econômicas relevantes na especificação do modelo proposto e que os choques de volatilidade se estimados pelos modelos ARCH e GARCH, muito próximos de 1, indicam persistência dos mesmos, direcionando também a convergência da volatilidade condicional a uma constante lentamente, afirmando a hipótese levantada por JUNIOR, LOOTY E FERNANDES (2006).

Historicamente, verificou-se que o maior grau de volatilidade (variância condicional) se deu no período marcado pela notícia da invasão do Iraque ao Kuwait e pela Guerra do Golfo de 24/01/1989 a 20/05/1993, onde se atingiu patamares de 50% para os preços do WTI e de 25% para os preços do Brent, o qual somente sofreria uma maior volatilidade posteriormente no período compreendido entre 21/05/1983 a 29/01/1999 marcada pela adversidade climática dos EUA e Europa e

com o início do programa de exportação Iraquiano impondo aumento de preços juntamente com o aumento da produção da OPEP, onde os preços do Brent variaram para a casa dos 25% e os do WTI na ordem dos 35%.

Recentemente, verificou-se através dos modelos GARCH (1,1) que desde fevereiro de 1999, com o ataque terrorista as torres gêmeas nos EUA, a guerra do Iraque, a desvalorização do dólar, a crescente demanda mundial em especial a chinesa e as adversidades climáticas, os preços do petróleo do tipo Brent e WTI atingiram volatilidades que oscilaram em torno 2 a 7,5%.

No entanto, com o emprego dos modelos EGARCH (1,1) e TARCH(1,1) foi possível provar que o impacto das boas e más notícias nos preços do WTI do parâmetro  $\varepsilon_{t-1}^2$  se mostrou superior a zero, com um maior efeito das boas notícias e o valor do parâmetro  $\gamma_1$  (-0,034389) foi menor que zero, indicando assim que não existe um movimento de elevação da volatilidade nos períodos de queda ou alta brusca dos preços, ou seja, torna-se possível afirmar a ausência do chamado *leverage effect*, no qual as más notícias elevam a volatilidade e a presença de um impacto de notícias é assimétrico. O que difere do mercado europeu em relação ao comportamento dos preços do Brent no qual este efeito se faz presente, mostrando que a volatilidade se mostra mais sensível as más notícias do que com as boas notícias.

Esta relação foi representada graficamente com as estimativas da Curvas de Impactos de Notícias desenvolvidas inicialmente por Engle & NG., plotando-se o impacto da volatilidade de encontro com impacto de choques, levando-se em consideração que o comportamento dos preços do petróleo apresentam distribuições de probabilidades leptocúrticas e pelo fato de que as informações que movimentam o mercado surgem em blocos, e não de forma contínua, conforme destacado por GLEISER (2002, p.220) “Assim, grandes variações nos preços ocorrem em pequenas quantidades de grandes magnitudes (...).Como a distribuição das informações é leptocúrtica, a distribuição das variações de preços também o é”.

Hoje, como o mecanismo da dinâmica que rege os preços do petróleo não são vistos com muita clareza pelos agentes, uma vez que podem ocorrer preços altos com excesso de oferta no mercado, o modelo VAR ajudou a interpretar este comportamento em função das volatilidades e preços do passado, evidenciando que pelo teste de causalidade de Granger, os preços do WTI causam os preços do Brent,

ou seja, indica que o choque atinge primeiro o mercado americano e o europeu tende a o acompanhar dentro de uma relação positiva.

No entanto, com a estimativa das funções de impulso-resposta e de decomposição da variância dos erros de previsão, com o objetivo de simular os impactos de um choque exógeno no modelo, observando-se que os preços do WTI aumentam em decorrência de um choque nos preços do Brent e *vice-versa*, e que os efeitos de choques nas volatilidades sobre os preços do WTI são positivos, enquanto a resposta de um choque na volatilidade dos preços do Brent são negativos em relação a seus preços, possivelmente motivadas pelo poderio da OPEP no mercado com suas medidas intervencionistas.

A estimativa da Decomposição da Variância permitiu verificar que para 10 dias após o choque, cerca de 96% do comportamento dos preços do WTI se devem a ele mesmo, sendo que os preços do Brent correspondem a cerca de 3,17% dos preços do WTI. Ainda é interessante ressaltar que entre o quarto e o sétimo dia após o choque, uma parcela significativa da variação dos preços do WTI é explicada por uma elevação na sua volatilidade histórica na faixa de 0,70% a 0,80% da variação total, invertendo a trajetória para um movimento de queda posteriormente.

No entanto, a representatividade do efeito da volatilidade dos preços do Brent é a que detêm um menor impacto após um choque nos preços do WTI, com um média de 0,18% em 10 dias de negociação.

Levando-se em consideração todos as questões levantadas foi estimado um modelo de projeção de curto prazo (Vetor de Correção de Erros) para os próximos 4 dias que aponta para uma forte tendência de alta dos preços chegando no último da previsão a atingir um erro máximo de cerca de 2% acima do valor real do WTI no mercado *spot* mundial.

Assim, torna-se possível concluir que por intermédio dos efeitos mostrados nesta análise através dos modelos econométricos desenvolvidos, indica-se uma forte tendência de alta dos preços de forma constante e que os choques de volatilidade se mostrarão persistentes no futuro, gerando estagflação, o que poderia conduzir as políticas dos governos de países muito ou não tão dependentes do petróleo, uma vez que nenhuma das energias alternativas se mostrem capazes de substituí-lo, a direcionarem suas políticas para que os preços internacionais não se reflitam tão diretamente no consumidor final e demais variáveis macroeconômicas e no bem-estar social.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. **Market Models, A Guide to Financial Data Analysis**. 1. ed. Chichester, John Wiley & Sons Ltd., 2001.

BACHELIER, L. **Théorie de la Speculation**. In *Gauthier-Villars*, Paris, 1900.

BARRELL, R., POMERANTZ, O. **Oil Prices and the World Economy**, In NIESR Discussion Paper 242., 2004.

BOLLERSLEV, T., ENGLE R., F. e NELSON, D, B. **ARCH Models**. Cap, 49 In ENGLE R, F. e McFADDEN, D. (eds.). *Handbook of Econometrics*, Volume 4, North-Holland, 1994.

CARVALHO *et alli*. **Economia Monetária e Financeira; teoria e política**. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2000.

CAVALCANTE, M. **Sobre os preços de referência, tipos de mercado e hedging. Apresentação de Slides**, In Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, curso *Preços do Petróleo Evolução Histórica e Perspectivas de Longo Prazo*, 14 a 17 de agosto, Rio de Janeiro, 2007.

CPB CENTRAAL PLAINBUREAU. **Economic Outlook: The World Economy**, Setembro de 2006, Disponível em:< <http://www.cpb.nl> > Acesso em: Julho de 2007

CURADO, M. **Flutuações nos preços dos ativos: uma comparação entre as bolhas especulativas racionais e a contribuição keynesiana**. In *Revista Economia e Sociedade*, UNICAMP, v.15 n. 1 (26), jan.-jun.2006.

DEVLIN J., LEWIN, M. **Managing Oil Booms and Busts in Developing Countries**, in Pinto, B. (ed.), *Managing Volatility and Crises: A Practitioner's Guide*, World Bank, 2004.

DORNBUSCH, R. FISCHER, S. **Macroeconomia**, ed. Makron Books, McGraw-Hill, São Paulo, 1991

DIAS, M, A, G **Análise de Investimentos com Opções Reais e Jogos de Opções**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, *Apresentação de Slides*, primeiro semestre de 2005.

EIA, ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Spot Prices**. Disponível em: < [http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_d.htm](http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm) > Acesso em: 01 de janeiro de 2007

ENGLE, R. F., e V.K. NG. **Measuring and Testing the Impact of News on Volatility**. *Journal of Finance*, p, 48, Janeiro de 1993.

ESMAP, **Annual Report 2005**. Disponível em: < <http://www.esmap.org> > Acesso em 18 de agosto de 2007.

EWING, B., HARTER, C. **Co-movements of Alaska North Slope and UK Brent Crude Oil Prices**,” *Applied Economic Letters*, 2000, 7: 55, - 558

EIEWS 4 USER´S GUIDE, *Quantitative Micro Software*.LLC, Estados Unidos, fevereiro de 2002.

FAMA, E. F. **Efficient Capital Markets II**. *In Journal of Finance*, v.66, 1970.

FURTADO, M.,B., **Síntese da Economia brasileira**. ed. LTC, São Paulo, 1999.

GLEISER, I, **Caos e Complexidade A evolução do pensamento econômico**. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2002.

GOULART, *et. alli* **Previsão da Volatilidade no Mercado Interbancário de Câmbio**. *In Revista de Administração e Economia*. V. 45 CEDEPLAR/UFMG, 2005.

GUJARATI, D.N. **Econometria Básica**. ed. Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2000.

JÚNIOR, H. Q. P., LOOTY, M., FERNANDES, C. **O Mercado Internacional do Petróleo: preços altos significam maior volatilidade?** *In* Petróleo e Gás Natural Disponível em < [http://www.gee.ie.ufrj.br/publicacoes/pdf/2006\\_mercado\\_inter.pdf](http://www.gee.ie.ufrj.br/publicacoes/pdf/2006_mercado_inter.pdf) > Acesso em: fevereiro de 2007.

KRONER, K. F., e V. K. NG. **Modeling Asymmetric Comovements of Asset Returns**, *Review of Financial Studies*. p,11, 1998.

LAMOUNIER, W.M. **Comportamento dos preços do Mercado spot de café no Brasil: análise nos domínios do tempo e frequência**. 2002. Tese (Doutorado em Finanças). UFV, Viçosa, 2002.

LEVINE, M.D., BERENSON, L.M., STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e Aplicações**. ed, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, 2000.

MCGUIRK, A., K., **Oil price changes and real exchange rate movements among industrial countries**, *In International Monetary Fund Staff Papers* n. 30, 1983.

MILONAS, N. e HENKER, T. **Price Spread and Convenience Yield Behaviour in the International Oil Market**. *Applied Financial Economics*, 2001, 11: 23 - 36,

MUTH, J. F. **Rational Expectations and the theory of price movement**. *In Econometrica* v.29, julho 1961.

PÉREZ, C. **Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil**. *In* Revista de la CEPAL n. 75, dezembro de 2001.

PERTUSIER, R.R., **Sobre a evolução e formas de Precificação do Petróleo**. *Apresentação de Slides*, *In* Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, curso *Preços do Petróleo Evolução Histórica e Perspectivas de Longo Prazo*, 14 a 17 de agosto, Rio de Janeiro, 2007.

PINDYCK, S.R., RUBINFELD, L.D. **Econometria Modelos e Previsões**. ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2004.

PORTO, M., F.P. **O crepúsculo do petróleo Acabou-se a gasolina, salve-se quem puder!**. ed. Brasport, Rio de Janeiro, 2006.

PRAT, G., UNCTUM, R. **Modeling price expectations in the oil market: evidence from survey data**. In CNRS/University of Paris-X Nanterre, França, 2001.

ROSS, S., A. **The interrelations of finance and economics: theoretical perspectives**. In AEA Papers and Proceedings, v. 77, maio 1987.

SACHS, J. D., LARRAIN, F.B. **Macroeconomia**. ed. Makron Books, São Paulo, 1998.

SOUZA, F. R. **Impacto do preço do petróleo na política energética mundial**, Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, novembro de 2006.

