

AÇÕES DO MERCADO FINANCEIRO: UM ESTUDO VIA MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

Caroline Poli Espanhol; Célia Mendes Carvalho Lopes
Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie
carol_espanhol@hotmail.com; celiagiz@mackenzie.br
Apoio: PIBIC MackPesquisa

RESUMO: Neste trabalho, busca-se encontrar e ajustar um modelo de séries temporais que se ajuste satisfatoriamente aos dados da série financeira dos valores das ações da Petrobrás, possibilitando, assim, um estudo do comportamento e dos fatores relevantes da série e a previsão de dados futuros da mesma. Após um tratamento e ajuste dos dados, um levantamento de acontecimentos e fatos importantes foi realizado, para identificar possíveis causas das repentinas mudanças na conduta dos dados, variações essas identificadas graficamente. Foram selecionados para estudo dois modelos: GARCH, um modelo não-linear, e EWMA, um modelo de média móvel exponencialmente ponderada. Ambos foram modelados e a análise da eficiência do ajuste da série foi realizada por método gráfico, utilizando análise de resíduos, com gráficos de dispersão e de autocorrelação. O estudo identificou que um dos modelos apresentava um melhor ajuste para a série de dados em estudo do que o outro, sendo então realizada a previsão para alguns próximos valores da série temporal a partir deste modelo, que apresenta uma maior capacidade de absorção das componentes das séries, como a volatilidade, nas suas modelagens; e também pelo seu histórico de melhores ajustes em séries temporais financeiras.

PALAVRAS-CHAVE: Séries temporais. GARCH. EWMA. Petrobrás.

INTRODUÇÃO

Uma série temporal é qualquer conjunto de observações de dados numéricos sequencialmente ordenados no tempo. Alguns dos principais objetivos da análise de séries temporais são identificar e isolar os fatores de influência da série, estabelecer se os dados apresentam algum padrão não-aleatório, indagar o mecanismo gerador da série temporal, fazer previsões de valores futuros da série, localizar os padrões não-aleatórios ou averiguar a ausência desses padrões, descrever apenas o comportamento da série, pesquisar intermitências relevantes nos dados. Nesses casos, os padrões não-aleatórios são considerados como um indício de que determinado sistema ou processo está fora de controle.

A maior contribuição e importância deste trabalho é a possibilidade de estudos de riscos e/ou vantagens na aquisição de ações do mercado financeiro, levando em consideração a volatilidade presente constantemente em séries financeiras.

Investidores do mercado financeiro geralmente fundamentam a compra ou venda de ações através do histórico de suas cotações de valores ou pela intuição do comportamento do mercado ou da análise fundamentalista da empresa. Integrar o histórico dos valores diários, com os acontecimentos financeiros e todos àqueles outros relacionados à empresa investida, levando em consideração a possibilidade de uma boa previsão com estudo da volatilidade presente nas séries de dados, é o problema principal desta pesquisa.

Essa pesquisa tem como principais objetivos analisar modelos de séries temporais que dêem bons ajustes para a série estudada, pesquisar fatores relevantes no comportamento dos dados e fazer um estudo de previsão a partir dos modelos estudados.

REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Morettin e Tolói (2006), dois enfoques são utilizados na análise de séries temporais. No primeiro, o estudo é feito no domínio do tempo e os modelos propostos são paramétricos (parâmetros finitos); já no segundo, a análise é realizada no domínio de frequências e os modelos são os não-paramétricos.

O pressuposto fundamental da análise de séries temporais é de que, aproximadamente da mesma maneira, os fatores que influenciaram padrões da atividade no passado e no presente permanecerão a fazê-lo, no futuro (BERENSON; STEPHAN; LEVINE, 2005).

Kazmier (1982) expõe que a análise de série temporal é o meio pelo qual são identificados e separados os fatores ligados com o tempo que agem sobre os valores observados na série. Uma vez identificados, podem ser empregados para ajudar na interpretação e na projeção de valores da série temporal.

