

Relações entre o Preço Internacional do Petróleo e as Ações da Petrobrás

Bruno Fernandes Dias da Silva

Auditor-Fiscal da Receita Federal. Mestre em Ciências Contábeis pela Universidade de Brasília.
brunofds@ig.com.br

Otávio Ribeiro de Medeiros

Professor titular na Universidade de Brasília. Doutor em Economia pela Universidade de Southampton (Inglaterra).
otavio@unb.br

Yuri Sampaio Maluf

Pesquisador na Universidade de Brasília. Bacharel em Administração pela Universidade de Brasília.
yurimaluf@gmail.com

Relações entre o Preço Internacional do Petróleo e as Ações da Petrobrás

O presente artigo tem por objetivo evidenciar a relação econômica entre o preço das ações da Petrobrás e o preço internacional do petróleo, bem como verificar a existência dos chamados efeitos *lead-lag* entre tais ativos. Utilizou-se o preço do petróleo representado pelo *West Texas Intermediate* (WTI), negociado na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX) e o preço das ações preferenciais da Petrobrás, listadas na bolsa de valores de São Paulo (BM&FBOVESPA). A metodologia utilizada inclui regressões por mínimos quadrados em dois estágios e modelagem GARCH, tanto com dados mensais quanto em alta frequência. A partir destes modelos foram testadas estratégias que usufruem das relações defasadas (*lead-lag*) entre os mercados. O estudo apontou uma relação contemporânea significativa entre os mercados destes ativos. Também foi identificado por ambas as metodologias o efeito *lead-lag*, o que mostra certo grau de previsibilidade quanto ao preço da ação da Petrobrás.

Palavras-Chave: Petróleo, Petrobrás, Hipótese Mercado Eficiente, Efeito *Lead-Lag*.

Relations between the International Price of Oil and the Petrobras' stocks

This paper is aimed at establishing the economic relationship between the price of Petrobras' stocks and the international price of oil, as well as verifying the existence of the so-called lead-lag effects between such assets. We utilize the West Texas Intermediate (WTI) oil price, negotiated at the New York Mercantile Exchange (NYMEX) and Petrobras' preferred stock price, traded at the Sao Paulo Stock Exchange (BM&FBOVESPA). Our methodology includes two-stage least squares regressions and GARCH models, using both monthly and high-frequency data. Based on these models, trading strategies were tested taking advantage of lead-lag relationships between these markets. The study identifies a significant contemporaneous relationship between these two markets. Lead-lag effects were also identified by both methodologies, which show a certain degree of predictability of Petrobras' stock prices.

Keywords: Oil, Petrobras, Efficient Market Hypothesis, Lead-Lag Effects.

Las Relaciones entre el Precio Internacional del Petróleo y de las Acciones de Petrobras

En este artículo se pretende determinar la relación económica entre el precio de las acciones de Petrobras y el precio internacional del petróleo, y también para verificar la existencia de los denominados efectos *lead-lag* entre estos activos. Se utilizó el precio del petróleo representado por el West Texas Intermediate (WTI) cotizado en la New York Mercantile Exchange (NYMEX) y el precio de las acciones preferentes de Petrobras, listadas en la Bolsa de Valores de São Paulo (BM & F BOVESPA). La metodología incluye regresiones de mínimos cuadrados en dos etapas y modelos GARCH, tanto con datos mensuales como en los de alta frecuencia. A partir de estos modelos fueron probadas estrategias que aprovechen las relaciones rezagadas (*lead-lag*) entre los mercados. El estudio mostró una relación significativa contemporánea entre los mercados de estos bienes. También se identificó por ambas metodologías el efecto *lead-lag*, lo que demuestra un cierto grado de previsibilidad cuanto al precio de las acciones de Petrobras.

Palabras-clave: Petróleo, Petrobrás, Hipótesis del Mercado Eficiente, Efecto *Lead-Lag*.

INTRODUÇÃO

O petróleo é uma das *commodities* mais importantes da atual vida moderna. Segundo a *Energy Information Administration* –EIA– ainda hoje é uma das principais fontes de energia consumida no mundo. De acordo com *International Energy Agency* –IEA– em 2010 o petróleo representava cerca de 33% de toda demanda mundial por energia. Além disso, o petróleo está presente nos mais diversos produtos utilizados pelos seres humanos, como o gás liquefeito de petróleo (GLP), piche, gasolina, querosene, solventes, lubrificantes, diesel, bem como outros subprodutos como cera, tintas, embalagens plásticas e cosméticos.

Em consonância com este fato, Jones e Kaul (1996) colocam o petróleo como o principal recurso utilizado no mundo. Por esta razão grande parte da literatura destaca a relação entre preço do petróleo e variáveis macroeconômicas (AURORI e RAULT, 2009). Neste sentido, vários estudos demonstram que as flutuações nos preços do petróleo têm efeitos significativos na atividade econômica de países desenvolvidos e emergentes. Sadorsky (1999) argumenta que aumentos no preço do petróleo são bons indicativos de pressão inflacionária, que por sua vez poderia apontar o futuro das taxas de juros e investimentos de todos os tipos. Desta forma, empresas inseridas neste mercado adquirem grandes destaques pelos analistas.

Ao averiguar relatórios feitos por avaliadores fundamentalistas que cobrem este mercado, mais especificamente a Petrobrás, percebeu-se que a maioria destes são unânimes ao relacionar aumentos no preço internacional do petróleo com o acréscimo de suas receitas líquidas. Tudo o mais permanecendo constante, acredita-se que aumentos nos preços do petróleo elevem os lucros da Petrobrás e, conseqüentemente, influenciem os dividendos, que por sua vez modificam o valor das ações da empresa. Além destes fatores, deve-se chamar a atenção para o fato que mudanças no preço do petróleo alteram o valor dos estoques da empresa, que em contrapartida, afeta o valor do ativo e conseqüentemente o seu preço de mercado (RIBIERO, NETO e BONE, 2011). Por estes motivos, é plausível encontrar uma relação positiva entre o preço internacional do petróleo e as ações da Petrobrás.