SOUZA, V., VERSIANI, I. **Petróleo e dólar complicam ajuste fiscal**, in Folha de São Paulo, 16 de setembro de 1999.

SILVA, J.C. **Estimação do valor em risco usando informação intra diária**, Fundação Getúlio Vargas, Escola de Pós-Graduação em Economia, *Dissertação de Mestrado*, Rio de Janeiro, 28 de fevereiro de 2002,

SIMS, C. **Macroeconomics and Reality**. *Econometrica*, 48, 1980,

SHEPPARD, K. **Univariate Volatility Modeling**. *Lecture 7, Chapter 5*. Disponível em: < <http://www.kevinsheppard.com> > Acesso em: janeiro de 2007.

SCHWERT, G. W., **Why does stock market volatility change over time?**, In *Journal of Finance* 44, 1989.

TIGRE, P. **Inovação e teoria da firma em três paradigmas.** *In* Revista de Economia Contemporânea n.3, Rio de Janeiro, IE/UFRJ, jan.-jun.1998.

UNITED NATIONS. **The Exposure of African Governments to the volatility of international oil prices, and what to do about it.** *In* United Nations Conference on Trade and Development, Nova Iorque e Gênova, novembro de 2005.

VALOR ECONÔMICO **Preços do petróleo fecham último pregão do mês sem tendência definida.** Disponível em < <http://www.valoronline.com.br> > Acesso em 01 de abril de 2007,

VAITSMAN, M. **O petróleo no império e na república.** ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2001.

YOSHIKAWA, H. **On the equilibrium Yen-Dollar Rate.** *In* American Economic Review, n. 80, 1990.

ZAKOIAN, J, M, **Threshold Heteroscedastic Models,** *Journal of Economic Dynamics and Control*, p, 931-944, 1994,

## APÊNDICE

Neste tópico do trabalho são descritos detalhadamente os procedimentos econométricos metodológicos para a análise dos preços do petróleo do mercado internacional.

### 4.1.1 MODELAGEM DE CO-INTEGRAÇÃO

Diversos estudos investigaram as interligações entre os mercados derivativos de petróleo e relações de preços. No contexto de diferenças geográficas. EWING e HARTER (2000), encontraram evidências de que os preços dos óleos crús do Brent e do *Alaska North Slope*<sup>16</sup> tendem a se mover juntos no longo prazo e que reagem similarmente aos choques do mercado mundial.

A relação entre os preços do Brent e WTI foi investigada por MILONAS e HENKER (2001), que modelaram o *spread* futuro do Brent e WTI como uma função de conveniência dos rendimentos de dois contratos. Os autores utilizaram os rendimentos de conveniência como substitutos para as condições de oferta e demanda nos dois mercados e verificaram que os rendimentos de conveniência conseguem explicar as oscilações no *spread*, demonstrando desta forma que os desbalaceamentos entre a oferta e demanda regionais são importantes fatores na determinação dos preços futuros.

Segundo EIA (2007), os preços mundiais (do WTI e Brent) são definidos com base no custo de aquisição média de refino (IRAC), da cesta da OPEP e do mercado futuro da NYMEX, apresentando diferenças devido à qualidade dos mesmos e outros fatores.

Para o ESMAP (2005), o número de óleos crus negociados no mercado internacional tem aumentado fortemente, particularmente em função de uma resposta ao desejo de diversificação nas fontes de oferta e também pelo aumento da demanda global e descoberta de novas fontes de exploração.

Com o objetivo de averiguar as relações de longo e curto prazo entre as principais séries de preço do petróleo, à luz da teoria de co-integração desenvolvida por Engle e Granger, serão descritas as etapas conforme explica GUJARATI (2000)

---

<sup>16</sup> Este é um óleo bruto que apresenta um índice de enxofre um pouco mais elevado em relação ao metal pesado e é negociado com entrega na Califórnia.

primeiramente aplica-se o teste de estacionariedade para ambas as séries afim de checar a presença de raízes unitárias nas séries caracterizadas como caminhos aleatórios, ou seja, processos estocásticos não-estacionários e determinar a ordem de integração das mesmas. Desta maneira, roda-se a seguinte regressão:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \mu_t \quad \text{Equação (9)}$$

Sob a hipótese nula de que  $\hat{\rho}$  é estatisticamente = 1, ou seja, assume-se a presença de raiz unitária na série estudada<sup>17</sup>, onde o resultado da estatística  $t$  conhecido como estatística  $\tau$  (tau) com valores críticos tabulados por Dickey-Fuller (DF) e MacKinnon-DF.

Se o valor de  $\tau$  exceder os valores críticos em termos absolutos, não se rejeita a hipótese de que a série é estacionária, e se o valor for menor aos tabulados, a série temporal é não-estacionária.

Caso uma série temporal for diferenciada uma única vez e a série temporal for estacionária, diz-se que a série original é integrada de ordem 1, (I(1)). Se a série original tenha que ser diferenciada duas vezes para se tornar-se estacionária, ela é dita estacionária de ordem 2 (I(2)).

Os testes comuns na literatura para esta finalidade são os testes de Dickey-Fuller (DF), Dickey-Fuller Ampliado (ADF) e de Phillips-Perron (PP). As equações dos testes são formalizadas a seguir (GUJARATI, 2000) e (LAMOUNIER, 2002):

$$\text{Teste DF: } \Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + u_t \text{ ; ou } \Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + u_t \quad \text{Equação (10)}$$

$$\text{Teste ADF: } \Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \alpha_1 \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad \text{Equação (11)}$$

$$\text{Teste PP: } \Delta Y_t = \mu + \rho_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{Equação (12)}$$

Onde :

$\Delta$  indica o operador de diferença;

$\delta$  é o parâmetro para testar a hipótese nula de que seu valor seja igual a zero, ou seja, indica a presença de raiz unitária.

<sup>17</sup>Escrevendo a expressão (9)  $\Delta Y_t = (\rho - 1)Y_{t-1} + \mu_t$ ;  $= \delta Y_{t-1} + \mu_t$ ; logo, se a série não for estacionária  $\delta = 0$ ; e  $\Delta Y_t = \mu_t$  indicando que a primeira diferença de um série temporal com caminho aleatório será uma série temporal estacionária, pois por hipótese,  $\mu_t$  é puramente aleatório.

O teste DF é aplicado a regressões que venham a conter o componente de tendência e intercepto e da mesma maneira, o teste ADF se aplica quando se supõe a presença de autocorrelação no termo de erro  $\mu_t$ .

Ressalta GUJARATI (2000, p.726) que: “A estatística do teste ADF tem a mesma distribuição assintótica que o teste DF, de modo que podem ser usados os mesmos valores críticos”.

Porém, existem algumas limitações em sua utilização, como LAMOUNIER (2002), que argumenta que o teste ADF se baseia no pressuposto de que os erros sejam não correlacionados e apresentem variância uniforme ( $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ ) e propõe o uso do teste PP que adota a hipótese nula de que a série siga um passeio aleatório e não é necessário incluir termos de diferenças defasadas, porém pode incorporar termos de tendência e intercepto.

Após a verificação da condição de estacionariedade nas séries, roda-se a equação co-integrante de longo prazo por MQO, com a seguinte especificação:

$$\ln WTI_t = \alpha_1 + \beta_2 \ln Brent_t + \mu_t \quad \text{Equação (13)}$$

Onde:

$\ln WTI_t$  = logaritmo natural dos preços do WTI no período  $t$ ;

$\ln Brent_t$  = logaritmo natural dos preços do Brent no período  $t$ ;

$\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros co-integrantes

Nos resíduos desta regressão, o  $\mu$  estimado se baseia no parâmetro co-integrante  $\beta_2$  e para verificação de raiz unitária, rodam-se os testes DF e ADF, conhecidos como teste de Engle Granger ou teste Aumentado de Engle Granger, afim de se verificar a hipótese de co-integração entre as séries estudadas. Se o resíduo se mostrar estacionário em nível, (não apresentar raiz unitária) as séries são cointegradas, caso contrário, as séries não serão cointegradas.

Todavia, ainda que individualmente as séries possam exibir caminho aleatório, GUJARATI (2000) propõe o uso do teste Durbin-Watson para a regressão co-integrante (DWRC), com valores críticos fornecidos por Sargan e Bhargava sob a hipótese nula de que  $d = 0$ . Se o valor da estatística  $d$  for menor que os valores tabulados, rejeita-se a hipótese de co-integração a 1% = 0.511. 5% = 0.386 e 10% = 0.322. Portanto, se o valor de  $d$  se mostrar superior aos valores críticos, as séries

são co-integradas havendo uma evidência de estabilidade de longo prazo ainda que ambas as séries sejam passeios aleatórios, pois sua combinação linear será estacionária e fornecerá um estimador consistente do parâmetro de co-integração  $\lambda$ .

O teste DWRC é formalizado conforme PINDYCK e RUBINFELD (2004,p.592):

$$\text{Teste DWRC: } DW = \frac{\sum (e_t - e_{t-1})^2}{\sum (e_t)^2} \quad \text{Equação (14)}$$

Através da aplicação da metodologia do teste DWRC, evita-se o problema correlato de resultados espúrios em relação a testes de significância usuais entre as variáveis, sem a necessidade de diferenciação temporal e perda de relações relevantes de longo prazo entre as séries econômicas de preços na análise.

Depois de realizados os testes de estacionariedade e o teste DWRC para os resíduos da equação de longo prazo (equação (13)), podem surgir desequilíbrios de curto prazo.

Com o Mecanismo de Correção de Erros, utiliza-se os resíduos da regressão de longo prazo (equação (13)) como um termo de erro de equilíbrio, para ligar o comportamento do WTI no curto prazo com seu valor a longo prazo, corrigindo desta maneira o desequilíbrio. A equação de curto prazo toma a seguinte especificação:

$$\Delta \ln WTI_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta \ln Brent_t + \alpha_2 \hat{\mu}_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{Equação (15)}$$

Onde:

$\Delta$  = operador de diferença

$\hat{\mu}_{t-1}$  = valor defasado de um período da equação (13) de longo prazo, termo de erro de equilíbrio;

$\varepsilon_t$  = é o termo de erro com as propriedades usuais

Nesta regressão,  $\Delta \ln WTI$  captura as perturbações de curto prazo nos preços do WTI, enquanto o termo de correção de erro  $\hat{\mu}_{t-1}$  captura o ajustamento para o equilíbrio a longo prazo. Se  $\alpha_2$  for estatisticamente significativo, ele nos informa qual a proporção do desequilíbrio nos preços do Brent em um dia, que será corrigida no dia seguinte.

#### 4.2.1 TESTES DE AVALIAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO

Ambas as equações de curto e longo prazo estimadas por Mínimos Quadrados Ordinários, através da modelagem de co-integração, GARCH e VAR, terão de satisfazer 11 hipóteses implícitas no Modelo de Regressão Linear Normal, fundamental para a correta avaliação dos resultados em relação a variável explicativa (preços do Brent) e ao termo de erro.

GUJARATI (2000) as relaciona de maneira sintética:

A Hipótese 1: o modelo de regressão é linear nos parâmetros: Essa hipótese é atendida pelo modelo log-linear pois para as equações de curto e de longo prazo.  $\alpha = \ln\beta_1$ , sendo linear nos logaritmos das variáveis WTI e Brent<sup>18</sup>.

