

## Volatilidade dos retornos das ações da Braskem no período de 2005 a 2014: uma análise a partir do modelo Autorregressivo com Heterocedasticidade Condicional (ARCH)

Cláudia Cristal de Paiva Mota<sup>1</sup>  
Marianne Costa Oliveira<sup>2</sup>

---

**Resumo:** O mercado de capitais proporciona às empresas uma forma alternativa de acesso ao financiamento para expandir suas produções e movimentar a economia. No entanto, ele tem sido considerado bastante arriscado para o investidor devido à alta volatilidade dos seus ativos e, portanto, os estudos da volatilidade dos retornos passa a representar um instrumental essencial para o mercado de ações, principalmente no que se refere à precificação de ativos e gestão de riscos. Este trabalho buscou aplicar os modelos da família ARCH como ferramenta de estudo da volatilidade dos retornos das ações preferenciais da Braskem (BRKM5) no período entre 3 de janeiro de 2005 a 24 de outubro de 2014. Com a série de retornos dos preços de fechamento da BRKM5 e após verificar que essa série é estacionária e não contém raiz unitária (*Augmented Dickey Fuller*), realizou-se o teste ARCH-LM, que confirmou a existência de volatilidade na variância dos retornos. Os modelos de volatilidade e assimetria foram estimados e de acordo com os critérios do *Akaike Information Criterion* (AIC) e *Schwartz Bayesian Criterion* (SBC), foi selecionado aquele que melhor explicou a volatilidade da série. O modelo escolhido foi o EGARCH (1,1), indicando que os choques positivos e negativos foram diferenciados, que a volatilidade responde mais rapidamente a retornos positivos que a negativos e, quanto à magnitude da persistência observou-se que os choques devem ter efeitos rápidos sobre o comportamento dos retornos futuros da BRKM5 e que a variância deve convergir a sua média histórica em curto período de tempo.

**Palavras-chave:** Volatilidade. ARCH. Ações. Braskem.

**Classificação J.E.L.:** C32; D81; G19.

---

1 Graduada em Economia pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

*E-mail:* <cristalmotta@hotmail.com>.

2 Mestre em Economia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB); professora assistente da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). *E-mail:* <mariannecst@gmail.com>.

## Volatility of stock returns of braskem in the period 2005 to 2014: an analysis from the Auto Regressive model with Conditional Heteroscedasticity (ARCH)

**Abstract:** The capital market provides companies with an alternative form of access to finance to expand their production and move the economy. However, it has been considered quite risky for investors due to the high volatility of its assets and, therefore, studies the volatility of returns now represents an essential instrument for the stock market, especially with regard to the pricing of assets and risk management. This study aimed to apply the ARCH family models such as volatility of study tool returns the preferred shares of Braskem (BRKM5) in the period from January 3, 2005 to October 24, 2014. With the series of closing prices of returns BRKM5 and after checking that this series is stationary and contain unit root (Augmented Dickey Fuller), held the ARCH-LM test, which confirmed the existence of volatility in the variance of returns. The models were estimated volatility and asymmetry and according to the criteria of the Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Schwartz Criterion (SBC), was selected that best explained the volatility of the series. The model chosen was the EGARCH (1,1), indicating that the positive and negative shocks were different, the volatility responds more quickly to positive feedback and the negative, as the magnitude of persistence was observed that the shocks must have effects Quick on the behavior of future returns of BRKM5 and that the variance should converge to its historical average in short time.

**Keywords:** Volatility. ARCH. Shares. Braskem.

**J.E.L.Code:** C32; D81; G19.

### 1 Introdução

O mercado de capitais pode ser definido como um conjunto de instituições que negociam com títulos e valores mobiliários, visando à canalização de recursos para vendedores e compradores, que surgiu, principalmente, quando o mercado de crédito deixou de atender às necessidades da atividade produtiva (PINHEIRO, 2005).

Nesse sentido, o mercado de capitais acaba contribuindo para o desenvolvimento econômico por meio da propulsão de capitais para investimentos e a participação da poupança de cada agente econômico, o que reforça a importância do mercado de capitais para a economia.

Dada a relevância e o volume de transações desse mercado, foi criada a Bolsa de Valores a fim de manter um local adequado para a realização das operações de compras e vendas de títulos e valores mobiliários, para preservar os valores éticos nas negociações e divulgar de

forma rápida e eficiente os resultados de todas as transações realizadas (ASSAF NETO, 2001)

O ano de 2013 foi marcado por fortes oscilações do Ibovespa<sup>3</sup>, provocadas principalmente pela volatilidade do mercado internacional e por perdas de companhias de peso para a Bovespa, como o caso da OGX<sup>4</sup> (BOVESPA, 2013). Diante desse cenário, o Ibovespa acumulou, de janeiro à dezembro de 2013 uma queda em torno de 18%, que afetou a maioria das empresas que estão inseridas no índice (LAPORTA, 2013).