Segundo Morettin e Tolói (2006) as séries temporais podem ser decompostas em quatro componentes básicos: tendência, variações cíclicas, variações sazonais e variações irregulares. Ainda de acordo com Morettin e Tolói (2006), em várias situações uma série temporal pode demonstrar comportamentos que não se encaixam na suposição de um processo linear. Alguns deles podem ser, por exemplo, mudanças repentinas, variância condicional evoluindo no tempo (volatilidade) e irreversibilidade no tempo.

Por não seguirem o modelo linear são, então, identificados como modelos não-lineares. Séries de análise econômica e financeira seguem, normalmente, esse modelo de série temporal, e apresentam, em geral, tendência.

Neste trabalho, são estudados dois modelos de séries temporais para os dados de ações da Petrobrás, empresa que tem muita influência no mercado. Os dois modelos destacados e desenvolvidos na análise dessa série temporal são o modelo GARCH, que é uma generalização de outro não-linear, o modelo ARCH; e o modelo de alisamento exponencial EWMA - *Exponentially Weighted Moving Average*, que indica com rapidez as mudanças extremas que ocorrem nos valores das séries financeiras.

Nos dois modelos, em vez de utilizar os valores diários das ações, adotamos o uso do log-retorno simples e o seu quadrado, respectivamente, visto que na prática é preferível trabalhar com retornos, que são livres de escala, do que com preços, pois os primeiros têm propriedades estatísticas mais interessantes. Pode-se considerar ainda que retornos simples e log-retornos são em geral valores muito próximos. Ao analisarmos a série do log-retorno, estamos analisando a volatilidade da série. (MORETTIN, TOLOI, 2006)

Um modelo GARCH(r,s) é definido por $X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t$ com $h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^r \alpha_i x_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^s \beta_j h_{t-j}$ em que ε_t i.i.d.(0,1); $\alpha_0 > 0$; $\alpha_i \geq 0$; $\beta_j \geq 0$; $\sum_{i=1}^q (\alpha_i + \beta_i) < 1$; $q = \max(r,s)$.

Segundo Valls Pereira (2008), no modelo EWMA a volatilidade no instante t é dada por $\sigma_{i,t}^2 = \lambda \sigma_{i,t-1}^2 + (1-\lambda)r_{i,t-1}^2$ em que $0 \leq \lambda \leq 1$ e λ é um fator de decaimento, que indica quanto o peso das observações anteriores diminui enquanto estas se distanciam do instante analisado. Sendo assim, as observações mais recentes têm peso maior. Quanto menor o valor de λ , maior é o peso das observações.

ESTUDO DE CASO

Para os dados utilizados neste trabalho, foi uma busca, coleta e agrupamento dos valores diários das ações da Petrobrás - PETR3 - no período de 23/06/2000 à 30/04/2009, dados esses de domínio público disponíveis no site da BOVESPA (2009). Em seguida, foram feitos os ajustes necessários nos valores por causa de dois *splits* de ações ocorridos no período em estudo. Um *split* é basicamente a divisão de uma ação em mais ações.

A série estudada é a dos valores de fechamento diários das ações ON (ordinárias) da Petrobrás – PETR3. Ações ordinárias são aquelas que dão direito ao voto nas reuniões de acionistas da empresa e são sempre nominativas.

Após a coleta e tratamento adequado dos dados, fez-se um levantamento histórico da empresa, do mercado e das notícias envolvendo problemas ou crescimento da organização, a fim de encontrar informações sobre fatores que possam ter influenciado nas quedas ou aumentos relevantes dos valores coletados, buscando explicar mudanças bruscas de comportamento da série.

Na busca por um modelo que se ajustasse adequadamente ao tipo de série tratada, a financeira, optou-se pelo estudo mais aprofundado do modelo GARCH. Esse modelo é um dos não-lineares, que são apropriados para estudos de séries temporais econômicas e financeiras. Selecionou-se também o modelo EWMA, com o intuito de verificar como esse modelo, que é um pouco mais simples e inclusive pode ser encontrado na biblioteca de funções do Microsoft Excel, ajustaria os valores em estudo.

Após a seleção dos dois métodos, foi realizada a modelagem e estudo de todos os componentes, para assim conseguir analisar se esses modelos pré-escolhidos ajustariam de forma satisfatória a série temporal em questão.