A Hipótese 2: A variável explicativa é não-estocástica: É validada, pois a análise de regressão é condicional ao regressor.

A Hipótese 3: Postula que a expectativa de erro deve ser nula. Através do teste de média populacional igual a zero.  $\mu = 0$ . Caso o  $p$ -valor da estatística  $t$  formulada abaixo for suficientemente baixo, deve-se rejeitar a hipótese de media zero.

$$t_i = \frac{\bar{x}_i - \mu}{\delta_i} \quad \text{Equação (16)}$$

onde:

$\bar{x}_i$  = média populacional dos resíduos da regressão dos preços  $i$ ;

$\delta_i$  = desvio padrão dos resíduos da regressão dos preços  $i$ ;

A Hipótese 4: Assume a ausência de heterocedasticidade, ou seja, que a variância dos resíduos é constante. O teste para a verificação desta hipótese será o teste de White. A partir dos resíduos da regressão de longo prazo (5), roda-se a seguinte

regressão:  $\hat{u}_i^2 = \alpha_1 + \alpha_2 X_{2i} + \alpha_3 X_{3i} + \alpha_4 X_{2i}^2 + \alpha_5 X_{3i}^2 + \alpha_6 X_{2i} X_{3i} + v_i$ ; e em seguida são obtidos seu  $R^2$  sob a hipótese nula de que não há heterocedasticidade se  $nR^2$  assintoticamente segue uma distribuição  $\chi^2$  com gl igual ao número de regressores da regressão auxiliar. ou seja:  $nR^2 \underset{\text{ass}}{\sim} \chi_{gl}^2$ ; desta maneira, se o valor desta estatística

<sup>18</sup> Conforme ressaltam PINDYCK e RUBINFELD (2004, p.673) “ A transformação logarítmica é usada com frequência na análise de séries temporais como maneira de remover o aumento da variância dos dados ao longo do tempo.”

exceder os valores críticos de significância da tabela qui-quadrado, conclui-se de que há heterocedasticidade nos resíduos.

A Hipótese 5: Assume que não há autocorrelação nas perturbações para os dados Xs. O teste de avaliação é o de Breusch-Godfrey, que supõe a presença de autocorrelação de ordem superior no termo de perturbação puramente aleatório com média zero e variância constante. ou seja.  $\mu_t = \rho_1\mu_{t-1} + \rho_2\mu_{t-2} + \dots + \rho_p\mu_{t-p} + \varepsilon_t$ ; sob a hipótese nula de que  $H_0 = \rho_1 = \rho_2 = \dots + \rho_p = 0$ , ou seja, todos os coeficientes auto-regressivos são iguais a zero, não tendo autocorrelação de ordem alguma. O teste, assintoticamente, toma a seguinte especificação:  $(n - p).R^2 \sim \chi_p^2$ ; mostrando que  $n$  (número de observações) multiplicado pelo  $R^2$  obtido segue o teste de qui-quadrado com  $p$  graus de liberdade, onde  $p$  é igual ao número de defasagens a se testar. Se este valor obtido exceder o valor crítico da distribuição de qui-quadrado em nível escolhido de significância, podemos rejeitar a hipótese nula. Um valor  $p$  suficientemente baixo implica na rejeição da hipótese de que todos os coeficientes defasados dos resíduos estimados sejam iguais a zero, reforçando a suspeita da presença de autocorrelação.

A Hipótese 6: O termo de perturbação é não-correlacionado ou independente. Esta hipótese será avaliada através do teste de efeito ARCH, que supõe a presença de autocorrelação e heterocedasticidade residual. O teste é descrito a partir da estimativa do resíduo da regressão estimada, sob a hipótese nula;  $\hat{u}_t^2 = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \hat{u}_{t-1}^2 + \hat{\alpha}_2 \hat{u}_{t-2}^2 + \dots + \hat{\alpha}_p \hat{u}_{t-p}^2$ , calculando-se  $nR^2 \sim \chi_p^2$  com os graus de liberdade igual ao número de termos auto-regressivos na regressão auxiliar. Se o valor de probabilidade de obter tal valor de qui-quadrado for menor que 0,005, por exemplo. existe a evidencia de que a variância do erro se correlaciona serialmente.

A Hipótese 7: O número de observações deve ser maior do que o número de regressores. Esta hipótese é facilmente satisfeita uma vez que a série é maior do que o número de regressores.

A Hipótese 8: “*Deve haver variabilidade suficiente em valores assumidos pelos regressores.*” (Gujarati.2000. p.311). Esta hipótese é satisfeita, uma vez que o modelo de co-integração de longo prazo é uma regressão linear simples e os preços do WTI e Brent são altamente oscilantes.

A Hipótese 9: Diz respeito a correta especificação do modelo. O teste RESET de Ramsey verifica esta hipótese. Se o valor do teste  $F^{19}$  for significativo, podemos aceitar a hipótese de que o modelo está especificado incorretamente. O teste de White disposto para avaliação da 5ª hipótese, também é empregado para avaliar a especificação do modelo escolhido.

A Hipótese 10: Postula que não há relação linear exata (multicolinearidade) nos regressores. Esta hipótese será avaliada para cada resultado gerado pelos diferentes modelos econométricos empregados.

A Hipótese 11: Esta hipótese assume que a distribuição dos resíduos da regressão sigam uma normal. O teste Jarque-Bera para grandes amostras segue a fórmula (GUJARATI.2000):

$$JB = n \left( \frac{A^2}{6} + \frac{(C-3)^2}{24} \right) \quad \text{Equação (17)}$$

onde: A representa a assimetria e C o coeficiente de curtose dos resíduos de MQO. Sob a hipótese nula de que os resíduos seguem a distribuição normal com simetria = 0 e curtose = 3. Um valor-p suficientemente baixo implica a rejeição da mesma, ou seja, indica que os resíduos não tem distribuição normal.

#### 4.3.1 MODELAGEM ARCH, GARCH, EGARCH E TARCH

Através da suposição levantada por PINDYCK e RUBINFELD (2004, p.328) de que : “Em algumas aplicações pode haver motivo para acreditar que a variância do termo de erro não é uma função de uma variável explanatória. mas. em vez disso. varia ao longo do tempo de uma maneira que depende de quão elevados tenham sido os erros no passado.” Deste modo, com os resíduos obtidos das equações de longo prazo (13) e a de curto prazo (15) verificam-se os padrões de aglomeração de volatilidades e se a capacidade de prever as variáveis oscila consideravelmente de um período para outro.

<sup>19</sup> Segundo GUJARATI (2000,p.467), o teste F toma a seguinte especificação:

$$F = \frac{(R_{novo}^2 - R_{velho}^2) / (\text{número.de.regressores})}{(1 - R_{novo}^2) / (n - \text{número.de.parâmetros.do.novo.modelo})}$$

A presença de volatilidade na dinâmica de preços do petróleo pode ajudar a explicar tal variabilidade que na maioria das vezes são atribuídas a convulsões políticas, mudanças nas políticas macroeconômicas, etc. Como sugere GUJARATI (2000, p. 438) “Isto sugeriria que a variância dos erros de previsão não é constante, mas varia de um período para outro, ou seja, há uma espécie de autocorrelação na variância dos erros de previsão.”

Para justificar a autocorrelação na variância no termo de perturbação das regressões de curto e de longo prazos, Robert Engle introduziu a modelagem de heterocedasticidade condicional regressiva (ARCH) afim de trazer maior eficiência<sup>20</sup>.

A equação que relaciona a variância do termo de erro ao tamanho da volatilidade observada em períodos recentes seria (PINDYCK e RUBINFELD, 2004):

$$\sigma_i^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{i-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{i-2}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{i-p}^2 \quad \text{Equação (18)}$$

Indicando que a variância de  $\varepsilon_i$ ,  $\sigma_i^2$  tem dois componentes:

$\alpha_0$  que é uma constante;

$\alpha_1 \varepsilon_{i-1}^2$  que são as novidades do último período sobre volatilidade, modelada com o resíduo ao quadrado do último período, ou seja, o termo ARCH;

O modelo considera a heterocedasticidade condicional de  $\varepsilon_i$ , obtendo estimativas mais eficientes dos parâmetros  $\beta$ , através da estimação por máxima verossimilhança.

No entanto, parece haver a chance da volatilidade dos preços dos óleos ser explicada por vários períodos de tempo para trás, de acordo com PINDYCK e RUBINFELD (2004,p.329) “(Isto é verdade, por exemplo, em aplicações financeiras que implicam o uso de dados diários ou semanais). O problema é que nesse caso é preciso estimar um grande número de parâmetros. e isso pode ser difícil se fazer com precisão.”

A equação (18) da especificação ARCH disposta anteriormente, é simplesmente um modelo de defasagem distribuída para o termo  $\sigma_i^2$  e se

<sup>20</sup> PINDYCK e RUBINFELD (2004), explicam a importância da eficiência de um estimador, pois para que  $\beta$  seja não-tendencioso eficiente, dado um tamanho de amostra, a sua variância será menor que qualquer outro estimador não-tendencioso. A eficiência é desejável, pois quanto maior seja a eficiência associada a uma estimativa, tanto mais forte é a afirmação *estatística* que se pode fazer a respeito de parâmetros estimados.

introduzirmos valores defasados de  $\sigma_i^2$  do lado direito da equação (18) obteremos desta maneira um modelo de heterocedasticidade condicional auto-regressiva generalizada (GARCH.  $p, q$ )<sup>21</sup>, onde  $p$  é a ordem dos termos GARCH e  $q$  é a ordem do termo ARCH, introduzido por Bollerslev, referindo-se a seguinte equação para  $\sigma_i^2$  (PINDYCK e RUBINFELD. 2004 p. 329):

$$\sigma_i^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{i-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{i-p}^2 + \lambda_1 \sigma_{i-1}^2 + \dots + \lambda_q \sigma_{i-q}^2 \quad \text{Equação (19)}$$

Mostrando que a variância do termo de erro tem agora três componentes:

$\alpha_0$  que é uma constante;

$\alpha_1 \varepsilon_{i-1}^2$  a volatilidade do último período, o termo ARCH;

$\lambda_1 \sigma_{i-1}^2$  a variância do último período, o termo GARCH;

Dentro de um modelo de defasagem distribuída geométrica, quando  $\lambda_1 < 1$ ; reescrevemos a equação (20) GARCH ( $p, q$ ), como:

$$\sigma_i^2 = \frac{\alpha_0}{1 - \lambda_1} + \alpha_1 \sum_{j=1}^{\infty} \lambda_1^{j-1} \varepsilon_{i-j}^2 \quad \text{Equação (20)}$$

Indicando desta forma que a variância hoje depende de todas as volatilidades passadas, mas com ponderações que declinam geometricamente.