Mesmo diante do desempenho desfavorável da Bovespa, algumas empresas apresentaram resultados positivos e se destacaram no mercado de renda variável, no mesmo período, como foi o caso da Braskem, empresa baiana que atua no Nível 1<sup>5</sup> de governança corporativa. A companhia apresentou uma valorização dos seus papéis de, aproximadamente 62% ao longo do ano de 2013, sendo o segundo melhor resultado registrado, dentre as empresas pertencentes à Bolsa de São Paulo (LAPORTA, 2013).

Com o exemplar desempenho das ações da Braskem, observado no ano de 2013, este papel passa a ser uma alternativa interessante de investimento disponível para o ano de 2014. Porém, os investidores almejando retornos cada vez maiores acabam assumindo riscos mais elevados, necessitando, dessa maneira de ferramentas eficazes que sejam capazes de auxiliá-los nas tomadas de decisões reduzindo os riscos apresentados pelo mercado.

Como as decisões financeiras são voltadas para o futuro, é imprescindível que a variável incerteza seja considerada um dos mais significativos aspectos do estudo das operações do mercado financeiro (ASSAF NETO, 2001).

Analisando as séries temporais financeiras, foi verificado que elas apresentam algumas características próprias (padrão) para os retornos dos mais variados ativos. Essas séries apresentam desvio padrão mudando ao longo

---

3 O Ibovespa é um índice resultante de uma carteira teórica de ativos, formada pelas principais ações de maior volume negociadas nos últimos meses. Esse índice representa o desempenho médio das ações negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBOVESPA, 2014).

4 OGX é uma empresa que atua nas áreas de exploração e produção de petróleo e gás natural, e que tem ações negociadas na BM&FBOVESPA (OGX, 2014).

5 Os níveis diferenciados de governança corporativa foram criados para ter segmentos adequados aos diferentes perfis de empresas. Os segmentos são: Bovespa Mais, Nível 1, Nível 2 e Novo Mercado (BM&FBOVESPA, 2014).

do tempo, e essa é uma medida bem adequada de risco, representando a variação do retorno em torno de um valor médio (GUJARATI, 2006).

Portanto, o estudo da volatilidade dos retornos representa um instrumental essencial para o mercado de ações, principalmente no que se refere à precificação de ativos e gestão de riscos, sendo importante para auxiliar o investidor na tomada de decisão, diminuindo a incerteza e minimizando o risco.

Dessa maneira, o presente artigo busca analisar a dinâmica da volatilidade do retorno das ações preferenciais da Braskem (BRKM5) no período de 2005 a 2014 e modelar a volatilidade por meio dos modelos *Autoregressive Conditional Heterocedasticity* (ARCH).

## 2 Revisão bibliográfica

Como a variância é frequentemente usada para medir a volatilidade, e por sua vez a volatilidade é um elemento crucial nas teorias de determinação de preços ativos, os modelos ARCH (autorregressivos com heterocedasticidade condicional) têm ganhado importância nos estudos empíricos da área de finanças.

Pereira *et al.* (2010) mediu a volatilidade condicional de commodities agropecuárias brasileiras e comparou os retornos privados de três commodities brasileiras (soja, café e boi gordo), confirmando a existência de dependência condicional na volatilidade dos retornos dos três produtos, com resultados que acusaram elevada persistência na resposta aos choques de variância, além de constatar que os retornos do café e da soja apresentavam respostas assimétricas aos choques positivos e negativos, mesmo não sendo identificado o efeito alavancagem.

Besarria *et al.* (2010) utilizaram o método GARCH-M (que é uma generalização do modelo ARCH em média) para estimar a sensibilidade do risco das empresas, pertencentes aos diferentes níveis de governança corporativa, em relação ao risco do mercado acionário brasileiro entre 2004 e 2009, e concluíram que as ações das empresas do Novo Mercado são menos voláteis que as ações das empresas pertencentes ao Nível 2 e Nível 1 (mais volátil) de governança corporativa.

Pereira (2009) analisou a formação dos preços no mercado futuro de cacau, na bolsa de Nova York, entre janeiro de 1997 a agosto de 2008, utilizando os modelos da família ARCH para estudar a volatilidade encontrada na série em questão. Os resultados reforçaram o comportamento persistente da volatilidade, no período analisado, revelando que os choques sobre a volatilidade iriam perdurar por muito tempo.

Jubert *et al.* (2008) analisaram o padrão de volatilidade dos índices de ações no mercado brasileiro entre 2006 e 2007. Em todos os índices, tomando por base os modelos estimados, foi verificado que o movimento do mercado no dia anterior influencia a volatilidade corrente. Pode-se, ainda, observar o efeito alavancagem, com os modelos assimétricos utilizados, em que os retornos negativos provocam maior instabilidade no mercado de ações e também que o resultado empírico corroborou as expectativas teóricas.