Posteriormente à determinação dos parâmetros a serem utilizados nos modelos, os dados da série foram ajustados de acordo com as fórmulas relacionadas ao modelo GARCH e ao modelo de alisamento exponencial, EWMA; sendo os dados usados nos ajustes o log-retorno simples e o seu quadrado, respectivamente em cada modelagem

A partir do modelo ajustado, foi realizada uma análise gráfica dos dados com auxílio de programas como Microsoft Excel e Minitab, para confirmação da qualidade do ajuste dos modelos. Após o estudo gráfico, tendo o modelo GARCH ajustado satisfatoriamente os dados coletados, foram realizadas as previsões para os vinte dias seguintes do fim da série de valores, período correspondente ao mês de maio de 2009.

O EWMA foi modelado para a série temporal estudada e utilizado somente para demonstrar que um modelo mais simples, já que este possui maiores limitações quando comparado ao modelo GARCH no ajuste das séries, também conseguiu ajustar a série financeira em estudo. Previsões não foram feitas pelo modelo, pois o modelo GARCH foi considerado melhor na modelagem realizada para série de valores diários das ações PETR3.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da coleta e tratamento do valor das cotações diárias das ações PETR3 da Petrobrás, no período de 23/06/2000 à 30/04/2009, foram obtidos 2.195 dados, representados no gráfico 1. Com a intenção de avaliar melhor as fortes elevações e decréscimos de valor das ações, principalmente nos últimos dois anos, alguns pontos foram destacados no gráfico anterior para futuras investigações dos fatores que podem ter ocasionado tais discrepâncias, sendo eles os expostos a seguir no gráfico 2.

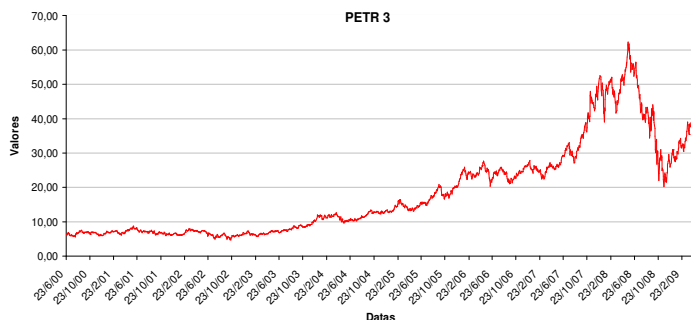


Gráfico 1: Evolução dos preços das ações no período em estudo.
Fonte: Adaptação de Bovespa (2009).

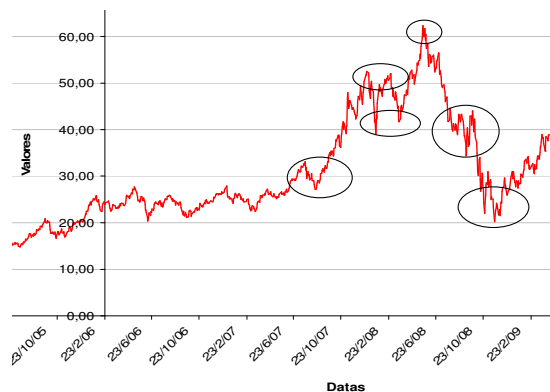


Gráfico 2 : Pontos importantes no estudo de fatores influentes no comportamento da série.

Com a separação das possíveis datas ou períodos onde possam ter ocorridos fatos que influenciaram diretamente no comportamento e desenvolvimento da série de dados, fez-se uma pesquisa detalhada de quais seriam esse fatores, sendo destacados os apresentados no quadro 1.