Dentro da especificação GARCH ( $p, q$ ) para a volatilidade dos preços do WTI e Brent toma-se a seguinte especificação:

$$\begin{aligned} \Delta \ln WTI_t &= \alpha_0 + \varepsilon_t \\ \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \lambda_q \sigma_{t-q}^2 \end{aligned} \quad \text{Equação (21)}$$

$$\begin{aligned} \Delta \ln Brent_t &= \alpha_0 + \varepsilon_t \\ \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \lambda_q \sigma_{t-q}^2 \end{aligned} \quad \text{Equação (22)}$$

<sup>21</sup> A equação (11) GARCH ( $p, q$ ) pode ser ainda mais generalizada pela inclusão de variáveis exógenas como determinantes aditivos da variância do erro, como num modelo GARCH (1,1):

$\sigma_i^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{i-1}^2 + \lambda_1 \sigma_{i-1}^2 + \gamma X_{3t}$ . Porém, se  $X_{3t}$  assumir valores negativos poderia fazer com que a variância fosse negativa para algumas observações. Também é possível inserir o desvio padrão  $\sigma_t$  ou  $\sigma_i^2$  do lado direito da equação, quando o propósito é explicar o retorno de um ativo financeiro, pois espera-se um retorno proporcional ao seu risco, sendo assim denominado ARCH-M (ARCH na média).

Onde:

$$\Delta \ln WTI_t = \left( \frac{\ln WTI_t}{\ln WTI_{t-1}} \right); \text{ ou seja, obtém-se os retornos dos preços do WTI e da}$$

mesma forma para os preços do Brent;

$\sigma_t^2$  é a equação da variância do termo de erro como função das volatilidades passadas e de sua variância defasada.

ALEXANDER (2001) postula que, quanto mais parcimoniosa for a definição da equação da média condicional, melhor será possível avaliar o desempenho do modelo. Dessa forma, neste estudo foi adotada a equação  $r_t = c + \varepsilon_t$  (regressão do retorno apenas em função de uma constante) como padrão para o cálculo da média condicional.

Nesta modelagem, se a soma dos parâmetros ARCH e GARCH forem muito próximas de 1, há um indicativo de que os choques de volatilidade serão persistentes, havendo uma convergência da previsão da variância condicional direcionar-se para uma constante lentamente. (EViews USER'S GUIDE, 2002).

Salientam GOULART *et. alli* (2005, p. 89), que “apesar de o modelo GARCH  $(p,q)$  captar corretamente diversas características observadas nas séries históricas financeiras, como a leptocurtose (ou seja, com curtose  $>3$ , as distribuições apresentam “picos altos” e “caudas gordas”) e agrupamento de volatilidades, não capta o efeito de alavancagem<sup>22</sup>, uma vez que a variância condicional é função apenas da magnitude das inovações e não dos seus sinais”. Assim surgiram algumas extensões com a finalidade de modelar o problema da assimetria, tais como os modelos EGARCH e TARARCH.

ZAKOIAN e GLOSTEN (1994), JAGANATHAN e RUNKLE (1993), introduziram de maneira independente o modelo TARARCH<sup>23</sup>. Nesse modelo, é acrescentado um termo á equação-padrão GARCH, que objetiva reconhecer os componentes assimétricos á volatilidade condicional. A especificação da variância condicional é dada por:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma_1 \varepsilon_{1,t-1}^2 d_{t-1} + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad \text{Equação (23)}$$

Onde  $d_{t-1} = 1$  se  $\varepsilon_1 < 0$ , e 0 se caso contrário;

<sup>22</sup> Os autores se referem ao *leverage effect*

<sup>23</sup> É comum na literatura a sigla atribuída aos autores GJR-GARCH para o modelo.

Segundo Eviews 4 User's Guide (2000), neste modelo as boas notícias ( $\varepsilon_1 > 0$ ) e as más notícias ( $\varepsilon_1 < 0$ ), exercem diferentes efeitos na variância condicional:

As boas notícias tem impacto em  $\alpha_1$ , enquanto as más notícias tem impacto em  $(\alpha_1 + \gamma_1)$ . Se  $\gamma_1 > 0$  dizemos que o chamado *leverage effect*<sup>24</sup> existe, onde as más notícias elevam a volatilidade. Se  $\gamma \neq 0$ , o impacto de notícias é assimétrico.

O modelo EGARCH, foi proposto por NELSON (1991), onde incorpora os efeitos assimétricos de mercado aos modelos auto-regressivos de volatilidade condicional, e a não imposição artificial de restrições aos parâmetros da equação, dada a sua formulação em termos logarítmicos.

SHEPPARD (2006, p. 13) explica que o modelo EGARCH, modela o logaritmo da variância e inclui ambos os termos simétrico e assimétrico.

Ressaltam Goulart *et al.* (2005, p.89) que o referido modelo necessita de adaptações para a sua implementação computacional e, por vezes, apresenta um alto grau de persistência após choques significativos de volatilidade.

Conforme Eviews 4 User's Guide (2000, p. 409), a especificação da variância é:

$$\log \sigma_t^2 = \alpha_0 + \beta \log \sigma_{t-1}^2 + \alpha \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + \gamma \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| \quad \text{Equação (24)}$$

Sendo que, do lado esquerdo da equação são expressos o logaritmo da variância condicional, implicando que o *leverage effect* seja exponencial, superior a equação quadrática, e que garante que a projeção da variância condicional seja não-negativa. A presença do *leverage effect* pode ser testada sob a hipótese de que  $\gamma \neq 0$ <sup>25</sup>.

Finalizando, a mesma modelagem univariada será empregada para os preços do WTI e do Brent nos modelos ARCH, GARCH, TARARCH e EGARCH conforme descritos anteriormente.

<sup>24</sup> Segundo SILVA (2002, p.6), "o conhecido *leverage effect*. ocorre quando nas séries financeiras se tornam evidentes o efeito maior das quedas sobre a volatilidade; ou melhor, a volatilidade é muito maior nos períodos de queda do que de alta nos mercados financeiros".

<sup>25</sup> Vale ressaltar que nesta modelagem assume-se que os erros se distribuem normalmente.

### 4.3.2 ESTIMATIVA DA CURVA DE IMPACTO DE NOTÍCIAS

Neste subitem são abordados como o conceito de volatilidade e como a Curva de Impacto de Notícias podem ajudar a explicar o comportamento dos agentes frente a formação de suas expectativas quanto aos preços futuros do petróleo no mercado internacional.

Para ALEXANDER (2001, p. 498), a definição de volatilidade no âmbito matemático pode ser conceituada como o desvio padrão do valor do retorno expressa em termos percentuais ao ano.

No escopo financeiro a volatilidade é uma variabilidade dos valores dos preços dos bens, onde é o mais comum indicador de incerteza ou risco e é tipicamente expressa pelo desvio padrão de uma variável aleatória.

São vários fatores que desencadeiam a volatilidade e afetam a formação de expectativas futura dos agentes. SCHWERT (1989), estudou as razões das mudanças da volatilidade de período a período. As análises incluíram as relações das volatilidades das ações com a real e nominal volatilidade macroeconômica, o capital de atividades comerciais, alavancagem financeira, risco de *default* e a lucratividade das firmas, usando dados mensais de 1857 a 1986. Encontrou uma volatilidade de 200% a 300% no mercado de ações no pico da Grande Depressão em 1929 a 1939. A série macroeconômica se mostrou mais volátil no mesmo período, porém não conseguiu coincidir com o mercado acionário. Muitas séries de agregados macroeconômicos bem como o valor de retornos financeiros tiveram uma elevada volatilidade no período de recessão.

Recentemente, tem-se observado constantes choques de notícias e informações desviando os preços dos óleos de uma tendência definida, dificultando as previsões de muitos analistas de mercado e investidores.

Um exemplo de notícia em VALOR (2006), aponta para a falta de uma tendência definida nos preços da *commodity* WTI, baseada unicamente em fundamentos microeconômicos:

Os preços do petróleo operam sem tendência definida em Nova York nesta tarde, após a decisão da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) de manter inalterada a cota de produção da *commodity* pelo cartel. Os agentes do segmento ponderam ainda o aumento da previsão do grupo para a demanda global neste ano, que passou de 85,37 milhões de barris diários para 85,5 milhões de barris por dia. Instantes atrás, o contrato de

WTI negociado para abril em Nova York apurava aumento de US\$ 0,08, para US\$ 58,24. O vencimento de maio era negociado a US\$ 60,43, com queda de US\$ 0,04.

Nesse contexto, o conceito da Curva de Impacto de Notícias foi desenvolvido por ENGLE & NG (1993) para representar a resposta da volatilidade a choques nos valores dos retornos dos preços. No entanto, é frequentemente observado que movimentos para baixo do mercado, são seguidos de altas volatilidades da mesma magnitude.

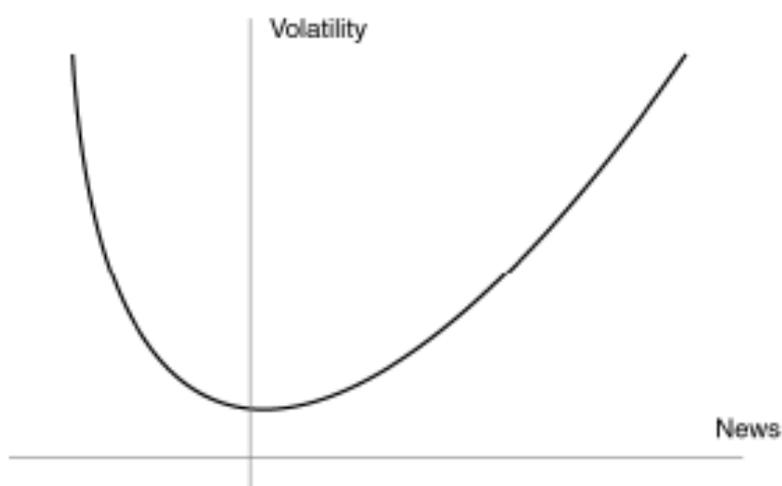
Esta característica se deve a distribuição de probabilidade leptocúrtica de ativos financeiros, possuindo média alta e caudas largas. Segundo GLEISER (2002, p.220).

As caudas largas podem ser atribuídas ao fato de que as informações que movimentam o mercado surgem em blocos, e não de forma contínua. Assim, grandes variações nos preços ocorrem em pequenas quantidades de grandes magnitudes (...). Como a distribuição das informações é leptocúrtica, a distribuição das variações de preços também o é.

Para descrever este fenômeno ENGLE & NG (1993), descrevem a Curva de Impacto de Notícias com resposta assimétrica a boas e más notícias.

A Curva é representada a seguir:

**GRÁFICO 6** – Curva de Impacto de Notícias de GRANGER & NG



**FONTE:** EIEWS 4 USER'S GUIDE (2002,p.408)

Para SHEPPARD (2006, p.18), ainda que com uma escala larga de modelos de volatilidade, pode ser difícil determinar o efeito preciso de um choque à variância condicional [volatilidade].

“Assim como a função de impulso-resposta resolveu edições similares em modelos VAR, a curva de impacto de notícias resolve este problema em modelos ARCH. A curva do impacto de notícias é quase auto-descritiva. Mede o efeito de um choque na variância condicional do período seguinte. Para normalizar a curva, a variância no período atual é ajustada à variância incondicional.”

A estimativa desta curva, objetiva plotar a volatilidade  $\sigma^2$  de encontro com o impacto de choques,  $z = \varepsilon / \sigma$ , onde fixam-se o último período de volatilidade,  $\sigma_{t-1}^2$ , a mediana da série de variância condicional estimada e aproxima o impacto de um período condicionado ao último período de volatilidade. (EVIEWES 4 USER`S GUIDE, 2002, p.410).

#### 4.4.1 A MODELAGEM VAR

Para DIAS (2005), as evidências empíricas e lógicas microeconômicas (forças de oferta x de demanda, etc.) indicam o processo estocástico do preço do óleo como tendo o *componente* de Movimento de Reversão à Média e os preços do *mercado futuro* (estrutura a termo) outro indicativo de processo de reversão a média, pelo menos dentro do horizonte de até 2 anos.