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Base de dados**

Os dados utilizados nesse estudo correspondem a série de preços de fechamento diários das ações preferenciais da Braskem (BRKM5) na bolsa de valores, obtidos através de fontes secundárias no site da BM&F Bovespa. As séries abrangem o período de 3 de janeiro de 2005 a 24 de outubro de 2014, período este escolhido por apresentar os preços dos últimos dez anos, desde o primeiro pregão do ano de 2005 até o último pregão disponível no momento de recolhimento dos dados.

#### **3.2 Modelo Empírico**

Os modelos utilizados são não-lineares, adequados para séries financeiras que apresentam uma evolução na variância condicional com o tempo, e têm como objetivo modelar a volatilidade, ou seja, a variância condicional de uma variável, mais conhecida como retorno (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Apesar de a volatilidade não ser medida diretamente, pode aparecer de várias maneiras em uma série financeira, umas das formas é em grupos, de maior ou menor variabilidade; evoluindo continuamente com o tempo, podendo ser estacionária; e ainda reagindo de forma diferente a valores positivos ou negativos.

Pode-se, assim, então calcular os retornos a partir da seguinte equação:

$$X_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) \quad (1)$$

Onde  $P_t$  é o preço do ativo financeiro no período  $t$ , e  $X_t$  é o retorno do período  $t-1$  e  $t$ .

Os modelos autorregressivos com heterocedasticidade condicional foram introduzidos por Engle (1982 apud MORETTIN; TOLOI, 2006) para estimar a variância da inflação, onde identificou que erros na previsão tendiam a ocorrer em forma de clusters, indicando a presença de heterocedasticidade em que a variância dos erros dependia do erro anterior. A ideia básica é de que o retorno  $X_t$  é não-correlacionado serialmente, mas a variância condicional (volatilidade) depende de retornos passados por meio de uma função quadrática. Sendo assim, um modelo ARCH(r) é definido por:

$$X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (2)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \dots + \alpha_r X_{t-r}^2 \quad (3)$$

Onde  $\varepsilon_t$  é uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.) com média zero e variância um,  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_1 \geq 0$ ,  $i > 0$ .

De acordo com Morettin e Tolo (2006), geralmente na prática, supõe-se que  $e_t \sim N(0,1)$  ou  $e_t \sim t_v$  (distribuição *t* de Student com  $v$  graus de liberdade). E os coeficientes  $\alpha_i$  devem satisfazer certas condições a depender das imposições que se coloca sobre o processo  $X_t$ . Para verificar se a série apresenta heterocedasticidade condicional utiliza-se o teste do

tipo Multiplicador de Lagrange (ML) proposto por Engle (1982 apud MORETTIN; TOLOI, 2006).

Os modelos GARCH (*generalized* ARCH), foram uma generalização dos modelos ARCH sugerida por Bollerslev (1986 apud MORETTIN; TOLOI, 2006). Assim como um modelo ARMA pode ser mais parcimonioso do que um modelo AR ou MA puro pelo fato de apresentar menos parâmetros, acontece da mesma forma com um modelo GARCH que pode ser utilizado para medir a volatilidade com menos parâmetros que um modelo ARCH.

Um modelo GARCH (r,s) é dado por:

$$X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (4)$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^r \alpha_i X_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^s \beta_j h_{t-j} \quad (5)$$

em que  $\varepsilon_t$  são i.i.d.  $(0,1)$ ,  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_j \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^q (\alpha_i + \beta_i) < 1$ ,  $q = \max(r, s)$

Segundo Pereira (2009), supondo um caso simples de GARCH(1,1), onde  $p = q = 1$ , assume-se a seguinte forma funcional:

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (6)$$

Geralmente, observa-se que nas aplicações de um modelo GARCH(1,1), a soma dos parâmetros  $\alpha_1$  e  $\beta_1$  têm sido 1. As percepções para os parâmetros desse modelo são: a) grandes coeficientes de  $\beta$  indicam que os choques levam um longo período de tempo para poder se dissipar, considerada volatilidade persistente; e b) grandes coeficientes  $\alpha$  significa, por sua vez, que a volatilidade tende a ser mais aguçada, que apresenta alta reação. A persistência dos choques na volatilidade do retorno pode ser medida pela soma dos coeficientes  $\alpha$  e  $\beta$ , sendo que se os valores da soma desses coeficientes forem próximos de zero significa que um choque sobre a volatilidade surtirá efeitos transitórios, que no curto período de tempo convergirá a sua média histórica, mas se os valores da soma estiverem próximos de um indica que o choque persistirá por um tempo maior até desaparecer (PEREIRA, 2009).

O modelo GARCH capta diversas características observadas nas séries financeiras históricas, de forma correta, porém, segundo Brooks (2002 apud GAIO et al., 2006), esse modelo não capta o efeito de

alavancagem, uma vez que a variância condicional é função somente da magnitude das inovações e não dos seus sinais. Sendo assim, surgiu a ideia de criar modelos que captem a assimetria das respostas, como os modelos EGARCH e TARCH.