DATA	ACONTECIMENTO
23/8/07	Petrobrás arremata 34 blocos no Golfo do México Americano
5/9/07	Nova descoberta de óleo Leve na Bacia de Santos
4/10/07	Petrobrás arremata 26 blocos no Golfo do México Americano
8/11/07	Existência de 5 a 8 bilhões de barris de petróleo e gás na camada pré-sal no campo de Tupi
9/11/07	Petrobrás assina acordo de compra de refinaria no Japão
14/1/08	Descoberta de gás e condensado no Peru
21/1/08	Descoberta de uma importante jazida de Gás e Condensado no Pré-Sal
19/3/08	Petrobras arremata 22 blocos em leilão do Golfo do México americano
30/4/08	Reajuste nos preços de Gasolina e Diesel
26/5/08	Petrobras participa de descoberta em águas ultraprofundas no Golfo do México
14/7/08	Greve na Bacia de Campos
20/8/08	Esclarecimentos sobre unificação de áreas do Pré-sal
15/9/08	Contratação de FPSO para o Pré-Sal
24/9/08	Confirmada mais uma importante descoberta de gás e óleo leve no Pré-Sal
fim/2008	Crise econômica de 2008
15/10/08	Esclarecimentos sobre Descoberta no BM-S-12
15/10/08	Descoberta em águas profundas de Angola
17/10/08	Divulgação do Plano de Negócios 2009 – 2013
27/11/08	Esclarecimentos sobre situação da Petrobras
4/12/08	Contratação de Financiamentos
8/12/08	Esclarecimentos sobre Investimentos na Petrobras

Quadro 1: Principais fatores relevantes

Após uma abordagem socioeconômica dos possíveis fatores influenciadores da série temporal estudada, partimos para o ajuste dos dados nos dois modelos destacados: Garch e EWMA. Trataremos dos dois separadamente, mostrando o ajuste conseguido com cada um dos modelos.

1) MODELO GARCH

O modelo GARCH é um modelo não-linear, usualmente utilizado no ajuste de séries financeiras, pois consegue descrever a volatilidade da série com poucos parâmetros, quando comparado com outros modelos não-lineares como o ARCH.

Vamos utilizar o modelo GARCH(1,1), para a modelagem da série, dado pelas equações $X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t$ e $h_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1}$. Para estudos de previsão, as expressões a serem utilizadas são as equações

$$\hat{h}_t(l) = \alpha_0 + \alpha_1 X_t^2 + \beta_1 \hat{h}_t \quad \text{e} \quad \hat{h}_t(l) = \alpha_0 + \alpha_1 X_t^2 (l-1) + \beta_1 \hat{h}_t (l-1) \quad l \geq 1.$$

X_t - Valores observados da série no período.

h_t - É a variância dos valores observados da série de dados no período, calculado para cada valor pela fórmula 2.

ε_t - Erro do modelo padronizado no período.

$\alpha_0, \alpha_1, \beta_1$ - Parâmetros do modelo. A relação e restrições que esses parâmetros devem se encaixar são: $\alpha_0 > 0$; $\alpha_1 \geq 0$; $\beta_1 \geq 0$; $\alpha_1 + \beta_1 < 1$

\hat{h}_t - É a variância dos valores previstos da série.

l - É o número de dias que se deseja prever, sendo que para o primeiro dia de previsão utiliza-se a fórmula 3.

A partir da aplicação das fórmulas 5 e 6 , conseguiu-se fazer o ajuste do modelo GARCH para os dados da série em estudo. Ressaltamos que os parâmetros do modelo descritos anteriormente foram estimados a partir da maximização da verossimilhança através de uma ferramenta presente no Microsoft Excel denominada Solver e são $\alpha_0 = 0,0005543$, $\alpha_1 = 0,1575197$ e $\beta_1 = 0,0007961$.

Vale ainda lembrar, que, nessa pesquisa, trabalhamos com o log-retorno dos valores da série em vez dos próprios preços das ações. O log-retorno dos valores é obtido através do logaritmo neperiano (ln) da divisão do preço da ação do dia atual pelo valor da ação do dia anterior.

Para verificar se o ajuste era bom o suficiente para que o modelo pudesse ser usado para a previsão dos dados subsequentes, realizou-se uma análise gráfica envolvendo quatro tipos de gráficos: histograma, gráfico de dispersão, autocorrelação e autocorrelação parcial do erro do modelo padronizado.

No modelo GARCH, o erro (ε_t) do modelo padronizado é considerado o resíduo do ajuste realizado. Os gráficos 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados.