Com o objetivo de analisar o comportamento dinâmico dos preços do petróleo, as etapas metodológicas para o desenvolvimento do VAR são as seguintes: (GUJARATI, 2000 e PINDYCK & RUBINFELD, 2004)

- 1º Escolher a defasagem ótima do sistema pelos critérios Akaike (AIC) e Schwartz (SBC);
- 2º Realizar o teste de causalidade de Granger
- 3º Relacionar três variáveis principais no modelo, a saber: O logaritmo natural dos preços do WTI,  $\ln WTI_t$ ; o logaritmo natural do preço do Brent.  $\ln Brent_t$  e a volatilidade dos óleos gerada pelo processo GARCH.

$\sigma_t^2$ ;

- 4º Realizar o teste de *Johansen-Juselius* para verificação de mais de um vetor de cointegração diferentemente do teste EG disposto anteriormente que supõe a presença de uma única relação de cointegração;
- 5º Estimar o modelo VAR para as séries cointegradas e interpretar sua relação de longo prazo;
- 6º Estimar o modelo VEC (Vetor de correção de erros) para analisar o comportamento de curto prazo;
- 7º Sumariar os resultados por meio da função de impulso-resposta e da decomposição da variância;
- 8º Computar as projeções para os preços com base no modelo simulado em relação aos valores efetivos;

De maneira sintética, os critérios de Akaike e de Schwartz, podem ser formalizados pelas seguintes equações: (PINDYCK & RUBINFELD, 2004 p.274,275)

$$AIC = \log \left( \frac{\sum \hat{\varepsilon}_i^2}{N} \right) + \frac{2k}{N} \quad \text{Equação (25)}$$

$$SC = \log \left( \frac{\sum \hat{\varepsilon}_i^2}{N} \right) + \frac{k \log N}{N} \quad \text{Equação (26)}$$

Onde:

$\sum \hat{\varepsilon}_i^2$  é a soma dos quadrados dos resíduos

Vale destacar ainda que, neste trabalho buscou-se respeitar o critério da parcimônia na seleção de modelos, como ressalta GUJARATI (2000, p.455) “Um modelo nunca pode ser uma descrição completamente precisa da realidade; para descrever, a realidade, talvez tenhamos de desenvolver um modelo tão complexo terá pouco uso prático.” Desta maneira, um modelo que contenha um número razoável de defasagens, será apropriado, uma vez que este consumirá menos graus de liberdade e diminuirá os efeitos da multicolinearidade elevada.

Os autores PINDYCK & RUBINFELD (2004), relatam as mudanças que o mundo sofreu com o primeiro choque do petróleo e seus impactos nas economias industrializadas, que num primeiro momento causou uma queda na renda real dos países importadores de petróleo e num segundo momento, levou aos chamados “efeitos de ajustamentos”, ou seja, inflação e a subsequente queda de renda real e produto resultante de várias características de rigidez que impediram salários e preços não relacionados com energia de alcançar rapidamente um nível de equilíbrio.

Citando o estudo desenvolvido por James Hamilton, afim de avaliar o impacto macroeconômico das mudanças nos preços do petróleo,  $\Delta P_t$ , variações percentuais no PNB real,  $\log(\text{PNB}_t/\text{PNB}_{t-1})$  e outras principais variáveis macroeconômicas durante o período do pós-guerra, pela metodologia do teste de causalidade de Granger com 4 e 8 defasagens respectivamente, não rejeitou a hipótese de que mudanças nos preços do petróleo não causa mudança do PNB real, com direção de causalidade bilateral, evidenciando desta maneira uma forte relação entre os preços do petróleo e a economia.

Sob a hipótese nula de que uma variável não ajuda a prever outra, é testada a condição de que “ $\ln\text{Brent}_t$  não causa  $\ln\text{WTI}_t$ ”, estimamos uma regressão em  $\ln\text{WTI}_t$  em relação a seus próprios valores defasados bem como a valores defasados de  $\ln\text{Brent}_t$  (regressão irrestrita) e em seguida estimamos uma regressão de  $\ln\text{WTI}_t$  apenas em relação a valores defasados dele próprio (regressão restrita).

Um simples teste  $F$  pode ser usado então para determinar se os valores defasados de  $\ln\text{Brent}_t$  contribuem significativamente para o poder explicativo da primeira regressão<sup>26</sup>.(PINDYCK & RUBINFELD, 2004, p.279-280) Em caso afirmativo, podemos rejeitar a hipótese nula e concluir que os dados são consistentes com  $\ln\text{Brent}_t$  como causa de  $\ln\text{WTI}_t$ . A hipótese nula de “Y não causa X” é testada da mesma maneira.

Deste modo, os procedimentos descritos são formalizados pelas duas equações:

---

<sup>26</sup> Sob a hipótese nula de que  $H_0: \sum \alpha_i = 0$ , ou seja, termos defasados de  $\ln\text{Brent}$  não pertencem à regressão, aplica-se o teste  $F$ , a saber:  $F = \frac{(SQR_r - SQR_{ir})/m}{SQR_{ir}/(n-k)}$ ; com  $m$  e  $(n-k)$  gl. onde  $m$  = número de termos defasados de  $\ln\text{Brent}$  e  $k$  é o número de parâmetros da regressão irrestrita. Se o valor de  $F$  exceder o valor crítico de  $F$  em nível escolhido de significância, rejeitamos a hipótese nula, ou seja, outro modo de dizer que  $\ln\text{Brent}$  causa  $\ln\text{WTI}$ .(GUJARATI, 2000,p.627-628)

$$\text{Regressão irrestrita } Y = \sum_{i=1}^m \alpha_i \ln WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_i \ln Brent_{t-i} + \varepsilon_t \quad \text{Equação (27)}$$

$$\text{Regressão restrita } Y = \sum_{i=1}^m \alpha_j \ln WTI_{t-i} + \varepsilon_t$$

e usamos SQR de cada regressão para calcular a estatística  $F$  e testar se o grupo de coeficientes  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$  é significativamente diferente de zero. Em caso afirmativo podemos rejeitar a hipótese de que “X não causa Y”. Posteriormente testamos a hipótese nula “Y não causa X” pela estimativa das mesmas regressões com as mesmas regressões, mas trocando de lugar X com Y e testando se os coeficientes defasados de Y são significativamente diferentes de zero. Para concluir que X causa Y, temos de rejeitar a hipótese de que “X não causa Y” e aceitar a hipótese “Y não causa X”.

Conforme salienta GUJARATI (2000, p.626) “O teste de causalidade de Granger supõe que as informações relevantes para previsão das respectivas variáveis (...), estejam contidas nas séries temporais destas variáveis.”

Após a verificação da causalidade obtida com o teste de Granger, a próxima etapa metodológica se destina a avaliar a hipótese da presença de mais de um vetor de co-integração para o seguinte conjunto de variáveis que irão compor o modelo VAR:  $\ln WTI$ ,  $\ln Brent$  e a volatilidade do WTI e Brent respectivamente, gerada pelos modelos GARCH anteriormente descritos, chamado de  $\sigma_t^2 WTI$  e  $\sigma_t^2 Brent$  de forma endógena dentro do teste de co-integração de Johansen ( $JJ$ ).

O teste de cointegração  $JJ$  facilita a verificação de um modelo ótimo testando de forma conjunta a presença de tendência e intercepto ou não, na equação de regressão.

As estatísticas traço e de máximo autovalor apontam o número de vetores de co-integração, para o ajuste de possíveis desequilíbrios de curto prazo, obtido com o Vetor de Correção de Erros (VEC) enquanto os critérios de Akaike e Schwarz selecionam o modelo.

Desta maneira o modelo VAR para a especificação de longo prazo, formaliza-se da seguinte maneira:

Equação (28)

$$\ln WTI_t = \alpha + \sum_{j=1}^m \beta_j \ln WTI_{t-j} + \sum_{j=1}^m \gamma_j \ln Brent_{t-j} + \sum_{j=1}^m \varphi_j WTI \sigma_{i,t-j}^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j Brent \sigma_{i,t-j}^2 + \mu_{1t}$$

$$\ln Brent_t = \alpha' + \sum_{j=1}^m \theta_j \ln WTI_{t-j} + \sum_{j=1}^m \phi_j \ln Brent_{t-j} + \sum_{j=1}^m \tau_j WTI \sigma_{i,t-j}^2 + \sum_{j=1}^m \pi_j Brent \sigma_{i,t-j}^2 + \mu_{2t}$$

Onde, as variáveis de volatilidades dos preços do WTI e do Brent,  $(WTI \sigma_t^2, Brent \sigma_t^2)$  compõem de maneira exógena o modelo e os  $\mu$ 's são os termos de erro estocástico, chamados de impulsos ou inovações na linguagem do VAR estimado pelo método de MQO, de cada uma das variáveis em outras variáveis componentes do modelo defasadas e de si próprias.

Após a estimativa do VAR de longo prazo (Equação (28)), gera-se a função de impulso-resposta, que conforme explicam JOHNSTON e DINARDO (2000), “as funções de impulso-resposta permitem calcular as reações em cadeia de um determinado choque”. Elucidam ONO *et. alli* (2005), que a idéia é a seguinte: suponha um sistema de 1ª ordem com duas variáveis:

$$y_{1t} = \alpha_{11} y_{1,t-1} + \alpha_{12} y_{2,t-1} + \varepsilon_{1t} \quad \text{Equação (29)}$$

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

Uma alteração em  $\varepsilon_{1t}$  tem um efeito imediato de um para um em  $y_{1t}$ , mas não tem efeito em  $y_{2t}$ . No período seguinte, essa alteração em  $y_{1t}$  afeta  $y_{2,t+1}$  através da 1ª equação, mas também afeta  $y_{1,t+1}$  através de segunda equação. Esses efeitos em cadeia repercutem no tempo. Esse vetor estabelece um choque de um desvio padrão na 1ª equação, mantendo todos os outros choques constantes.

Segundo ONO *et. alli* (2006), “a decomposição da variância dos erros de previsão é uma ferramenta útil por mostrar a evolução do comportamento dinâmico apresentado pelas variáveis em consideração  $n$  períodos á frente”.

Logo o uso do modelo da Decomposição da Variância pode ajudar a explicar quanto tempo em média os preços de cada óleo em função de outro pode demorar a se ajustar a um possível choque desviando de sua tendência de reversão á media.

Finalmente, a avaliação de desempenho dos modelos será verificada pelo seguinte conjunto de estatísticas em relação á variável dependente (preços do WTI) contra os valores simulados, com o intuito de realizar uma projeção  $n$  períodos a frente.(PINDYCK & RUBINFELD. 2004):

$$\text{Raiz do erro quadrático médio} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^s - Y_t^a)^2} \quad \text{Equação (30)}$$

Onde:  $Y_t^s$  = valor previsto do WTI

$Y_t^a$  = valor efetivo do WTI

$T$  = número de períodos

A raiz do erro quadrático médio mede o desvio da variável simulada em relação a sua evolução temporal.