Os retornos são tratados de forma simétrica tanto no modelo ARCH quanto no GARCH, pois a volatilidade é uma função quadrática dos mesmos. Mas sabe-se que a volatilidade reage de forma assimétrica aos retornos, tendendo ser maior a retornos negativos.

Então, para captar os impactos assimétricos nas séries de dados, Nelson (1991 apud MORETTIN; TOLOI, 2006) introduziu os modelos EGARCH (*Exponential GARCH*).

Um modelo EGARCH (1,1) é dado por:

$$X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (7)$$

$$\ln(h_t) = a_0 + a_1 g(\varepsilon_{t-1}) + \beta_1 \ln(h_{t-1}) \quad (8)$$

em que  $\varepsilon_t$  é i.i.d. (0,1) e  $g(\cdot)$  é uma curva de impacto de informação, que é dada por:

$$g(\varepsilon_t) = \theta \varepsilon_t + \gamma \{|\varepsilon_t| - E(|\varepsilon_t|)\} \quad (9)$$

aqui,  $\theta$  e  $\gamma$  são parâmetros reais,  $|\varepsilon_t| - E(|\varepsilon_t|)$  é uma sequência de v.a. i.i.d. com média zero.

Essa assimetria permite que a volatilidade responda mais rapidamente a retornos negativos do que a positivos, mais conhecido como “efeito alavancagem”.

O modelo TARCH (*Threshold ARCH*) é um caso particular do ARCH não-linear, e a volatilidade segue então de forma funcional, de acordo com Teixeira et al (2008):

$$\sigma_t^2 = a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma_1 d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 \quad (10)$$



considerando que  $\lambda = 2$

$\alpha_1$  = coeficiente de reação da volatilidade

$\beta_1$  = coeficiente de persistência da volatilidade

$\gamma_1$  = efeito assimetria na volatilidade

$d_{t-1}$  = *dummy*: 1 se  $\varepsilon_{t-1} < 0$  más notícias.

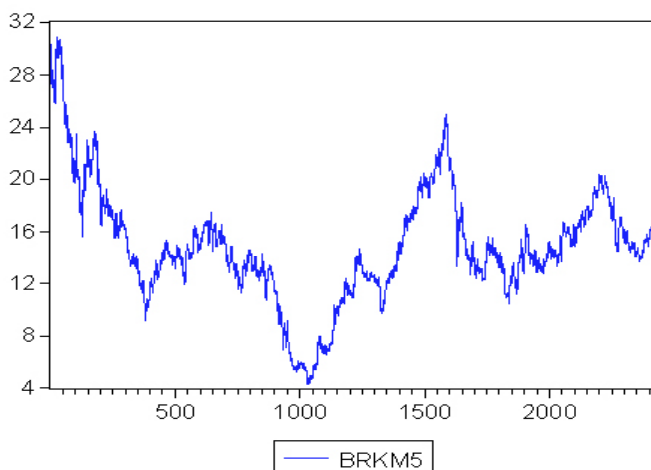
0 se  $\varepsilon_{t-1} > 0$  boas notícias.

Se  $\lambda \neq 0$ , há um impacto de informação assimétrica e para que as informações negativas tenham maior impacto,  $\lambda > 0$ .

## 4 Resultados

Serão apresentados os resultados e discussões da análise da volatilidade da série de retornos das ações preferenciais da Braskem (BRKM5) no período entre janeiro de 2005 a outubro de 2014 negociadas na BM&FBOVESPA, através dos modelos da família ARCH que são utilizadas para modelar a volatilidade existente na série. A FIGURA 1 apresenta o comportamento da série de preços das ações da Braskem (BRKM5). Observa-se que a série apresenta períodos de alta nos preços seguidos de períodos de baixa, sinalizando uma volatilidade na série. O valor máximo do período foi de R\$30,86 (em 9/2/2005) e o mínimo de R\$4,25 em (6/3/2009).

**FIGURA 1** - Comportamento da série de preços diários das ações da Braskem (BRKM5) no período de janeiro de 2005 a outubro de 2014



Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Para verificar se há ou não estacionariedade na série de preços das ações BRKM5 foi realizado um teste de raízes unitárias conhecido como teste *Augmented Dickey Fuller* (ADF), que funciona como uma regressão que permite inferir se os preços têm tendência de reversão à média. Como é possível observar na TABELA 1, os resultados do teste ADF comprovam que a série de preços não é estacionária apresentando raiz unitária nos testes com e sem tendência, pois, aceita-se a hipótese nula de presença de raiz unitária – para níveis de significância de 5% e 1% pode-se observar que as estatísticas do teste são menores que os críticos.