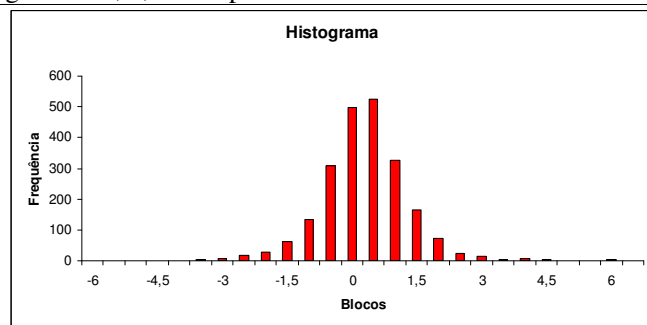


Gráfico 3: Histograma do resíduo.

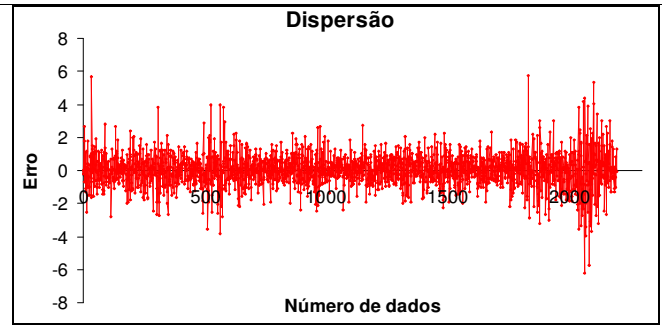


Gráfico 4: Dispersão dos resíduos do modelo.

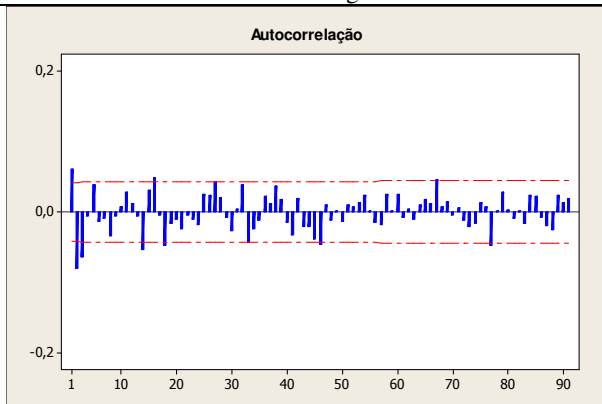


Gráfico 5: Autocorrelação dos resíduos.

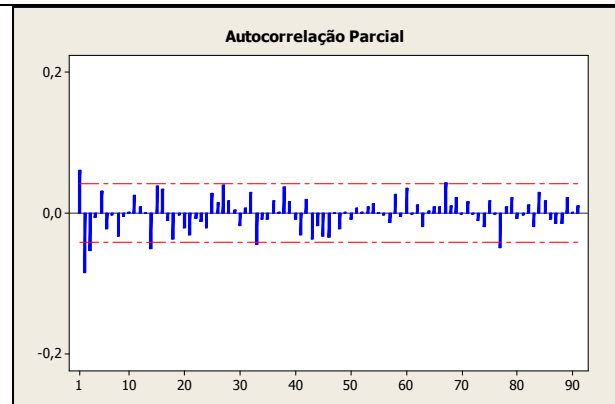


Gráfico 6: Autocorrelação parcial dos resíduos do modelo.

Para identificarmos se o modelo está bem ajustado através da análise de um histograma, devemos observar se os valores dos resíduos têm aproximadamente distribuição normal com média zero. Para a série em estudo, observa-se que, no gráfico 3, os dados seguem uma distribuição aproximadamente normal com média em torno de zero; a média dos valores encontrada foi de 0,032635 e o desvio padrão de 0,999874.

No gráfico de dispersão, os valores dos resíduos do modelo devem girar em torno do zero e não pode haver formação de nenhum tipo de figura como espirais, cones, ondulações, etc. Como se observa no gráfico 4, os dados seguem esses requisitos.