Groppô, Amaral e Bertucci (2001) salientam que a globalização, avanço tecnológico e a internacionalização do capital conduzem cada vez mais à integração dos mercados. Portanto, na medida em que os mercados se tornam mais integrados, mais eles tendem a se mover em conjunto.

Tal entendimento pode ser estendido para o mercado de *commodities* e o acionário. Em países distintos os quais estão integrados, poderia ocasionar efeitos semelhantes tanto para os preços de

commodities quanto na ação da empresa que comercializa este ativo, pois ambos fariam parte de um grupo de mesmo risco. No entanto, os países, detêm distintos graus de desenvolvimento. A velocidade de incorporação das informações tende a ser maior nos mercados desenvolvidos do que nos mercados emergentes. A absorção de novas informações ao preço internacional do petróleo pode ser diferente dos preços das ações. Este fenômeno da origem, portanto, ao efeito *lead-lag*, no qual existe um movimento que lidera, *lead*, e outro, com certa defasagem de tempo, segue, *lag*. Todavia, como colocado por Fama (1970) a hipótese de mercado eficiente impede, mesmo com a presença deste efeito, de se obter ganhos sistematicamente anormais.

Objetivo

Esta pesquisa pretende investigar a dinâmica entre o preço internacional do petróleo WTI representado pelo ativo *light sweet oil*, CL, e o valor das ações preferenciais da Petrobrás, sobre o código PETR4. Mais especificadamente, pretende-se verificar a ocorrência de relação econômica entre os preços do petróleo WTI e o das ações da Petrobrás. Em um segundo momento, o objetivo consiste em averiguar a existência e os desdobramentos do efeito *lead-lag* entre estes ativos, no que diz respeito às operações de mercado.

Relevância

O conhecimento das relações entre o preço do petróleo e o preço da ação da Petrobrás reveste-se de grande importância para diversos agentes econômicos. Em primeiro lugar, esse conhecimento é extremamente importante para os analistas de mercado e investidores, na medida em que possibilitaria formular estratégias de negociação para tirar proveito dos efeitos *lead-lag*, isto é, realizar operações de arbitragem para obter retornos anormais. Em segundo, é importante para a empresa Petrobrás, por permitir que a empresa possa prever com alguma precisão o comportamento futuro do preço de suas ações, para fins de planejamento econômico-financeiro e estratégico. Convém lembrar que a Petrobrás é a maior empresa da América Latina e que as ações da Petrobrás representam cerca de 15% do índice Bovespa. É importante também para a academia, uma vez que permite aprofundar o entendimento das relações entre o mercado de uma das mais importantes *commodities* internacionais e o mercado acionário.

Metodologia

Para atingir os objetivos propostos, foram coletados dados para o preço internacional do petróleo, representado pelo WTI e para os preços das ações preferenciais da Petrobrás, ambos na frequência mensal e na frequência intradiária de 10 minutos.

Com os dados acima citados, na frequência mensal, com intuito de verificar os efeitos do preço internacional do petróleo sobre as ações preferenciais da Petrobrás, especificou-se um modelo de regressão linear, em que os retornos da ação da Petrobrás são explicados pelo retorno relativo ao preço do petróleo e pelo índice Bovespa. Esse modelo foi estimado por mínimos quadrados em dois estágios (TSLS), tendo em vista a endogeneidade do retorno do índice Bovespa. Tal estimação, se realizada por mínimos quadrados ordinários (OLS), produziria coeficientes viesados e inconsistentes.

A seguir, foram realizados os seguintes procedimentos: análise de cointegração entre o preço do petróleo e o preço da ação da Petrobrás; testes de Granger para determinação da causalidade entre o retorno do preço do petróleo e o retorno da ação da Petrobrás; e a estimação da regressão que explica o retorno da ação da Petrobrás em função do retorno do preço do petróleo e do retorno da Bovespa, na frequência de 10 minutos, através de um modelo GARCH.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vários são os estudos que mostram a forte relação entre o preço do petróleo e o mercado acionário mundial. Dentre eles, Jones e Kaul (1996) testaram a reação no mercado acionário internacional perante os choques no petróleo os quais podem ser justificada pelas mudanças correntes e futuras no fluxo de caixa e/ou flutuações nos retornos esperados. Os referidos autores destacam que, para os Estados Unidos e Canadá, os efeitos nos preços acionários são inteiramente explicados pelos efeitos do choque do petróleo no fluxo de caixa. No entanto, para o Japão e Reino Unido os resultados foram inconclusivos.

Por meio da abordagem do vetor autorregressivo multivariado - VAR, Papapetrou (2001) procurou esclarecer a relação dinâmica entre os preços do petróleo e das ações, as taxas de juros, a atividade econômica real e o nível de emprego da Grécia.

Hammoudeh e Aleisa (2004), também pela abordagem do modelo de vetores autorregressivo se de testes de cointegração, indicaram que existe relação bidirecional entre os retornos das ações sauditas e as mudanças no preço do petróleo. Os outros mercados dos países do Golfo – GCC – os quais não estão relacionados diretamente com os preços do petróleo; são menos dependentes das exportações desta *commodity* petróleo e são mais influenciados por fatores internos.

No Canadá, Boyer e Fillion (2007) revelam que aumentos no preço do petróleo afetam positivamente os retornos das ações de empresas de gás e petróleo. Além do mais, os autores concluíram que os retornos das ações de empresas de energia do Canadá estão positivamente associados com o retorno do mercado acionário canadense, com o crescimento do fluxo de caixa interno e das reservas provadas. Os autores destacam que, surpreendentemente, o volume de produção e o enfraquecimento do dólar canadense em relação ao dólar americano têm impacto negativo nos retornos das ações das respectivas companhias.

Na Europa, Aurori e Jawadi (2010) estudaram a relação de curto e longo prazo entre o preço do petróleo e o mercado acionário. Os autores mostraram que a resposta dos retornos das ações varia muito, dependendo do setor de atividade da empresa. Em relação à análise de curto prazo, os resultados apontam para forte relação entre mudanças no preço do petróleo e a maioria dos setores do mercado acionário europeu. No entanto, os pesquisadores afirmam que mudanças no preço do petróleo têm efeito negativo no curto e longo prazo, nas ações das empresas de alimentos e bebidas.