**TABELA 1** - Teste de estacionariedade para a série de preços diários das ações BRKM5

| SEM TENDÊNCIA |           |                    |                    |                     |
|---------------|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| VARIÁVEL      | TESTE ADF | VALOR CRÍTICO (1%) | VALOR CRÍTICO (5%) | VALOR CRÍTICO (10%) |
| BRKM5         | -1.663857 | -2.565915          | -1.940954          | -1.616612           |
| BRKM5         | -47.05198 | -2.565915          | -1.940954          | -1.616612           |

| COM TENDÊNCIA |           |                    |                    |                     |
|---------------|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| VARIÁVEL      | TESTE ADF | VALOR CRÍTICO (1%) | VALOR CRÍTICO (5%) | VALOR CRÍTICO (10%) |
| BRKM5         | -3.366713 | -3.961824          | -3.411659          | -3.127704           |
| BRKM5         | -47.08358 | -3.961824          | -3.411659          | -3.127704           |

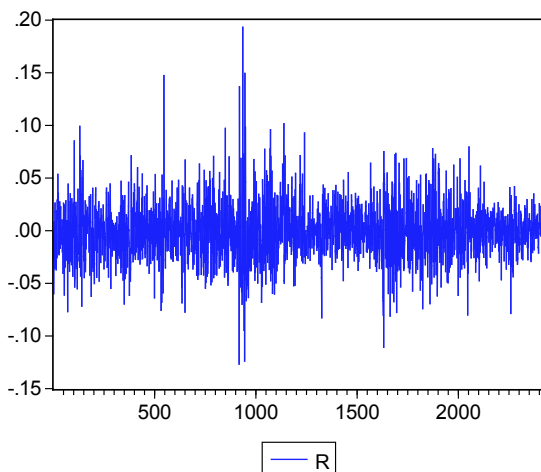
Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Notas: (1)  $\Delta$  = primeira diferença

(2) Hipótese nula: presença de raiz unitária

Um passo fundamental para o estudo da volatilidade é transformar a série de preços em série de retorno, pois para série financeira ela se torna muito mais atraente e facilita a comparação mesmo em períodos diferentes. A FIGURA 2 ilustra a série de retorno da BRKM5, que visualmente permite a percepção de que a série de retorno possui tendência à reversão à média, que será comprovada ou não pelos testes de raízes unitárias.

FIGURA 2 – Série de retorno das ações BRKM5 de jan/2005 a out/2014



Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Realizando-se o teste ADF observou-se que, em todos os níveis de significância, a hipótese nula de presença de raiz unitária foi rejeitada.

Dessa maneira infere-se que a série de retorno das ações da BRKM5 apresenta uma tendência de reversão à média.

**TABELA 2** - Teste de estacionariedade para a série de retorno das ações BRKM5

| VARIÁVEL | TESTE ADF | VALOR CRÍTICO (1%) | VALOR CRÍTICO (5%) | VALOR CRÍTICO (10%) |
|----------|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Retorno  | -47.87615 | -3.961824          | -3.411659          | -3.127704           |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Para avaliar o comportamento da série de retorno de acordo com a normalidade foi necessário realizar o teste de normalidade de Jarque-Bera, que apresentou um valor de 1190,479 e um p-valor de 0,00000 indicando a rejeição da hipótese nula de normalidade, que é verificada também pelas estatísticas de assimetria e curtose, que foram fortemente significativas, superando os valores propostos de ser  $\neq 0$  (para a assimetria) e  $> 3$  (para a curtose) (TABELA 3).

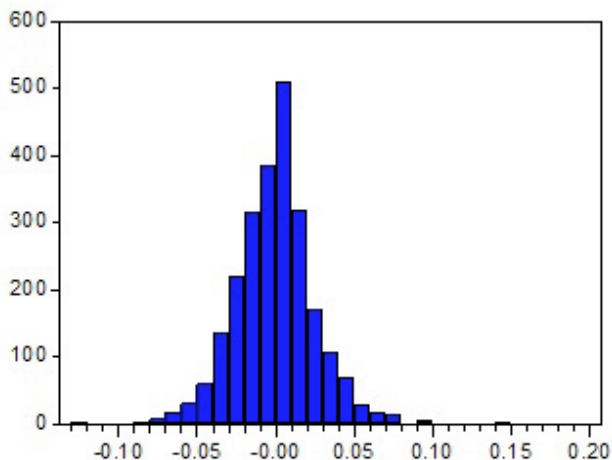
**TABELA 3** - Estatísticas descritivas da série de retorno das ações BRKM5

| MEDIDAS               | BRKM5            |
|-----------------------|------------------|
| Média                 | -0,000223        |
| Mediana               | 0,000000         |
| Valor Máximo          | 0,193211         |
| Valor Mínimo          | -0,126539        |
| Desvio padrão         | 0,026083         |
| Assimetria            | 0,380616         |
| Curtose               | <b>6,344851</b>  |
| Teste Jarque-Bera     | <b>1190,479</b>  |
| p-valor de JarqueBera | <b>(0,00000)</b> |
| N°. Observações       | 2428             |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Os valores que foram encontrados para a assimetria e curtose da série de retorno das ações BRKM5 indicaram desvios de normalidade, o que caracterizou a série como leptocúrtica em relação à distribuição normal conforme mostra a FIGURA 3.