O gráfico de autocorrelação, para mostrar que o modelo está bem ajustado, deve ter todos os seus valores dentro do intervalo de confiança, delimitado pela faixa pontilhada. No modelo apresentado, observamos, no gráfico 5, que poucos pontos ultrapassaram o limite, mostrando que, apesar de não ser exemplar, consegue ajustar bem os dados da série financeira em questão.

O gráfico de autocorrelação parcial segue as mesmas restrições que o gráfico de autocorrelação. Para os valores do modelo, observa-se, no gráfico 6, que, assim como o anterior, o ajuste pode ser considerado satisfatório.

A partir da análise cruzada de todos os gráficos, pode-se concluir que o ajuste que o modelo gerou é considerado bom, sendo, assim, possível o uso dele para a previsão dos próximos valores da série.

Com a comprovação de que o modelo ajusta bem os dados da série, partimos para fazer a previsão dos próximos valores da série temporal, através da aplicação das fórmulas (7) e (8). Foram previstos os 20 próximos dados, tendo como saída o log-retorno dos valores futuros. A partir dos log-retornos previstos, consegue-se obter os preços diários dessas ações.

A partir dos valores diários das ações obtidos apresentamos a seguir um gráfico do final do período em estudo mais o mês seguinte, correspondente aos vinte dias de previsão.

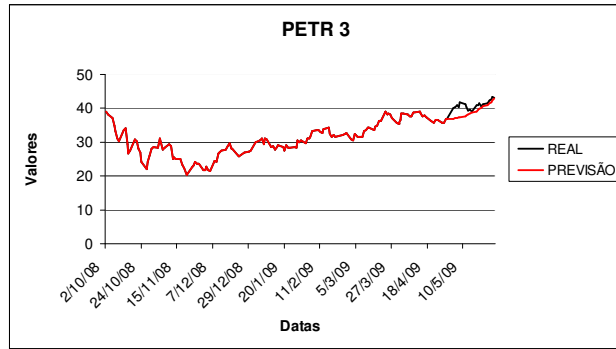


Gráfico 7: Valores reais e previstos para final do período em estudo

2) MODELO EWMA

O EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) é um modelo mais rústico quando comparado com o GARCH. Ele trabalha com volatilidade e é capaz de indicar com rapidez as mudanças extremas que ocorrem nos valores das séries financeiras. (VALLS PEREIRA, 2008). Nessa pesquisa o método EWMA foi usado somente para a modelagem e ajuste dos dados da série temporal financeira em estudo; sendo seus resultados também tratados graficamente, para verificação de ajustamento adequado aos valores propostos da série.

Na presente pesquisa foi utilizado o EWMA da biblioteca de alisamento exponencial do Microsoft Excel, em que os únicos dados que devem ser as entradas são os valores observados, que no caso trabalhamos com o log-retorno quadrático dos preços das ações, pois assim os valores trabalhados e os que o EWMA retorna ajustados serão somente positivos; e um parâmetro obtido através da minimização do erro quadrático médio, parâmetro esse que retorna os melhores resultados da modelagem. O valor obtido e adotado é de 0,84. O gráfico 8 apresenta o resultado do ajuste dos dados e dos dados reais.

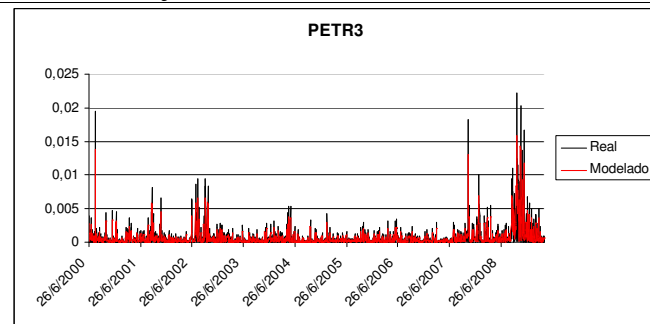


Gráfico 8: Dados ajustados e reais pelo modelo EWMA usando log-retornos ao quadrado como valores observados