Gogineni (2009) investigou o impacto diário das oscilações do petróleo, no retorno das ações das indústrias, individualmente. Os resultados demonstraram que não apenas as indústrias que dependem pesadamente do petróleo são influenciados pela mudança deste ativo, mas também as que utilizam pouco petróleo se demonstraram sensíveis a alterações nas cotações. Isso se deve, segundo o autor, ao fato de os principais clientes destas indústrias sofrerem impactos com as mudanças no preço do petróleo.

A integração dos mercados internacionais provê uma simetria entre eles. Entretanto, eles podem não apresentar uma integração perfeita o que por consequência permite ocorrer a defasagens na absorção de informação, ocasionando o efeito *lead-lag*. Um desdobramento deste efeito é o descompasso entre os valores negociados no mercado futuro e o mercado a vista. Nesta situação, haveria a possibilidade dos agentes nos quais estão negociando no mercado futuro, absolverem de forma mais eficaz as informações. Estes efeitos são colocados a prova mediante a vários estudos.

Nos Estados Unidos, Chan (1992) realizou uma análise da relação *lead-lag* com dados intradiários, entre o mercado à vista e o índice futuro para mercado de ações de Nova Iorque.

Neste mesmo sentido, Brooks et al (2001) analisaram a relação *lead-lag* entre os contratos futuros e o índice à vista do FTSE 100, índice da bolsa de valores de Londres. Os autores também concluíram que o preço dos contratos futuros pode prever mudanças no preço do índice à vista, ou seja, os retornos do índice futuro conduzem os retornos do à vista. Todavia os autores salientam que os custos de

negociação superam os retornos anormais, não vislumbrando, assim, a realização de possíveis arbitragens.

Também no mercado inglês, Kanas e Koureta (2005) verificaram que a transmissão de informações defasadas pode implicar em cointegração entre o preço atual de carteiras de pequenas empresas e o preço defasado de carteiras de empresas de grande porte. Eles encontraram evidências de cointegração para ambos os conjuntos de carteiras de diferentes tamanhos de capitalização e nenhuma evidência de cointegração para as carteiras de mesmo tamanho. Os preços de carteiras de grandes empresas parecem ser variáveis que, no longo prazo, explicam o preço das carteiras de pequenas companhias, sugerindo que o tamanho da capitalização é uma força motriz do efeito *lead-lag*. Portanto, este efeito é uma condição necessária para a cointegração entre os preços defasados das carteiras de grandes corporações e o preço contemporâneo das de menor porte.

No Japão Tse (1995) examinou a relação de *lead-lag* entre o índice Nikkei à vista e futuro. Verificou-se que mudanças defasadas nos preços futuros afetam, no curto prazo, os ajustes nos preços à vista; porém, a recíproca não é verdadeira.

No mercado australiano, Frino e West (1999) analisaram a existência da relação *lead-lag* entre os retornos dos índices futuros e à vista. Os autores verificaram que os retornos futuros lideram os índices à vista, e há evidências de feedback do mercado de ações para o futuro. Entrementes, o período da amostra indica que o mercado à vista liderada pelo mercado futuro tem diminuído ao longo do tempo e a relação entre os dois mercados tem-se reforçado. De acordo com o autor, este fato deve-se ao aumento do nível de integração.

Finalmente, no mercado acionário brasileiro, Oliveira e De Medeiros (2009) pesquisaram a existência do efeito *lead-lag* entre o mercado acionário norte-americano, representado pelo índice Dow Jones, e o mercado nacional, representado pelo índice Bovespa. Constataram que o índice Ibovespa é explicado em grande parte pelo índice Dow Jones e que há existência de cointegração e de causalidade bidirecional entre os dois índices. Todavia, devido ao elevado custo de transação, a realização de arbitragem não se mostrou possível.

No que tange ao mercado de petróleo, Huang et al (1996) pesquisaram a correlação contemporânea e de *lead-lag* entre os retornos diários do contrato futuro do petróleo e o retorno das ações de empresas petrolíferas e índices de mercados acionários. Os pesquisadores concluíram que os retornos do petróleo futuro não estão correlacionados com os retornos dos mercados acionários, mesmo simultaneamente, exceto no caso das empresas de petróleo. No caso dos retornos das ações de empresas petrolíferas, os pesquisadores salientam que os retornos do petróleo futuro lideram os retornos das ações de companhias petrolíferas em um dia.

DETALHAMENTO METODOLÓGICO

Foram utilizados dados referentes ao preço internacional do barril do petróleo WTI, negociado nos Estados Unidos, o preço da ação preferencial da Petrobrás, PETR4, e os índices Ibovespa e Dow Jones. Ressalta-se que, apesar de serem negociadas as ações ordinárias e preferenciais da Petrobrás na BM&FBovespa, acolheu-se as ações preferenciais pelo fato de estas serem as mais negociadas.

Para analisar a relação econômica contemporânea são empregados dados mensais, na cotação de fechamento, dos ativos durante o período que compreende os anos de 1995 a 2010. Na investigação do efeito *lead-lag* os dados referem-se a cotações intradiárias com frequência de 10 minutos ao longo dos anos de 2008 a 2010. Os dados de alta frequência, obtidos através do sistema da CMA, totalizaram 15.932 observações registradas onde houve a intersecção de negociações entre o mercado norte americano e nacional. Já o preço do barril de petróleo foi convertido em moeda nacional pela taxa de câmbio comercial.

A fim de eliminar o efeito das elevadas variações dos retornos dos preços dos ativos entre o fechamento do mercado e a abertura do dia seguinte, utilizou-se uma variável *dummy* que anulou os valores extremos.

Salienta-se que, para a averiguação do efeito *lead-lags*, é necessário que o preço internacional do petróleo esteja sincronizado com o preço das ações preferenciais da Petrobrás, uma vez que os ativos são negociados em mercados distintos. A efetivação de tal ajuste levou em consideração os horários de verão de cada país.