FIGURA 3 – Distribuição da série de retorno diário das ações BRKM5



Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Na TABELA 4 encontram-se as estatísticas de autocorrelação e autocorrelação parcial dos retornos e quadrado dos retornos demonstrando um comportamento esperado para a média condicional dos retornos das ações BRKM5. Dessa maneira, de acordo com os valores-p da série de retornos quadráticos, espera-se que suas características se assemelhem a um “*passeio aleatório*”, e a série de retorno revela a característica de “*ruído branco*” até a quarta defasagem.

TABELA 4 – Estimativas de autocorrelação e autocorrelação parcial para os retornos e quadrados dos retornos das ações BRKM5

| AÇÕES | DEFASAGEM        | RETORNO         | P-VALOR | QUADRADO DO RETORNO | P-VALOR |
|-------|------------------|-----------------|---------|---------------------|---------|
| BRKM5 | $a_2(p_2)$       | 0,015 (0,014)   | 0,265   | 0,248 (0,243)       | 0,000   |
|       | $a_4(p_4)$       | -0,050 (-0,050) | 0,067   | 0,163 (0,100)       | 0,000   |
|       | $a_6(p_6)$       | -0,054 (-0,052) | 0,015   | 0,136 (0,068)       | 0,000   |
|       | $a_8(p_8)$       | 0,015 (0,015)   | 0,033   | 0,075 (0,001)       | 0,000   |
|       | $a_{10}(p_{10})$ | 0,008 (0,004)   | 0,030   | 0,070 (0,009)       | 0,000   |
|       | $a_{12}(p_{12})$ | 0,039 (0,037)   | 0,021   | 0,060 (-0,008)      | 0,000   |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

O próximo passo foi realizar a modelagem da série, utilizando algum método auto-regressivo e, ou de médias móveis. Os modelos estimados encontram-se na TABELA 5, a escolha foi norteadada pelos resíduos na qualidade ruído branco. Sendo que o modelo escolhido foi ARIMA (1,1,1), que apresentou probabilidade menor que 5% e os menores valores dos critérios *Akaike Information Criterion* (AIC) e *Schwartz Bayesian Criterion* (SBC), conforme destaque.

TABELA 5 - Modelagem da média dos retornos das ações BRKM5, conforme estimação de modelos ARMA (p,q)

| AÇÕES      | SITUAÇÃO*  | AIC       | SBC       |
|------------|------------|-----------|-----------|
| ARMA (1,1) | Incompleto | -4,461455 | -4,456672 |
| ARMA (2,2) | Incompleto | -4,460781 | -4,451221 |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Nota: \*A situação "incompleto" se refere a modelos cuja ordem do AR e MA não contempla todas as defasagens.

A partir da modelagem da média dos retornos, obtiveram-se as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial dos resíduos e realizou-se novamente o teste de Ljung-Box. Na TABELA 6 estão as informações dos p-valores do teste descritos, além dos quadrados dos resíduos, um dos recursos teóricos que dão suporte a análise da volatilidade em séries temporais.

Se os p-valores dos resíduos forem superiores a 5% de significância, rejeita-se a hipótese nula de que o quadrado dos resíduos não está correlacionado, ou seja, rejeita a hipótese de que os erros não apresentam uma estrutura do tipo GARCH.

TABELA 6 - Estimativas de autocorrelação e autocorrelação parcial para os resíduos e quadrado dos resíduos do modelo selecionado das ações BRKM5

| AÇÕES | DEFASAGEM        | RESÍDUOS        | P-VALOR | QUADRADO DOS RESÍDUOS | P-VALOR |
|-------|------------------|-----------------|---------|-----------------------|---------|
| BRKM5 | $a_4(p_4)$       | -0,050 (-0,050) | 0,014   | 0,163 (0,100)         | 0,000   |
|       | $a_6(p_6)$       | 0,000 (0,001)   | 0,072   | 0,122 (0,054)         | 0,000   |
|       | $a_8(p_8)$       | 0,018 (0,016)   | 0,139   | 0,069 (0,000)         | 0,000   |
|       | $a_{10}(p_{10})$ | 0,005 (0,006)   | 0,110   | 0,062 (0,004)         | 0,000   |
|       | $a_{12}(p_{12})$ | -0,001 (0,000)  | 0,214   | 0,064 (0,003)         | 0,000   |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Os resultados foram altamente significativos (sendo superiores a 5%), rejeitando a hipótese nula de que o quadrado dos resíduos não está correlacionado, confirmando, assim, que os modelos escolhidos são eficientes para retirar a correlação residual ainda persistente nos retornos.