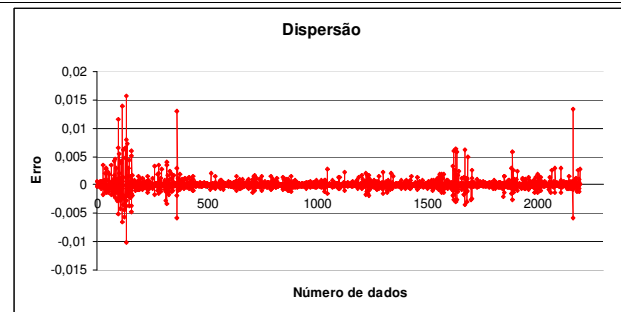


Gráfico 9: Dispersão dos resíduos do modelo

No modelo EWMA os valores utilizados para o estudo gráfico são os próprios resíduos (diferenças entre o valor observado e o ajustado) dos dados da série. O gráfico 9 apresenta um diagrama de dispersão dos resíduos. Nesse tipo de gráfico, os valores dos resíduos devem estar em torno de zero e, assim como no método anterior, não pode existir formação de figuras. Como se observa no gráfico 9, os dados seguem esses requisitos, apesar de apresentarem alguns pontos discrepantes, mostrando que o ajuste em estudo é considerado teoricamente bom. O gráfico 10 apresenta o gráfico de autocorrelação dos resíduos.

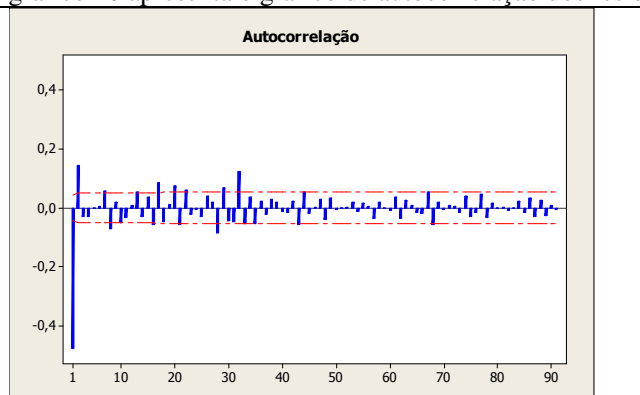


Gráfico 10: Autocorrelação dos valores dos resíduos

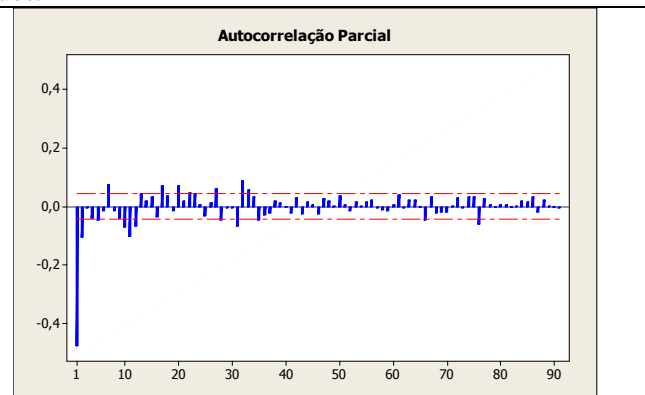


Gráfico 11: Autocorrelação parcial dos resíduos

O gráfico de autocorrelação, para garantir que o modelo está adequadamente ajustado, deve possuir todos os seus valores dentro do intervalo de confiança delimitado pela faixa pontilhada. No gráfico 10, observamos que alguns pontos ultrapassaram os limites estabelecidos, demonstrando que o modelo, apesar de não ser tão bom como o anterior, ajusta razoavelmente os dados da série temporal em questão.

O gráfico de autocorrelação parcial segue as mesmas restrições que o gráfico de autocorrelação. Para os valores do modelo, observa-se no gráfico 11 que, assim como o gráfico anterior, o ajuste é considerado aceitável, apesar de apresentar vários valores de dados fora dos limites estabelecidos.

A partir da análise cruzada de todos os gráficos, pode-se concluir que o ajuste que o modelo EWMA gerou é considerado bom, mas é tomado como inferior quando comparado com modelagem do modelo GARCH.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais objetivos desta pesquisa foi a análise de modelos de séries temporais que ajustasse adequadamente a série de dados em estudo. Para tanto dois modelos foram apresentados para a série temporal estudada, apresentando o modelo GARCH um ajuste superior quando comparado ao resultante do modelo EWMA.