Outra medida é o coeficiente de desigualdade de *Theil*, definido como:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^s - Y_t^a)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^s)^2} + \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^a)^2}} \quad \text{Equação (31)}$$

Onde:

O numerador de  $U$  = Raiz do erro quadrático médio

O denominador na forma escalar é tal que seu valor  $0 < U < 1$ ; se  $U = 0$ ,  $Y_t^a = Y_t^s$  para todos os  $t$  e há um ajustamento perfeito; se  $U = 1$ , a capacidade de previsão do modelo é a pior possível.

O coeficiente de desigualdade de Theil pode ser decomposto com o intuito de definir as proporções de desigualdade como:

$$U^M = \frac{(\bar{Y}^s - \bar{Y}^a)^2}{(\frac{1}{T}) \sum (Y_t^s - Y_t^a)^2} \quad \text{Equação (32)}$$

$$U^S = \frac{(\sigma_s - \sigma_a)^2}{(\frac{1}{T}) \sum (Y_t^s - Y_t^a)^2} \quad \text{Equação (33)}$$

$$U^C = \frac{2(1 - \rho) \sigma_s \sigma_a}{(\frac{1}{T}) \sum (Y_t^s - Y_t^a)^2} \quad \text{Equação (34)}$$

As proporções  $U^M$ ,  $U^S$  e  $U^C$  são conhecidas como proporções de tendenciosidade, de variância e de covariância de  $U$  e permitem decompor os erros de simulação segundo suas fontes típicas ( $U^M + U^S + U^C = 1$ )

A proporção  $U^M$  indica a proporção de viés de erro sistemático através da mensuração na qual os valores médios das séries simulada e efetiva se desviam. Espera-se que o valor deste coeficiente se aproxime de zero, pois um valor de  $U^M$  elevado (acima de 0,1 ou 0,2) significaria que há presença de tendenciosidade sistemática e é necessário rever o modelo.

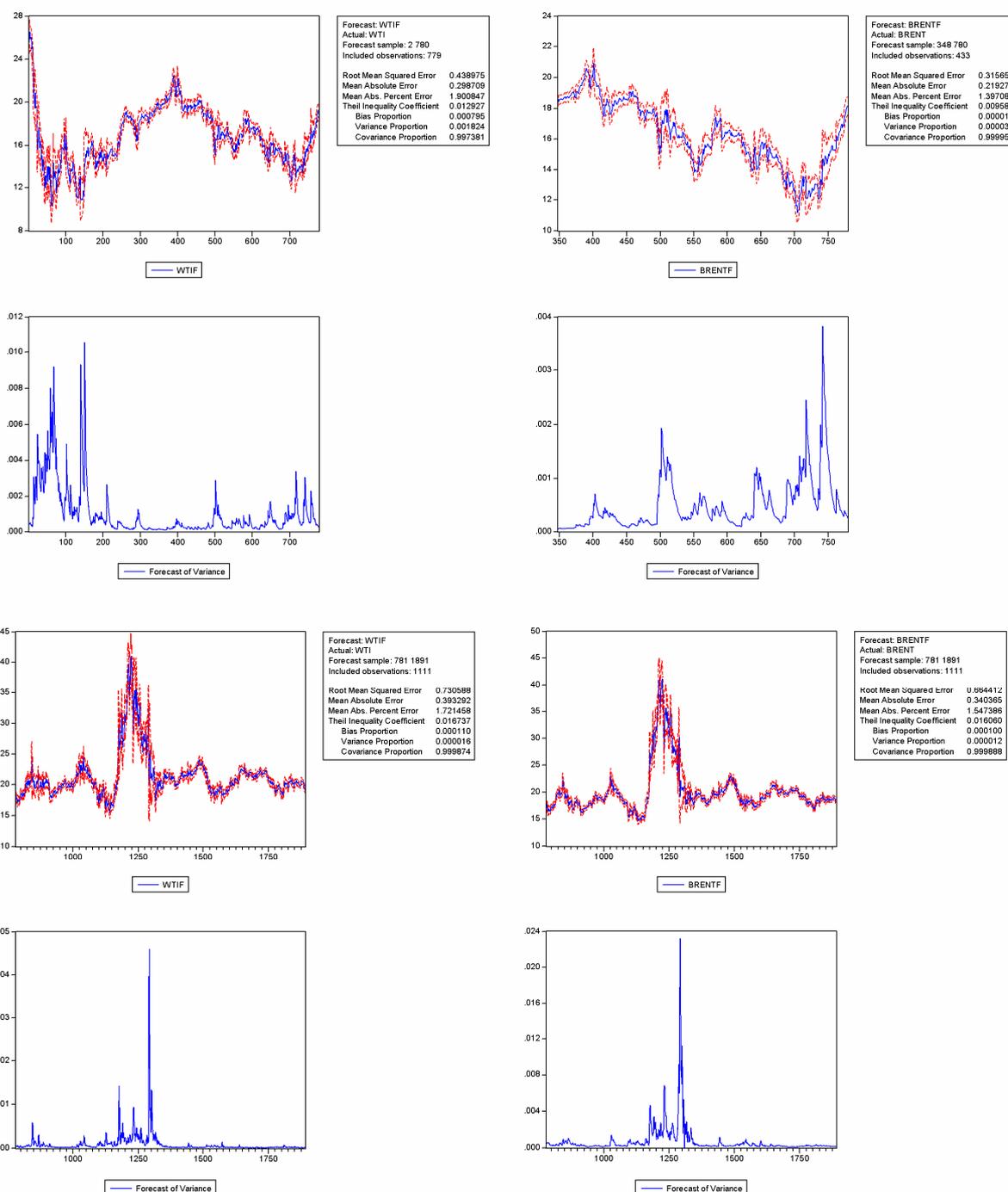
A proporção de variância  $U^S$  indica a capacidade de contestação do modelo em relação ao grau de variabilidade dos preços do WTI. Um valor de  $U^S$  elevado significa que a série efetiva flutuou consideravelmente, enquanto a série simulada apresentou pequena flutuação, ou vice-versa; mostrando que o modelo precisaria ser revisto.

Finalmente, a proporção de covariância  $U^C$  mede erros não-sistemáticos, ou seja, indica os possíveis erros que sobraram depois de considerados os desvios em relação aos valores médios.

De acordo com PINDYCK & RUBINFELD (2004, p.244) "Como não é razoável esperar que as previsões sejam perfeitamente correlacionadas com os resultados efetivos, esse componente de erro é menos preocupante que os outros dois. De fato, para qualquer valor  $U > 0$ , a distribuição ideal de desigualdade nas três fontes seria  $U^M = U^S = 0$  e  $U^C = 1$ ."

## ANEXOS

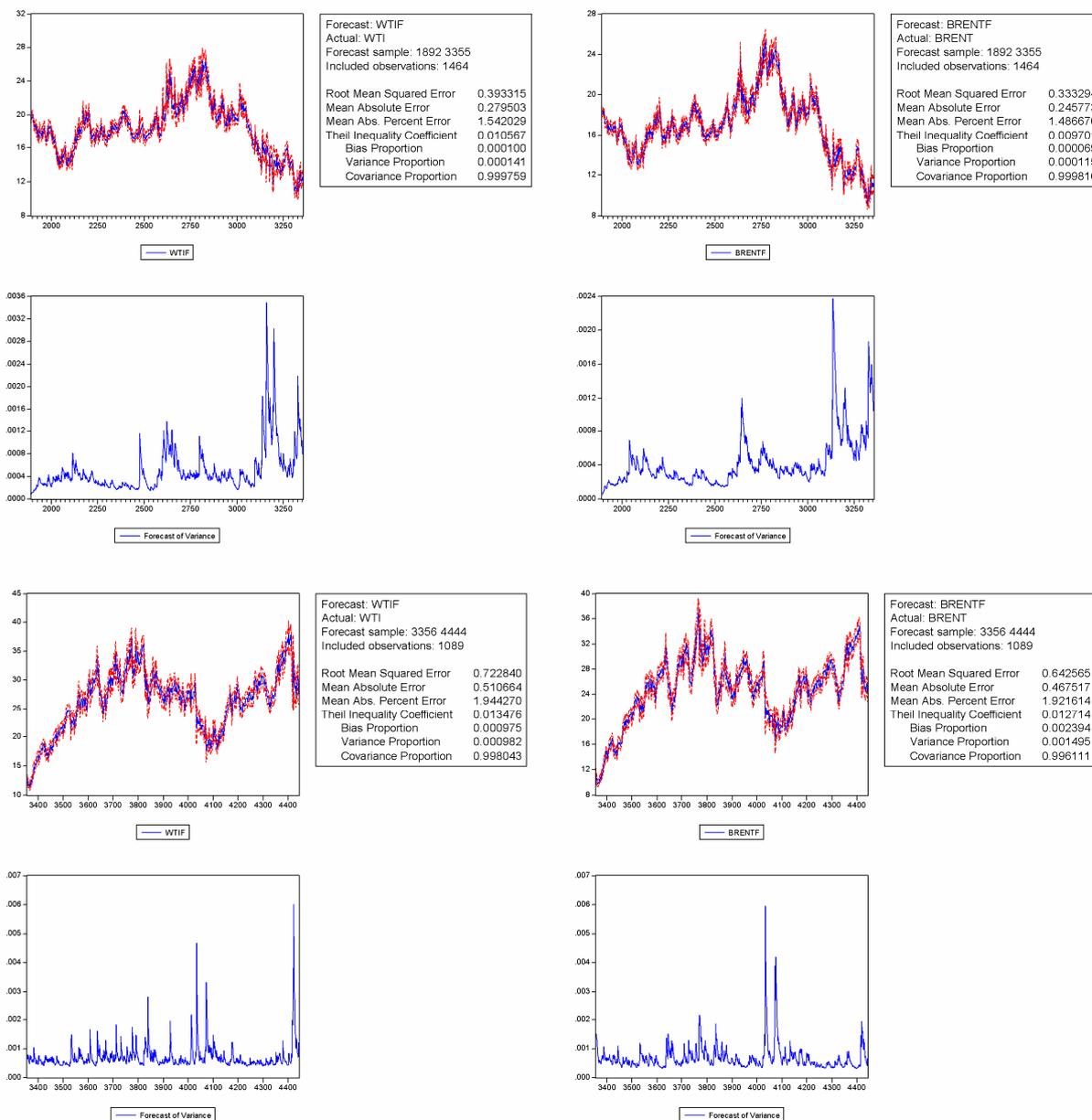
**GRÁFICO 7.** Resultados das estimativas dos modelos GARCH ( $p,q$ ) para o primeiro e segundo cortes temporais para os retornos dos preços do WTI e Brent



**FONTE:** Resultados desta pesquisa, com base nos resultados gerados pelo *software* Eviews 4.1

**NOTA:** Os gráficos superiores mostram o ajuste dos modelos GARCH ( $p,q$ ), quanto mais próximas as linhas vermelhas estiverem das azuis, maior o grau de ajuste. Os gráficos inferiores, em azul, ilustram a trajetória da variância condicional do modelo.