Para assegurar a conclusão da hipótese de heterocedasticidade condicional, é recomendado realizar um teste formal na busca por respostas visíveis. O teste para detectar o efeito ARCH é o proposto por Engle (1982) e seus resultados estão na TABELA 7. O teste ARCH-LM na TABELA 7 demonstra todos os p-valores para as estatísticas dos testes, F e  $X^2$  (qui-quadrado)<sup>6</sup>, e confirmam a existência de volatilidade na variância dos retornos, ou seja, há heterocedasticidade condicional para todas as defasagens de resíduos. Pode-se então estimar os modelos de volatilidade e assimetria.

TABELA 7 - Resultados do teste LM para o retorno das ações BRKM5

| AÇÕES | DEFASAGEM | ESTATÍSTICA F | P-VALOR | N.R <sup>2</sup> | P-VALOR |
|-------|-----------|---------------|---------|------------------|---------|
| BRKM5 | 2         | 85.25479      | 0,000   | 159.4712         | 0,000   |
|       | 4         | 52.58392      | 0,000   | 193.8721         | 0,000   |
|       | 6         | 37.33852      | 0,000   | 205.5650         | 0,000   |
|       | 8         | 29.37503      | 0,000   | 214.8828         | 0,000   |
|       | 10        | 28.69931      | 0,000   | 257.5258         | 0,000   |
|       | 12        | 27.47969      | 0,000   | 291.4499         | 0,000   |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Os resultados encontrados para as defasagens estabelecidas do quadrado dos resíduos foram significativos em nível de 1% de significância. Então, confirmando a estacionaridade da série e conhecendo o modelo ARMA, foram estimados modelos que fazem parte da família ARCH, para se fazer o estudo da dinâmica da volatilidade do retorno das ações em questão. Foram estimados modelos GARCH, para tentar expressar de maneira mais parcimoniosa a tendência temporal da variância condicional. Também foi feita a estimação de modelos EGARCH, para obter evidências da assimetria e dos choques. E ainda foram estimados modelos TARCH visando captar o efeito alavancagem, onde choques

6 A distribuição qui-quadrado é utilizada no teste de hipótese da estatística derivada do produto  $n \cdot R^2$ .

positivos e negativos no mercado geram impactos diferentes sobre a volatilidade.

Conferindo os valores do AIC e SBC de cada modelo e, além disso, o teste dos resíduos Q(12) com suas respectivas probabilidades, foi montada a TABELA 8 com alguns dos modelos candidatos. Dos modelos selecionados foi escolhido aquele que apresentou menores valores de AIC e SBC, esse critério é desejado para se obter o melhor ajustamento do modelo.

**TABELA 8** - Resumo dos modelos testados e escolhidos

| AÇÕES | MODELOS      | CRITÉRIO AIC | CRITÉRIO SBC |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| BRKM5 | GARCH (1,1)  | -4,594108    | -4,582151    |
|       | EGARCH (1,1) | -4,602679    | -4,588329    |
|       | TARCH (1,1)  | -4,600056    | -4,585707    |

Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

Dos modelos que foram testados, o EGARCH (1,1) foi o que apresentou os menores valores dos critérios AIC e SBC, sendo então o que melhor se ajustou para explicar a dinâmica da volatilidade na série. A variância do modelo EGARCH (1,1) é especificada por:

$$s_t^2 = -0,339320 + 0,167973 \left| \frac{e_{t-1}}{s_{t-1}} \right| - 0,041621 h s_{t-1}^2 + 0,971765 \frac{e_{t-1}}{s_{t-1}} \quad (11)$$

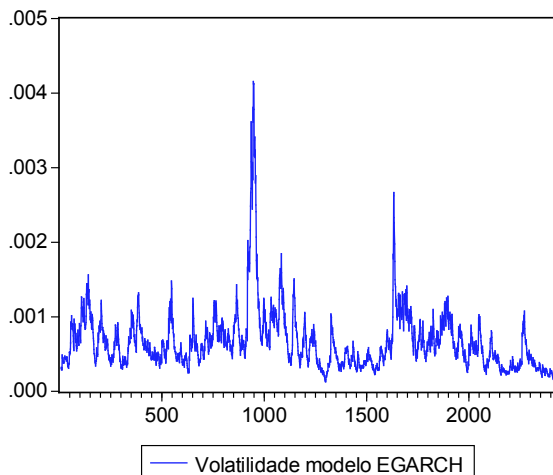
(0,0000)      (0,0000)      (0,0000)      (0,0000)

Os resultados do modelo apresentam significância estatística de 1%. Nesse modelo, o efeito de choques é exponencial e não quadrático, apresentando um coeficiente de reação da volatilidade diferente de zero (-0,339320) indicando que os impactos decorrentes de choques positivos e negativos foram diferenciados na volatilidade. O coeficiente que capta a assimetria da volatilidade (0,971765) apresentou um valor diferente de zero, reafirmando a diferenciação dos choques, e como o coeficiente é positivo, interpreta-se que a volatilidade responde mais rapidamente a retornos positivos que a negativos. No entanto, a magnitude do coeficiente de persistência do modelo foi inferior a um (0,126352), indicando que os choques devem ter efeitos rápidos sobre



o comportamento dos retornos futuros das ações BRKM5, e a variância deve convergir a sua média histórica em breve espaço de tempo (FIGURA 4).