Algumas justificativas, que devem ser consideradas, para esses resultados encontrados nas modelagens são de que o modelo GARCH, como já exposto anteriormente, consegue captar melhor na sua modelagem os parâmetros de uma série temporal, como a volatilidade. O resultado de melhor modelagem do modelo GARCH já era, em teoria, esperado, pois, os modelos não-lineares, aos quais esse método faz parte, pelo histórico que apresentam, resultam em bons ajustes para séries financeiras e econômicas; e a série em estudo é de ações da Petrobrás.

Identificando as repostas para outro objetivo desta pesquisa, que era pesquisar fatores relevantes no comportamento da série temporal, pudemos destacar alguns grandes fatos que ocorreram que podem ter ocasionado a subida ou queda dos preços das ações da Petrobrás.

Dois fatores relevantes que ocorreram no final do período em estudo da série, em 2008, que podemos destacar foram a crise econômica mundial, que ocasionou uma queda no valor das ações, não somente da empresa em estudo como em praticamente todas as outras; crise essa que gerou grandes perdas para a maioria das companhias em todo o mundo, levando algumas a falência e fechamento. Isso ressalta que, os estudos de previsão devem ser feitos com cautela, já que os dados analisados servem para fazer previsão (a curto prazo) desde que o modelo esteja bem ajustado e que os dados históricos reflitam os dados futuros. Se houver alguma mudança drástica de comportamento em alguma das covariáveis, as previsões realizadas podem não ser realistas.

Outro ponto a se destacar, foi a descoberta e anúncio mundial da existência de pré-sal na Bacia de Campos; camada essa que seria explorada pela Petrobrás. Outras descobertas de óleo e gás podem ter influenciado no comportamento dos preços das ações em estudo.

Um terceiro objetivo desta pesquisa era realizar um estudo de previsão a partir dos modelos estudados. Pelas respostas encontradas nas modelagens e ajustes de cada modelo, optou-se por fazer as previsões dos dados subsequentes da série apenas utilizando o modelo que gerou melhores resultados, que foi o GARCH. As previsões encontradas podem não estarem tão próximas dos valores reais que as ações foram cotadas no período, mas o modelo apresentou um bom ajuste; o que mostra que, talvez, estudos complementares possam ser realizados para uma melhor aproximação dos valores verdadeiros, como a pesquisa por algum fator autoregressivo.

A partir das análises e comparações apresentadas, podemos verificar que todos os objetivos da pesquisa foram alcançados, os modelos foram ajustados aos dados, os acontecimentos relevantes no período em estudo foram pesquisados e apresentados e, a partir da seleção do melhor modelo, uma previsão dos valores futuros dos dados da série foi realizada, mostrando resultados próximos dos reais.

Como estudos futuros, podemos estudar outros modelos que englobem o uso de covariáveis, de modo a incorporar fatores que influenciem fortemente o comportamento dos dados. Também pode ser feito um estudo de outros modelos de séries temporais que se adéquem a séries financeiras, de modo a dar uma alternativa aos modelos GARCH e EWMA quando os dados possuírem outros tipos de características.

REFERÊNCIAS

1. BERENSON, M. L.; STEPHAN, D; LEVINE, D. *Estatística: teoria e aplicações usando microsoft excel em português*. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2005. 840 p.
2. BOVESPA .Disponível em: <<http://www.bovespa.com.br>>. Acesso em 16 mar. 2009.
3. KAZMIER, L. J. *Estatística aplicada à economia e administração*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 386 p.
4. MORETTIN, P. A.; TOLÓI, C. M. C. *Análise de séries temporais*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 538 p.
5. STEVENSON, W. J. *Estatística aplicada à administração*. São Paulo: Harbra, 2001. 495 p.
6. VALLS PEREIRA, P. L. Estimação de Volatilidades. Disponível em <<http://www.risktech.com.br/PDFs/volatilidades.pdf>>. Acesso em 19 set.2009.