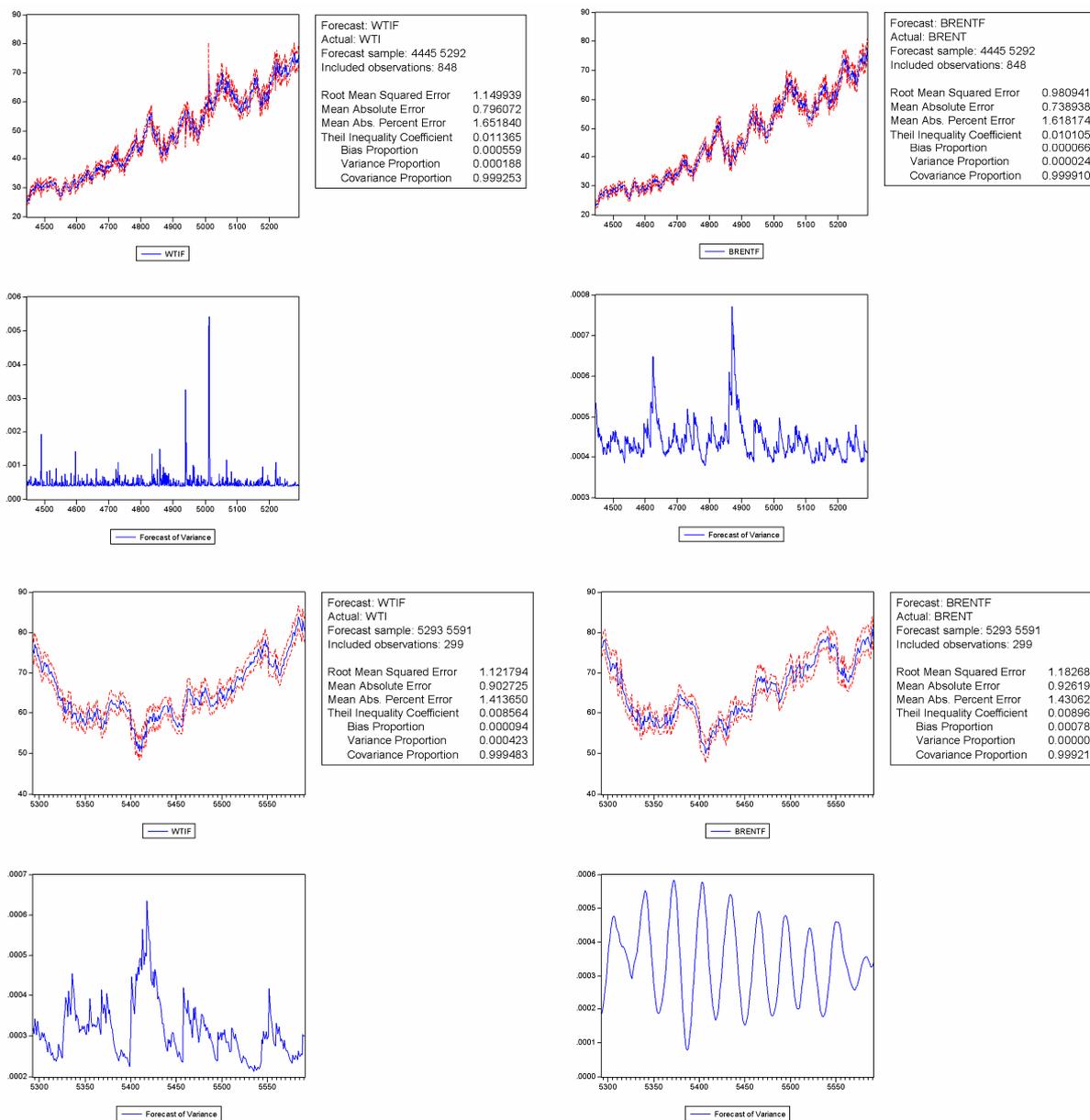
**GRÁFICO 8.** Resultados das estimativas dos modelos GARCH ( $p,q$ ) para o terceiro e quarto corte temporal para os retornos dos preços do WTI e Brent



**FONTE:** Resultados desta pesquisa, com base nos resultados gerados pelo *software* Eviews 4.1

**NOTA:** Os gráficos superiores mostram o ajuste dos modelos GARCH ( $p,q$ ), quanto mais próximas as linhas vermelhas estiverem das azuis, maior o grau de ajuste. Os gráficos inferiores, em azul, ilustram a trajetória da variância condicional do modelo.

## GRÁFICO 9. Resultados das estimativas dos modelos GARCH ( $p,q$ ) para o quinto e sexto corte temporal para os retornos dos preços do WTI e Brent



**FONTE:** Resultados desta pesquisa, com base nos resultados gerados pelo *software* Eviews 4,1

**NOTA:** Os gráficos superiores mostram o ajuste dos modelos GARCH ( $p,q$ ), quanto mais próximas as linhas vermelhas estiverem das azuis, maior o grau de ajuste. Os gráficos inferiores, em azul, ilustram a trajetória da variância condicional do modelo.

## Resultado do modelo VAR não-estrutural para a equação (28)

Vector Autoregression Estimates				
Date: 10/11/07 Time: 12:05				
Sample(adjusted): 355 5591				
Included observations: 5237 after adjusting endpoints				
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]				
	LOG(WTI)	LOG(BRENT)	GARCH01	GARCH02
LOG(WTI(1))	0.933658 -0.01798 [ 51.9234 ]	0.420185 -0.01617 [ 25.9636 ]	-0.002433 -0.00028 [-8.66137]	-0.001116 -0.00013 [-8.35297]
LOG(WTI(2))	-0.058509 -0.02233 [-2.62015]	-0.311988 -0.02006 [-15.5355]	0.004054 -0.00035 [ 11.6186 ]	0.001869 -0.00017 [ 10.0390 ]
LOG(WTI(3))	-0.022348 -0.02326 [-0.96091]	-0.059566 -0.02092 [-2.84794]	-0.001259 -0.00036 [-3.46588]	-0.000342 -0.00017 [-1.97501]
LOG(WTI(4))	0.057771 -0.02328 [ 2.48176 ]	0.018993 -0.02093 [ 0.90723 ]	-0.000447 -0.00036 [-1.22945]	-8.63E-05 -0.00017 [-0.49802]
LOG(WTI(5))	0.018739 -0.02326 [ 0.80568 ]	-0.024368 -0.02092 [-1.16502]	-0.000508 -0.00036 [-1.39787]	-0.000452 -0.00017 [-2.60876]
LOG(WTI(6))	-0.036189 -0.02295 [-1.57587]	-0.049313 -0.02065 [-2.38776]	-0.000701 -0.00036 [-1.95443]	-0.00029 -0.00017 [-1.69555]
LOG(WTI(7))	0.056155 -0.01921 [ 2.92980 ]	0.044403 -0.01727 [ 2.57072 ]	0.001521 -0.0003 [ 5.06733 ]	0.000616 -0.00014 [ 4.30945 ]
LOG(BRENT(-1))	0.055768 -0.01998 [ 2.79157 ]	0.744911 -0.01797 [ 41.4622 ]	-0.002492 -0.00031 [-7.98426]	-0.000989 -0.00015 [-6.64982]
LOG(BRENT(-2))	0.072334 -0.02468 [ 2.93115 ]	0.18995 -0.02219 [ 8.55890 ]	0.001846 -0.00039 [ 4.78873 ]	0.000433 -0.00018 [ 2.35452 ]
LOG(BRENT(-3))	-0.036753 -0.02491 [-1.47562]	0.001446 -0.0224 [ 0.06457 ]	0.000579 -0.00039 [ 1.48872 ]	0.000654 -0.00019 [ 3.52790 ]
LOG(BRENT(-4))	-0.003676 -0.02494 [-0.14743]	0.00491 -0.02243 [ 0.21892 ]	0.001034 -0.00039 [ 2.65421 ]	0.000115 -0.00019 [ 0.62031 ]
LOG(BRENT(-5))	-0.060334 -0.02493 [-2.42006]	-0.009397 -0.02242 [-0.41910]	-0.000286 -0.00039 [-0.73422]	3.42E-05 -0.00019 [ 0.18408 ]
LOG(BRENT(-6))	0.03948 -0.02421 [ 1.63063 ]	0.041183 -0.02177 [ 1.89164 ]	0.001078 -0.00038 [ 2.85015 ]	0.000533 -0.00018 [ 2.95533 ]
LOG(BRENT(-7))	-0.018994 -0.01854 [-1.02450]	-0.009889 -0.01667 [-0.59309]	-0.001969 -0.00029 [-6.79826]	-0.000778 -0.00014 [-5.63848]
GARCH01(-1)	-0.243388 -141.506 [-0.17200]	0.392641 -127.260 [ 0.30869 ]	0.569879 -0.02211 [ 25.7749 ]	0.007347 -0.01053 [ 0.69739 ]
GARCH01(-2)	3.634.361 -162.162 [ 2.24119 ]	1.196.258 -145.836 [ 0.82028 ]	0.362745 -0.02534 [ 14.3167 ]	-0.020858 -0.01207 [-1.72776]
GARCH01(-3)	-1.395.524 -171.341 [-0.81447]	-0.082631 -154.091 [-0.05375]	-0.121302 -0.02677 [-4.53103]	-0.049354 -0.01276 [-3.86911]
GARCH01(-4)	3.173.755 -170.759 [ 1.85862 ]	3.639.749 -153.568 [ 2.36947 ]	0.031516 -0.02668 [ 1.18123 ]	0.04596 -0.01271 [ 3.61530 ]
GARCH01(-5)	1.083.796 -170.626 [ 0.63519 ]	0.240996 -153.449 [ 0.15705 ]	-0.270662 -0.02666 [-10.1525]	-0.112537 -0.0127 [-8.85935]
GARCH01(-6)	-5.671.554 -142.877 [-3.96953]	-4.197.344 -128.493 [-3.26659]	-0.015051 -0.02232 [-0.67422]	0.011098 -0.01064 [ 1.04332 ]
GARCH01(-7)	0.105465 -123.022 [ 0.08573 ]	-0.031379 -110.637 [-0.02836]	0.25459 -0.01922 [ 13.2449 ]	0.086526 -0.00916 [ 9.44742 ]
GARCH02(-1)	9.163.363 -299.396 [ 3.06072 ]	5.078.392 -269.245 [ 1.88616 ]	-0.157732 -0.04678 [-3.37193]	0.95105 -0.02229 [ 42.6701 ]
GARCH02(-2)	-6.677.355 -424.380 [-1.57344]	-3.058.880 -381.655 [-0.80148]	0.143458 -0.06631 [ 2.16352 ]	-0.013481 -0.03159 [-0.42669]
GARCH02(-3)	-4.920.224 -424.377 [-1.15940]	-1.563.873 -381.653 [-0.40976]	0.527345 -0.06631 [ 7.95303 ]	0.24491 -0.03159 [ 7.75186 ]
GARCH02(-4)	-6.262.531 -426.831 [-1.46722]	-1.498.453 -383.859 [-3.90365]	-0.538781 -0.06689 [-8.07680]	-0.265041 -0.03178 [-8.34084]
GARCH02(-5)	-5.971.696 -428.727 [-1.39289]	3.229.714 -385.565 [ 0.83766 ]	0.902474 -0.06699 [ 13.4724 ]	0.406154 -0.03192 [ 12.7251 ]
GARCH02(-6)	1.100.868 -399.255 [ 2.75731 ]	1.141.877 -359.060 [ 3.18019 ]	-0.387607 -0.06238 [-6.21342]	-0.232702 -0.02972 [-7.82891]
GARCH02(-7)	2.408.931 -259.128 [ 0.93002 ]	-1.373.029 -233.040 [-0.58918]	-0.395202 -0.04049 [-8.27908]	-0.098821 -0.01929 [-5.12257]
C	0.012996 -0.00322 [ 4.02976 ]	-0.006919 -0.0029 [-2.38573]	-2.75E-05 -5.00E-05 [-0.54478]	2.14E-05 -2.40E-05 [ 0.88953 ]
R-squared	0.997185	0.997944	0.83698	0.937891
Adj. R-squared	0.99717	0.997933	0.836104	0.937557
Sum sq. resids	2.966.082	2.398.920	0.000724	0.000164
S.E. equation	0.023865	0.021462	0.000373	0.000178
F-statistic	65888.96	90274.77	9.549.675	2.808.752
Log likelihood	12145.61	12701.32	33925.8	37808.23
Akaike AIC	-4.627.310	-4.839.533	-1.294.512	-1.442.781
Schwarz SC	-4.690.965	-4.803.188	-1.290.878	-1.439.147
Mean dependent	3.222.937	3.157.979	0.000638	0.000548
S.D. dependent	0.448594	0.472043	0.000921	0.000711
Determinant Residual Covariance		2.64E-22		
Log Likelihood (d.f. adjusted)		100380.8		
Akaike Information Criteria		-3.829.093		
Schwarz Criteria		-3.814.555		