FIGURA 4 - Volatilidade captada pelo modelo EGARCH (1,1)



Fonte: Resultados da pesquisa, 2014.

A boa prática de governança corporativa e os bons resultados da empresa favorecem para que os choques não sejam persistentes e que retornem à média histórica. A crise financeira aliada aos baixos preços das commodities no final de 2008 são captados pelo modelo como informações negativas que impactam a volatilidade mais que informações positivas, e retornos positivos são absorvidos mais rapidamente que os negativos, porém em magnitude menor.

## 5 Conclusão

O mercado de capitais tem assumido um papel relevante para a economia nacional, ao exercer a função de fomentar a atividade produtiva por meio da canalização de recursos de poupadores para investidores, o mercado de capitais acaba promovendo a economia e estimulando o seu crescimento.

Porém, a volatilidade dos seus ativos é consideravelmente elevada, pois como as decisões financeiras são voltadas para o futuro, deve-se considerar a

variável risco como imprescindível na tomada de decisão do investidor. Como as séries financeiras apresentam uma variância mudando com o tempo, o desvio-padrão sinaliza o risco do investimento. Dessa forma, a utilização dos modelos ARCH são capazes de captar e medir a volatilidade das séries financeiras a partir da variância, e se fazem uma ferramenta importante na precificação dos ativos.

Com o estudo da volatilidade dos preços das ações BRKM5 por meio dos modelos ARCH chegou-se ao modelo EGARCH (1,1), por apresentar o maior ajuste à série, capaz de explicar a volatilidade indicando através de seus parâmetros que os choques positivos e negativos foram diferenciados, e que a volatilidade responde mais rapidamente a retornos positivos que a negativos. Quanto à magnitude da persistência observou-se que os choques devem ter efeitos rápidos sobre o comportamento dos retornos futuros das ações preferenciais da Braskem (BRKM5) e a variância deve convergir a sua média histórica em curto período de tempo.

Sendo assim, constatou-se que a utilização dos modelos da família ARCH para modelar a volatilidade dos retornos das ações da empresa que foi estudada serviu como uma ferramenta importante de análise de séries financeiras que poderá ser levada em consideração pelo investidor na tomada de decisão acerca de aplicações em ativos de renda variada e servir de auxílio na diminuição da incerteza e minimização do risco de mercado.

## Referências

ASSAF NETO, A. **Mercado financeiro**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BM&FBOVESPA. **BM&FBovespa**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/home.aspx?idioma=pt-br#>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

BESARRIA, C. N. et al. CAPM e beta variando ao longo do tempo: o caso das ações sob níveis diferenciados de governança corporativa. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE FINANÇAS, 10., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FGV, 2010. p. 1. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ocs/index.php/ebf/10EBF/paper/viewFile/1938/1016>>. Acesso em 5 set. 2013.

GAIO, L. E. et al. Volatilidade no mercado futuro de boi gordo na BM&F: um estudo empírico utilizando modelos da classe ARCH. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 44., 2006, Fortaleza. **Pôster...** Fortaleza: SOBER, 2006. p.1. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/5/439.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

JUBERT, R. W. et al. Um estudo do padrão de volatilidade dos principais índices financeiros do Bovespa: uma aplicação de modelos ARCH. **Revista UnB Contábil**, v. 11. n. 1-2, p. 221-239, 2008.

LAPORTA, T. As 10 melhores ações da Bolsa em 2013. **Economia IG**, São Paulo, 16 dez. 2013. Investimentos, Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/financas/investimentos/2013-12-16/as-10-melhores-acoes-da-bolsa-em-2013.html>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

MORETTIN, P. A; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

OGX. **Relação com Investidores**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.ogx.com.br/conteudo\\_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=53280](http://www.ogx.com.br/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=53280)>. Acesso em: 15 nov. 2014.

PEREIRA, E. S. **Formação de preços e finanças comportamentais**: um estudo empírico no mercado futuro de cacau. 2009. Dissertação (Mestrado em Economia)– Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

PEREIRA, V. F. et al. Volatilidade condicional dos retornos de commodities agropecuárias brasileiras. **Revista de Economia**, v. 36, n. 3, p 73-94, 2010.

PINHEIRO, J. L. **Mercado de capitais: fundamentos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

BOVESPA fecha 2013 com queda de 15,5%. **Veja**, São Paulo, p.1, 30 dez.

2013. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/bovespa-fecha-2013-com-15-de-queda>>. Acesso em: 15 nov. 2014.