Inicialmente, com intuito de verificar os efeitos do preço internacional do petróleo sobre as ações preferenciais da Petrobrás, especificou-se um modelo em que os retornos da ação da Petrobrás são explicados pelo retorno relativo ao preço do petróleo e pelo índice Bovespa, ou seja:

$$R_t^{Pet} = \alpha + \beta R_t^{Oil} + \gamma R_t^{Ibov} + u_t \quad (1.1)$$

Onde R_t^{Pet} são os retornos das ações preferenciais da Petrobrás, R_t^{Oil} o retorno do WTI, R_t^{Ibov} o retorno do Ibovespa, todos indexados no tempo t . α , β e γ são os parâmetros a serem estimados e u_t o termo de erro tal que $u_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Tendo em vista a possibilidade de existirem outros fatores, que não o preço internacional do petróleo, que afetem o preço da ação preferencial da Petrobrás e possam estar ocultos na respectiva relação, é que foi inserido o Ibovespa como variável de controle. Assumindo um mercado eficiente em que os preços das ações incorporam todas as informações disponíveis sobre as condições econômicas relevantes, esta variável representa os demais fatores capazes de influenciar no preço das ações preferenciais da Petrobrás.

Contudo, as ações preferenciais da Petrobrás possuem maior representatividade no Ibovespa entre as demais empresas listadas no índice, com participação de 12,556% para o quadrimestre de janeiro a abril do ano de 2010 (BOVESPA, 2010). Portanto, o Ibovespa é influenciado pelas ações preferenciais da Petrobrás e, conseqüentemente, gera problemas de endogeneidade. Neste contexto, os estimadores de mínimos quadrados ordinários, incorporam um grau de tendenciosidade (viés de simultaneidade) e inconsistência (WOOLDRIDGE, 2006).

Assim, é necessário modelar a relação do retorno do Ibovespa de forma estrutural, conforme o modelo de equações simultâneas abaixo,

$$R_t^{Pet} = \alpha + \beta R_t^{Oil} + \gamma R_t^{Ibov} + u_t$$

$$R_t^{Ibov} = \delta + \beta R_t^{DJ} + \varphi R_t^{Pet} + v_t \quad (1.2)$$

em que R_t^{DJ} são os Retorno do índice Dow Jones. $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \lambda$ e φ são os parâmetros a serem estimados e u_t e v_t os termo de erro tais que $u_t, v_t \sim N(0, \sigma^2)$. A inclusão do retorno do índice Dow Jones, na segunda equação 1.2 deve-se ao fato de que o Ibovespa é, em parte, influenciado pelo índice Dow Jones (DE MEDEIROS; OLIVEIRA; VAN DOORNIK, 2009).

Um método que leva em conta a presença de variáveis explanatórias endógenas é o método de mínimos quadrados em dois estágios, que foi aqui utilizado tendo como variáveis instrumentais o retorno do índice Dow Jones e do petróleo, que são variáveis exógenas no modelo constituído pelas equações 1.2.

Duas séries são ditas cointegradas, se ambas movimentarem juntas. A regressão resultante dessas duas variáveis indica a relação de equilíbrio de longo prazo e não será considerada espúria (SARTORIS, 2007).

Segundo Watsham e Parramore (2007) as duas séries cointegradas serão integradas de ordem um, $I(1)$, e a combinação linear entre elas deverá ser integrada de ordem zero, $I(0)$. Desta forma, as tendências estocásticas das duas séries se anulam entre si e o resultado da regressão das duas variáveis faz sentido.

O estado de equilíbrio pode ser checado através da estacionariedade de uma série resultante a partir uma combinação linear entre elas. Mais especificamente, é possível testar a existência de cointegração ao examinar a estacionariedade dos resíduos da seguinte regressão,

$$P_t^{Pet} = \pi + \lambda P_t^{Oil} + u_t,$$

$$u_t = P_t^{Pet} - \pi - P_t^{Oil}, \quad (1.3)$$

em que P_t^{Pet} , P_t^{Oil} são os preços a vista da Petrobrás (PETR4) e o Preço internacional do barril do petróleo – CL respectivamente. O erro aleatório $u_t \sim N(0, \sigma^2)$.

A verificação de estacionariedade de u_t é procedido com o teste usual de Dickey Fuller Aumentado – ADF-. Entretanto, os valores críticos do teste de hipótese de existência de raiz unitária são distintos, uma vez que os erros não são diretamente observáveis. O teste ADF foi realizado com os seguintes passos: i) A série sendo testada, no caso os resíduos \hat{u}_t da equação (1.3), é submetida à regressão

$$\Delta u_t = \mu + \psi u_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta u_{t-i} + v_t$$

onde Δ é o operador de 1ª diferença, μ , ψ e α_i são parâmetros e v_t é um termo de erro estocástico $\sim N(0, \sigma^2)$. A inserção das variáveis dependentes defasadas no lado direito da equação é necessária para eliminar eventual correlação serial dos resíduos \hat{v}_t ; ii) Estima-se o coeficiente ψ por OLS (mínimos quadrados ordinários) e o seu erro padrão e realiza-se o teste submetendo-se este coeficiente às hipóteses $H_0: \psi = 0$ contra $H_1: \psi < 0$; iii) Calcula-se a estatística

$$t = \frac{\hat{\psi}}{SE(\hat{\psi})}$$

teste, onde $SE(\hat{\psi})$ é o erro padrão de $\hat{\psi}$; iv) Confronta-se a estatística teste t com o valor crítico da tabela Dickey-Fuller, de acordo com o tamanho da amostra T e o nível de significância (5%); v) Rejeita-se H_0 se a estatística teste for menor que o valor crítico obtido em (iv), o que indica a não existência de raiz unitária. Caso contrário, não se rejeita H_0 , havendo evidência de existência de raiz unitária.

Identificado a relação de equilíbrio entre as séries, desvios destes pontos provocam pressões no sentido de correção da posição de estabilidade. Desta forma, a regressão da Petrobrás contra o petróleo deve possuir um terceiro fator que cumpra o papel de força estabilizadora. O problema é tratado na regressão embutindo este efeito como um fator de correção de erro. A regressão assume a seguinte estrutura,

$$R_t^{Pet} = \alpha + \beta_1 R_t^{Oil} + \beta_2 (v_{t-1}) + u_t,$$

$$R_t^{Pet} = \alpha + \beta_1 R_t^{Oil} + \beta_2 (P_{t-1}^{Pet} - \pi - \lambda P_{t-1}^{Oil}) + u_t, \quad (1.4)$$

onde o coeficiente β_2 indica a força de correção dos desvios em relação ao equilíbrio. O termo β_1, λ representa a relação de curto e de longo prazo respectivamente. Os demais parâmetros possuem as mesmas condições antes abordadas.