FONTE: Resultados desta pesquisa, com base nos resultados gerados pelo software Eviews 4,1

## Resultado do modelo VEC não-estrutural para a equação (28)

Vector Error Correction Estimates  
Date: 10/11/07 Time: 12:17  
Sample(adjusted): 356 5591  
Included observations: 5236 after adjusting endpoints  
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

Cointegrating Eq:	CoIntEq1	CoIntEq2	CoIntEq3	
LOG(WTI(-1))	1.000.000	0	0	
LOG(BRENT(-1))	0	1.000.000	0	
GARCH01(-1)	0	0	1.000.000	
GARCH02(-1)	-39240.87	-41235.16	-2.331.554	
C	1.828.013	1.943.791	0.000639	
Error Correction:	D(LOG(WTI))	D(LOG(BRENT))	D(GARCH01)	D(GARCH02)
CoIntEq1	-0.047641 -0.003997 [-4.77572]	0.040385 -0.00397 [ 4.50265]	0.000199 -0.00016 [ 1.28021]	-1.00E-05 -7.40E-05 [-0.13603]
CoIntEq2	0.045334 -0.00949 [ 4.77508]	-0.038462 -0.00854 [-4.50609]	-0.000183 -0.00015 [-1.23608]	1.12E-05 -7.00E-05 [ 0.15948]
CoIntEq3	0.526709 -101.262 [ 0.52212]	1.082.705 -0.9104 [ 1.18926]	-0.174827 -0.01575 [-11.0981]	-0.022124 -0.00748 [-2.95612]
D(LOG(WTI(-1)))	-0.019053 -0.01933 [-0.98555]	0.380305 -0.01738 [ 21.8807]	-0.002659 -0.0003 [-8.84049]	-0.001133 -0.00014 [-7.92942]
D(LOG(WTI(-2)))	-0.077415 -0.02091 [-3.70249]	0.068946 -0.0188 [ 3.66768]	0.001419 -0.00033 [ 4.36157]	0.000552 -0.00015 [ 3.57018]
D(LOG(WTI(-3)))	-0.102281 -0.02098 [-4.87417]	0.005227 -0.01887 [ 0.27705]	0.000212 -0.00033 [ 0.65018]	0.000279 -0.00016 [ 1.80072]
D(LOG(WTI(-4)))	-0.044799 -0.02089 [-2.14451]	0.025545 -0.01878 [ 1.36012]	-0.000318 -0.00032 [-0.97789]	0.000139 -0.00015 [-0.89740]
D(LOG(WTI(-5)))	-0.02744 -0.00988 [-1.32866]	-0.000696 -0.0186 [-0.03207]	-0.000723 -0.00032 [-2.24843]	-0.00023 -0.00015 [-1.50444]
D(LOG(WTI(-6)))	-0.067426 -0.02037 [-3.31058]	-0.050487 -0.01831 [-2.75718]	-0.001663 -0.00032 [-5.25002]	-0.00064 -0.00015 [-4.24972]
D(LOG(WTI(-7)))	-0.03278 -0.01927 [-1.70098]	-0.015766 -0.01733 [-0.90987]	-0.000209 -0.0003 [-0.68601]	-1.83E-06 -0.00014 [-0.01287]
D(LOG(BRENT(1)))	0.008871 -0.02095 [ 0.47125]	-0.217287 -0.01883 [-11.5385]	-0.002311 -0.00033 [-7.09375]	-0.00098 -0.00015 [-6.33166]
D(LOG(BRENT(2)))	0.083536 -0.02144 [ 3.88636]	-0.02606 -0.01928 [-1.35196]	-0.000502 -0.00033 [-1.50393]	-0.000587 -0.00016 [-3.70342]
D(LOG(BRENT(3)))	0.04866 -0.02148 [ 2.26492]	-0.022225 -0.01932 [-1.15062]	9.19E-05 -0.00033 [ 0.27483]	4.71E-05 -0.00016 [ 0.29659]
D(LOG(BRENT(4)))	0.044494 -0.02136 [ 2.08367]	-0.019203 -0.0192 [-1.00026]	0.001173 -0.00033 [ 3.53071]	0.000204 -0.00016 [ 1.29248]
D(LOG(BRENT(5)))	-0.013792 -0.02125 [-0.64899]	-0.028119 -0.01911 [-1.47174]	0.000857 -0.00033 [ 2.59345]	0.000214 -0.00016 [ 1.36199]
D(LOG(BRENT(6)))	0.034828 -0.02092 [ 1.66475]	0.016796 -0.01881 [ 0.89300]	0.002123 -0.00033 [ 6.52319]	0.000796 -0.00015 [ 5.14731]
D(LOG(BRENT(7)))	0.030114 -0.01862 [ 1.61897]	0.032563 -0.01674 [ 1.94477]	-0.001178 -0.00029 [-4.06458]	-0.000524 -0.00014 [-3.80715]
D(GARCH01(-1))	-0.838653 -168.474 [-0.52920]	-0.857918 -142.477 [-0.60214]	-0.262076 -0.02465 [-10.6305]	0.024568 -0.01171 [ 2.09758]
D(GARCH01(-2))	2.793.840 -380.306 [ 1.74609]	0.331301 -143.854 [ 0.23030]	0.106196 -0.02489 [ 4.26637]	0.007748 -0.0183 [ 0.65520]
D(GARCH01(-3))	1.324.786 -157.723 [ 0.83995]	0.314248 -141.801 [ 0.22161]	-0.06981 -0.02454 [-0.28043]	-0.038798 -0.01158 [-3.32749]
D(GARCH01(-4))	4.476.335 -156.521 [ 2.85989]	3.881.143 -140.721 [ 2.75804]	0.025135 -0.02435 [ 1.03225]	0.012594 -0.01157 [ 1.08865]
D(GARCH01(-5))	5.633.141 -156.204 [ 3.60627]	3.975.530 -140.436 [ 2.83085]	-0.238416 -0.0243 [-9.81136]	-0.09617 -0.01154 [-8.33025]
D(GARCH01(-6))	0.500444 -156.373 [ 0.32003]	0.966887 -140.588 [ 0.68703]	-0.320644 -0.02433 [-13.1809]	-0.142277 -0.01156 [-12.3107]
D(GARCH01(-7))	0.431052 -125.116 [ 0.34452]	-0.043932 -112.486 [-0.03906]	-0.081247 -0.01946 [-4.17429]	-0.053355 -0.00925 [-5.76994]
D(GARCH02(-1))	1.023.820 -307.005 [ 3.34503]	6.435.581 -274.846 [ 2.34152]	-0.283951 -0.04795 [-6.17696]	-0.032096 -0.02259 [-1.42564]
D(GARCH02(-2))	3.517.284 -307.856 [ 1.14807]	3.000.377 -275.440 [ 1.08930]	-0.159936 -0.04786 [-3.35577]	-0.043327 -0.02264 [-1.91348]
D(GARCH02(-3))	-1.047.893 -305.879 [-0.34258]	1.874.657 -275.002 [ 0.68169]	0.366937 -0.04758 [ 7.70918]	0.19508 -0.02261 [ 8.62928]
D(GARCH02(-4))	-7.521.639 -307.426 [-2.44665]	-1.344.697 -276.392 [-4.86517]	-0.159721 -0.04782 [-3.33971]	-0.065081 -0.02272 [-2.86433]
D(GARCH02(-5))	-1.329.375 -307.946 [-4.31891]	-9.423.545 -276.860 [-3.40372]	0.716298 -0.04791 [ 14.9313]	0.324678 -0.02276 [ 14.2656]
D(GARCH02(-6))	-3.558.915 -313.634 [-1.13474]	0.02153 -281.974 [ 0.00764]	0.42875 -0.04879 [ 8.78753]	0.190211 -0.02318 [ 8.20585]
D(GARCH02(-7))	0.745029 -260.994 [ 0.28546]	3.621.291 -234.648 [ 1.54328]	0.047727 -0.0406 [ 1.17550]	-0.013786 -0.01929 [ 0.71467]
C	0.000305 -0.00033 [ 0.92451]	0.00023 -0.0003 [ 0.77611]	1.05E-06 -5.10E-06 [ 0.20415]	5.69E-07 -2.40E-06 [ 0.23316]
R-squared	0.040424	0.134128	0.353695	0.173956
Adj. R-squared	0.034707	0.12897	0.349336	0.165036
Sum sq. resids	2.963.974	2.395.779	0.000717	0.000162
S.E. equation	0.023895	0.021456	0.000371	0.000176
F-statistic	7.071.814	2.630.415	9.186.508	2.635.189
Log likelihood	12144.65	12701.82	33943.54	37840.46
Akaike AIC	-4.626.682	-4.839.505	-1.295.322	-1.444.173
Schwarz SIC	-4.596.570	-4.799.393	-1.291.311	-1.440.162
Mean dependent	0.000269	0.00027	3.82E-08	6.54E-08
S.D. dependent	0.024291	0.02299	0.00046	0.000193
Determinant Residual Covariance		2.69E-22		
Log Likelihood		100477.3		
Log Likelihood (d.f. adjusted)		100413.1		
Akaike Information Criteria		-3.630.142		
Schwarz Criteria		-3.812.593		

FONTE: Resultados desta pesquisa, com base nos resultados gerados pelo software Eviews 4,1

## Resultados do conjunto de equação de (30 ) a (34) para avaliação dos modelos

Critério	Modelo					
	Cointegração LP	Cointegração CP	GARCH	TARCH	EGARCH	VAR
RMSE	1.22853550	0.60714200	0.73675300	0.73675200	0.73675500	1.52204210
MAE	0.81896100	0.38434900	0.46204000	0.46198540	0.46197200	1.04730400
MAPE	2.86012600	1.35783100	1.71672100	1.71683600	1.71686100	3.71133550
THEIL U	0.01915300	0.00094590	0.01175200	0.01175100	0.01175100	0.02372700
UM	0.00045100	0.00011000	0.00005000	0.00000020	0.00000000	0.00140100
US	0.00244900	0.00083700	0.00034500	0.00023700	0.00002160	0.01302500
UC	0.99710000	0.99905300	0.99960500	0.99976100	0.99978400	0.98557400

**FONTE:** Resultados desta pesquisa a partir da saída de Eviews 4.1