Para diagnosticar a direção de causalidade entre os preços do petróleo e as ações da Petrobrás, será empregado o teste de causalidade de Granger (1969). O teste parte de um Vetor Autoregressivo (VAR), nos quais as informações estão contidas apenas nos valores precedentes. O teste tem a seguinte estrutura,

$$R_t^{Pet} = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i R_{t-i}^{Pet} + \sum_{i=1}^n \gamma_i R_{t-i}^{Oil} + u_t,$$

$$R_t^{Oil} = \delta + \sum_{i=1}^n \lambda_i R_{t-i}^{Oil} + \sum_{i=1}^n \pi_i R_{t-i}^{Pet} + v_t. \quad (1.5)$$

O procedimento segue com a verificação da hipótese nula $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 0$ e $\sum_{i=1}^n \pi_i = 0$. O procedimento aponta não apenas para a causalidade, mas também o sentido dela.

Caso $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 0$ e $\sum_{i=1}^n \pi_i \neq 0$ existe uma relação unidirecional causal em que o retorno do petróleo causa o retorno da Petrobrás. A relação bilateral é verificada quando o teste aponta que ambos os somatórios não são estatisticamente nulos.

O termo causalidade no sentido de Granger faz alusão aos valores passados de uma série aos quais oferece informações expressivas para prever as variáveis endógenas (BUENO, 2008).

As relações de certas séries temporais financeiras tendem a apresentar heteroscedasticidade condicional autoregressiva, especialmente na alta frequência. Assim, os termos de erro das equações representativas das relações entre variáveis financeiras violarão a premissa de variância, σ^2 , constante.

Introduzido por Engle (1982), o modelo não linear denominado *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (ARCH), capta as oscilações da variância, ao longo do tempo, por uma estrutura autorregressiva no sentido de que a heteroscedasticidade pode ser autocorrelacionada com períodos defasados. Uma generalização do modelo ARCH é o modelo *Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* – GARCH – proposto por Bollerslev (1986). O modelo GARCH pressupõe que a variância condicional contemporânea do erro depende do termo de erro quadrático como também de sua variância condicional, ambos em períodos de tempos precedentes. O modelo GARCH pode ser expresso da seguinte forma,

$$R_t^{Pet} = \alpha + \beta R_t^{Oil} + \gamma R_t^{Ibov} + u_t,$$

$$\sigma_t^2 = \zeta + \sum_{i=1}^p \eta_i u_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^n \phi_i \sigma_{t-i}^2 \quad (1.6)$$

em que σ_t^2 é a variância condicional do erro. $\alpha, \beta, \gamma, \xi, \eta_i$ e ϕ_i são os parâmetros a serem estimados e u_t os termo de erro estocástico no qual $u_t \sim N(0, \sigma_t^2)$.

O GARCH é utilizado apenas para a investigação da existência de efeito *lead-lag*, tendo em vista que os efeitos ARCH são particularmente relevantes para dados em alta frequência. Para essa finalidade, o modelo GARCH tem a peculiaridade de possuir uma configuração com lags, visando à captura dos efeitos *lead-lag*.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são abordados os resultados dos modelos econométricos os quais estão divididos em três pontos. A primeira é referente à ocorrência da relação econômica contemporânea entre o preço internacional do petróleo e os preços da Petrobrás. A seguir, aborda-se a existência do efeito *lead-lag* entre estes ativos. Por último, verifica-se a análise com operações de mercado com custos transacionais.

Com intuito de averiguar a relação entre os ativos, utilizou-se a série temporal dos retornos mensais e aplicou-se o método do TSLS pelo sistema de equações simultâneas. Entretanto, assim como muitas séries financeiras, não foi verificada a homocedasticidade. Para detectar este fato, aplicou-se o teste de White e rejeitou-se a hipótese nula de que os resíduos são homoscedásticos, conforme objeto 1. Ao se constatar a heteroscedasticidade, aplicou-se o método dos mínimos quadrados em dois estágios com o estimador de White, consistente com a heteroscedasticidade.

Objeto 1: Teste Heteroscedasticidade de White

Teste de Heteroscedasticidade: White			
F-estatístico	13,7488	Prob. F(5,175)	0,0000
Obs*R-quadrado	51,0481	Prob. Chi-Quadrado(5)	0,0000
		Prob. Chi-Quadrado(5)	0,0000

Os resultados obtidos, pelo método de mínimos quadrados em dois estágios consistente com a heteroscedasticidade de White, estão demonstrados na tabela a baixo.

Objeto 2: Regressão TSLS consistente com heteroscedasticidade de White

	Coeficiente	Erro Padrão	t-estatístico	Prob.
C(1)	0,0022	0,0058	0,3753	0,7078
C(2)	0,1912	0,0902	2,1192	0,0355
C(3)	1,1262	0,1118	1,0065	0,0000
R-quadrado	0,6991	Durbin-Watson estat.		2,1685
R-quadrado ajustado	0,6957			

De acordo com o objeto 2, os coeficientes do intercepto foram os únicos que não se mostraram estatisticamente significativos. Os demais coeficientes revelaram-se significativamente diferentes de zero para o nível de significância de 5%.

Salienta-se o fato de que não há evidência de autocorrelação dos resíduos, pelo fato da estatística Durbin-Watson, das duas equações, situarem-se na região em que não se rejeita a hipótese nula. Desta forma, observa-se a existência de uma relação entre o preço internacional do petróleo e das ações preferenciais da Petrobrás, PETR4.

A fim de investigar fenômeno *lead-lag* foi empregada uma análise da série temporal dos retornos dos ativos em alta frequência, intradiários de 10 minutos. Foram testadas as raízes unitárias dos retornos dos ativos por meio do teste de ADF e verificou-se a estacionariedade de ambas as séries com nível de significância de 1%.

Após ter sido satisfeita a condição de que ambas as séries têm a mesma ordem de integração, deve-se verificar se os resíduos da regressão entre as séries de preços são estacionários.

Conforme sugere os resultados no objeto 3, rejeita-se a hipótese nula ao nível de significância de 5% e pode-se inferir que as séries do preço das ações da Petrobrás e do preço do petróleo são cointegradas.

Objeto 3: Teste de raiz unitária dos resíduos

Hipótese Nula: RES_CI tem raiz unitária

Defasagem: 4

		Estatística-t	Prob.*
Teste estatístico de Dickey-Fuller Aumentado		-2,2455	0,0239
Valores do teste			
crítico ajustados:	1% nível	-2,5651	
	5% nível	-1,9408	
	10% nível	-1,6166	

A existência de cointegração entre as duas séries financeiras, como explicitado, impõe um fator de correção dos desvios do equilíbrio. Todavia, a inserção do termo de correção de erro não é necessária no caso em que o estimador utilizado é o TSLS (HSIAO, 1997).

A fim de diagnosticar a relação entre as duas variáveis, foi realizado o teste de causalidade de Granger, com cinco defasagens. Por meio do objeto 4, percebe-se que a primeira hipótese nula foi rejeitada ao nível de significância de 5%. Desta forma, o retorno do petróleo causa no sentido de Granger os retornos das ações da Petrobrás. Então, os valores passados do retorno do petróleo contêm informações úteis para prever os retornos das ações da Petrobrás.

Conforme o esperado, a segunda hipótese nula não foi rejeitada e, portanto, os retornos das ações da Petrobrás não causam os retornos do petróleo.

Objeto 4: Teste de causalidade de Granger

Teste de Causalidade de Granger Pairwise

Amostra: 1 15932

Defasagens: 5

Hipótese Nula:	Obs	Estatística-F	Probabilidade
DLOG(OIL) não Causa Granger DLOG(PETR)	15926	23,7115	7,8E-2
DLOG(PETR) não Causa Granger DLOG(OIL)		0,6743	0,6428

A escolha da ordem do modelo do TSLS foi obtida pelo modelo que minimizou o critério de informação bayesiano de Schwartz– SBIC. Por este critério o modelo se configurou com 5 lags.

Pelo modelo, dos treze coeficientes estimados na regressão do objeto 5, cinco foram estatisticamente diferentes de zero, a 5% de confiança. Apesar do coeficiente t-4 do petróleo não ter sido significativo, pode-se inferir que todos os coeficientes do petróleo são significativos, pelo fato de em t-5 haver resquícios de influência do petróleo nas ações da Petrobrás. A expressão DLOG (variável(t)), designa a diferença do valor do log da “variável” com t lags de defasagens e C a constante.

Objeto 5: Regressão TSLS Curto Prazo

	Coefficiente	Erro Padrão	t-estatístico	Prob.
C	-2,97E-05	2,87E-	-1,0352	0,3006
DLOG(OIL)	-0,0330	0,0056	-5,8959	0,0000
DLOG(OIL(-1))	0,0463	0,0056	8,2601	0,0000
DLOG(OIL(-2))	0,0124	0,0056	2,2227	0,0262
DLOG(OIL(-3))	0,0150	0,0056	2,6864	0,0072
DLOG(OIL(-4))	0,0071	0,0056	1,2825	0,1997
DLOG(OIL(-5))	0,0213	0,0055	3,8224	0,0001
DLOG(IBOV)	0,6085	0,0107	5,6780	0,0000
DLOG(IBOV(-1))	-0,0657	0,0106	-6,1534	0,0000
DLOG(IBOV(-2))	-0,0008	0,0106	-0,0806	0,9357
DLOG(IBOV(-3))	-0,0170	0,0106	-1,6034	0,1089
DLOG(IBOV(-4))	-0,0140	0,0106	-1,3123	0,1894
DLOG(IBOV(-5))	-0,0502	0,0106	-4,7263	0,0000
F-estatístico	3,6191		R ²	0,234
Prob(F-estatístico)	0,0000			

Nota-se também que todos os coeficientes do petróleo foram positivos com exceção do retorno contemporâneo. Para fins de efeito *lead-lag*, os coeficientes indicam em que proporção de cada movimento, em minutos anteriores, nos retornos do petróleo, reflete no nível do retorno das ações da Petrobrás. Então, se houver um aumento de 0,01% no valor do petróleo, este evento contribuirá para que a Petrobrás suba 0,0005% nos próximos 10 minutos. Ao somar todos os coeficientes em valores absolutos, obtém-se o grau de influência do petróleo nos retornos das ações da Petrobrás. O retorno contemporâneo do petróleo e os cinquenta minutos que o antecedem (5lags) impactam em aproximadamente 13,55% do retorno no momento t-0 das ações preferenciais da Petrobrás.

Quanto ao Ibovespa, apenas em três momentos os coeficientes se mostraram significativos, em t-0, t-1 e t-5. O coeficiente contemporâneo é o que possui maior influência perante as ações da Petrobrás, com valor aproximado de 0.61. Este valor indica que apenas o retorno do Ibovespa no momento atual explica 60,85% do retorno da ação da Petrobrás no momento t-0, o que reduz a margem para operações nos quais usufruem dos efeitos *lead-lag*. Como o coeficiente em t-5 é estatisticamente significativo, pode-se inferir que todos os coeficientes do Ibovespa são significativos.

Estes resultados revelam de sobremaneira que o retorno da Petrobrás pode ser explicado, em parte, pelos movimentos do petróleo e do Ibovespa em minutos anteriores. Portanto, para efeitos de previsão, se em um determinado momento houver um retorno positivo de 1% do petróleo, este impacto se propagará. Nos primeiros dez minutos a Petrobrás se eleva em aproximadamente 0,05%. Em vinte

minutos, essa elevação de 1% contribuirá para que a Petrobrás aumente em 0,0125% e assim sucessivamente até os cinquenta minutos posteriores. Foi testada também a autocorrelação dos resíduos por meio do teste de Breush-Godfrey, a qual não foi detectada sua presença. Outro teste aplicado ao modelo é quanto à heteroscedasticidade dos resíduos. De acordo com o teste de White, os resíduos não possuem variância constante. Como foi verificada heteroscedasticidade nos resíduos da regressão por TSLS, foi realizada outra regressão pela metodologia GARCH. Igualmente a metodologia TSLS, o método GARCH foi utilizado com a finalidade de verificar o grau de influência das variáveis defasadas do petróleo sobre os retornos das ações da Petrobrás.

Os resultados apresentados no objeto 6 mostram, à exceção do tempo t-4, que todas as demais defasagens da variável petróleo foram estatisticamente significativas. Quanto à variável petróleo, é possível notar que todos os coeficientes foram positivos, ao contrário dos obtidos pelo TSLS, que se apresentou negativo no tempo t.

Objeto 6: Regressão GARCH (1,1). Dados intradiários Alta frequência

	Coeficiente	Erro Padrão	z-estatístico	Prob.
C	-4,81E-05	1,59E-05	-3,0290	0,0025
DLOG(OIL)	0,0049	0,0016	3,0209	0,0025
DLOG(OIL(-1))	0,0253	0,0028	8,8873	0,0000
DLOG(OIL(-2))	0,0114	0,0038	2,9431	0,0032
DLOG(OIL(-3))	0,0106	0,0035	3,0231	0,0025
DLOG(OIL(-4))	0,0033	0,0039	0,8522	0,3941
DLOG(OIL(-5))	0,0118	0,0031	3,7105	0,0002
DLOG(IBOV)	0,4236	0,0019	2,2279	0,0000
DLOG(IBOV(-1))	0,0180	0,0052	3,4178	0,0006
DLOG(IBOV(-2))	-0,0027	0,0057	-0,4826	0,6294
DLOG(IBOV(-3))	0,0026	0,0065	0,4034	0,6866
DLOG(IBOV(-4))	0,0033	0,0063	0,5311	0,5953
DLOG(IBOV(-5))	-0,0007	0,0062	-0,1160	0,9076
Equação Variância				
C	4,16E-07	1,12E-08	3,7275	0,0000
RESID(-1)^2	0,2513	0,0047	5,2577	0,0000
GARCH(-1)	0,7484	0,0036	2,0458	0,0000
R ²	0,264596	F-estatístico	381,6238	
		Prob(F-estatístico)	0,000000	

A soma dos coeficientes do petróleo tem o valor aproximado de 0,07. Este valor indica que os retornos do petróleo dos últimos 50 minutos têm um impacto de 7% no retorno das ações da Petrobrás no momento atual.

Para verificar a robustez, bem como o grau de previsibilidade dos modelos, foi realizado um *back testing* das estratégias de operação. As suas regras foram embasadas nos parâmetros obtidos por meio dos modelos TSLS e GARCH. Os custos variáveis de compra e venda de ações nas negociações intra-day totalizam 0,05% (0,019% referentes à taxa de liquidação e 0,006% referentes a emolumentos,

cobrados na compra e na venda). Neste sentido, uma negociação só seria passível de resultado positivo caso o retorno fosse superior a este custo.

Como os resultados dos dois modelos foram muito próximos, optou-se pelo modelo TSLS, o qual foi ligeiramente superior. Apesar *do back testing* apontar para um número maior de acertos do que erros os possíveis ganhos financeiros tornam-se inviáveis em função dos custos de transação, mesmo porque, parte dos retornos excedentes são provenientes do aumento do risco. Consequentemente, por meio desta técnica, não se pôde afirmar que a HME foi violada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo, portanto, foi investigar a existência da relação econômica entre o preço internacional do barril do petróleo e o valor das ações preferenciais da Petrobrás. Para isso, foi dividido em duas partes. A primeira investigou a relação contemporânea entre o preço internacional do petróleo e as ações da Petrobrás com dados mensais. A segunda testou a existência do efeito *lead-lag* entre ambas as variáveis com dados intradiários.

Em relação à primeira parte, verificou-se uma forte relação contemporânea entre as variáveis petróleo e Petrobrás. Todos os coeficientes do petróleo do TSLS e os consistentes com a heteroscedasticidade mostraram-se significativos e com valores muito semelhantes.

Após averiguar a relação contemporânea entre o petróleo e as ações da Petrobrás, foi observado também o efeito *lead-lag* entre as já mencionadas variáveis, por meio dos dados intradiários de dez minutos. A existência deste efeito foi apontado por ambas as metodologias, TSLS e GARCH.

Com base nos resultados alcançados, foi possível verificar a existência do efeito *lead-lag* e, desta maneira, fazer alguma previsão quanto ao retorno das ações da Petrobrás com base nas informações sobre a movimentação do petróleo. Entre outros fatores, a possibilidade dos usuários nos mercados serem distintos podem ter contribuído para a captação do efeito *lead-lag*.

Mesmo com a possibilidade de previsão do movimento das ações preferenciais da Petrobrás com base nos movimentos do petróleo, o alto custo de transação inviabilizou os ganhos oriundos da negociação. Portanto, apesar da ocorrência de retornos anormais com base no efeito *lead-lag*, não se pode afirmar que a hipótese do mercado eficiente foi violada uma vez que os custos transacionais impossibilitaram ganhos consistentes anormais (JENSEN, 1978 e FAMA, 1991).

Os resultados obtidos no presente trabalho são importantes, uma vez que foi demonstrada empiricamente, uma relação econômica entre as variáveis, preço do petróleo e as ações da Petrobrás. Entretanto, a conclusão está calcada em cotações mensais em um período de longo prazo, aproximadamente quinze anos, e uma relação de curto prazo entre ambas as variáveis com dados intradiários em uma janela temporal de dois anos. Desta forma, cabe ressaltar a possibilidade de abordar outros focos e abordagens no que tange os efeitos *lead-lag* no mercado brasileiro e no mercado de *commodity*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aurori, M.H.; Fouquau, J. (2009). On the short-term influence of oil price changes on stock markets in GCC countries: linear and nonlinear analyses. *Economics Bulletin*, Vol. 29, N. 2, pp.806-815.

_____; Jawadi, F. (2010). Short and long-term links between oil prices and stock markets in Europe. *Economics Bulletin*, Vol. 30, N.1, pp. 817-828.

_____; Rault, C. (2009). On the Influence of Oil Prices on Stock Markets: Evidence from Panel Analysis in GCC Countries. CESifo Working Paper Series N. 2690. Category 10: Energy and Climate Economics.

BOVESPA. Índice Bovespa. Composição carteira do Índice. Acesso em: 23 de março de 2010, disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/indices/ResumoIndice.aspx?Indice=lbovespa&Opcao=0&idioma=pt-br>.

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*. Vol. 31, N. 3, pp. 307-327.

Boyer, M. M.; Filion, D. (2007). Common and Fundamental Factors in Stock Returns of Canadian oil and Gas Companies Energy Economics, Vol. 29, N. 3, 428-53.

Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance*. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press.

_____; Rew, A. G.; Ritson, S. (2001). A trading strategy based on the lead-lag relationship between the spot index and futures contract for the FTSE 10. *International Journal of Forecasting*, Vol.17, pp. 31-44.

Bueno, R. L. S. (2008). *Econometria de Séries Temporais*. Cengage Learning, São Paulo.

Chan, K. (1992). A further analysis of the lead-lag relationship between the cash market and stock index futures market. *Review of Financial Studies*, Vol.5, N.1, pp.123-152.

De Medeiros, O. R.; Oliveira, G. R.; Van Doornik, B. F. N. Testing for Lead-Lag Effects Between the American and the Brazilian Stock Markets. Rochester, NY, USA: Social Science Electronic Publishing, Inc, 2009. Acesso em 12 de fevereiro de 2010, disponível em: <http://ssrn.com/abstract=1365322>.

EIA - Energy Information Administration. Petroleum. WTI e Brent. Acesso em: 12 de março de 2010, disponível em: <http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=RWTC&f=D>.

Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, Vol. 50, pp. 987-1007.

Fama, E. F. (May, 1970). Efficient Capital Markets: a review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, Vol. 25, N. 2, pp. 383-417.

_____. (December, 1991). Efficient Capital Markets: II. *The Journal of Finance*, Vol. 46, N. 5.

Frino, A.; West, A. (1999). The Lead-Lag Relationship Between Stock Indices and Stock Index Futures Contracts: Further Australian Evidence. *Abacus*, Vol. 35, pp.333-341.

Gogineni, S. (2009). Oil and the stock market: An industry level analysis. Working paper, *University of Oklahoma*.

Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, Vol.37, N.3, pp.424-438.

Grôppo, G. S.; Amaral, H. F.; Bertucci, L. A. (2001). Integração de Mercados: Bovespa, Merval e Dow Jones. . In: XXVENCONTRO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, Anais.

Hammoudeh.S; Aleisa, E. (2004). Dynamic relationship among GCC stock markets and NYMEX oil futures. *Contemporary Economic Policy*, Vol. 22, pp.250-269,

Hsiao, C. (1997). Statistical Properties of the Two-Stage Least Squares Estimator Under Cointegration. *Review of Economic Studies*, Vol.64, N. 3.

Huang, R. D.; Masulis, R. W.; Stoll, H. R. (1996). "Energy shocks and financial markets," *Journal of Futures Markets*, Vol. 6, N. 1, pp. 1-27. Acesso em: 6 de julho de 2010, disponível em: <http://ssrn.com/abstract=900741>.

IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2011. Acesso em: 14 de Dezembro de 2011, disponível em: http://www.iea.org/weo/docs/weo2011/key_graphs.pdf.

Jensen, M. C. (1978). Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency. *Journal of Financial Economics*, Vol. 6, pp. 95-101.

Jones, C.M.; Kaul, G. (1996). Oil and the Stock Markets. *Journal of Finance*, Vol.51, N.2, pp.463-491.

Kanas, A.; Kouretas, G. P. (2005). A cointegration approach to the lead-lag effect among size-sorted equity portfolios. *International Review of Economics & Finance*, Vol. 12, N.2, pp. 181-201.

Oliveira, G. R.; De Medeiros, O. R. (2009). Testando a Existência de Efeito *Lead-Lag* Entre os Mercados Acionários Norte-Americano e Brasileiro. *BBR – Brazilian Business Review*, Vol. 06, pp.1-21.

Papapetrou, E. (2001). Oil Price Shocks, Stock Market, Economic Activity and Employment in Greece, *Energy Economics*, Vol. 23, pp. 511-32.

PETROBRÁS. Relações com Investidor. Consenso do mercado. Analistas que cobrem a Petrobrás. Acesso em: 14 de março de 2010, disponível em <<http://www.petrobras.com.br/pt/investidores/>>.

Rabelo Junior, T. S.; Ikeda, R. H. (2004). Mercados Eficientes e Arbitragem: Um estudo sob o enfoque das finanças comportamentais. *Revista Contabilidade e Finanças*, N. 34, janeiro/abril, São Paulo.

Ribeiro, E. P.; Neto, L.T.M.; Bone, R.B. (2011). Reservas de Óleo e Gás em Modelos de Avaliação para Empresas Petrolíferas. *Revista Brasileira de Finanças*, Vol. 9, N.4, pp.549-569.

Sadorsky, P. (1999). Oil Price Shocks and Stock Market Activity. *Energy Economics*, Vol. 21, pp. 449-469.

Sartoris, A. (2007). Estatística e Introdução à Econometria. São Paulo: Saraiva.

Tse, Y. K.; (1995). Lead-lag relationship between spot index and futures price of the nikkei stock average. *Journal of Forecasting*, Vol. 14, pp. 553–563.

Watsham, T, R.; Parramore, K. (2007). Quantitative Methods in Finance. London: Thomson.

Wooldridge, J. (2006). Introductory economics: a modern approach. 3rd ed. Mason, Ohio: Thomson South-Western.

Recebido em 05/06/2012 Aprovado em 03/12/2012 Disponibilizado em 19/12/2012 Avaliado pelo sistema <i>doubleblindreview</i>
