

Análise comparativa e teste empírico da validade dos modelos CAPM tradicional e condicional: o caso das ações da Petrobrás

Comparative analysis and empiric test of the validity of tradicional CAPM model: the case of Petrobrás shares

Janaina da Silva Alves[†]

Resumo

O objetivo deste artigo é fazer uma análise comparativa e testar empiricamente a validade dos modelos CAPM tradicional e condicional utilizando as ações preferenciais da Petrobrás. A metodologia empregada foi a de estimar primeiramente o modelo CAPM tradicional, através do método dos mínimos quadrados ordinários e, posteriormente estimou-se o modelo condicional, chamado também de GARCH-M. Em ambos os modelos aplicou-se o teste de Black, Jensen e Scholes para verificar a validade do modelo. Os resultados obtidos mostram que o modelo CAPM tradicional teve sua validade comprovada, mas detectou-se neste a presença de heterocedasticidade condicional, através do teste ARCH-LM. Então, estimou-se o CAPM condicional, o qual também foi válido, embora o efeito GARCH tenha sido não significativo na equação da média. Contudo, através do teste ARCH-LM constatou-se que os efeitos ARCH do CAPM condicional foram reduzidos significativamente em relação ao CAPM tradicional, ou seja, estes efeitos foram controlados pela inclusão da variância condicional. Por fim, na tentativa de selecionar o melhor modelo utilizou-se alguns critérios de ajuste, tais como o do R² ajustado, Akaike e Schwarz. Portanto, adotando o critério de informação de Akaike, optou-se pelo modelo CAPM condicional, adicionando-se a este a vantagem de não apresentar heterocedasticidade condicional.

Palavras-chave: CAPM. GARCH-M. Petrobrás

Abstract

The objective of this article is to do a comparative analysis of traditional and conditional CAPM models and to test their validity using Petrobras preferential shares. The used methodology was the one of esteeming the model firstly traditional CAPM, through the method of the ordinary Minima square and, afterwards considered the conditional model, also called GARCH-M. In both models the test of Black, Jensen and Scholes was applied to verify the validity of the model. The obtained results show that the traditional CAPM model had its validity proven, but it was detected in this the presence of conditional heterocedasticity, through the test ARCH-LM. Then, conditional CAPM model was considered, which was also valid, although the effect GARCH has been no significant in the equation of the average. However, through the test ARCH-LM was verified that the effects ARCH of conditional CAPM were reduced significantly in relation to traditional CAPM, in other words, these effects were controlled by the inclusion of the conditional variance. Finally, in the attempt of selecting the best model some adjustment criteria, like the one of adjusted R², Akaike and Schwarz, were used. Therefore, adopting the Akaike criterion of information, the model conditional CAPM was chosen, being added to this the advantage of not presenting conditional heterocedasticity.

Keywords: CAPM. GARCH-M. Petrobrás.

Introdução

O modelo de precificação de ativos (CAPM) é um dos mais importantes modelos utilizados em finanças. Trata-se de um modelo de equilíbrio em que os investidores compõem suas carteiras com base no *trade-off* entre o risco de um ativo e seu retorno esperado.

[†] Universidade Federal de Pernambuco- janaina_sa@yahoo.com.br

O CAPM foi originalmente desenvolvido por Sharpe (1964), e desde então, vem sendo amplamente utilizado e com importantes aplicações. Desde então surgiram inovações ao modelo tradicional de Sharpe, tal como o modelo de precificação por arbitragem (APT), desenvolvido por Stephen Ross, nos anos 1970 (BODIE, 2000), e os diversos modelos condicionais, os quais incluem outras variáveis explicativas relevantes no CAPM básico. De acordo com Araújo *et al.* (2004), o CAPM é um dos modelos mais utilizados na avaliação de ativos financeiros devido à sua simplicidade e parcimônia. No que diz respeito ao CAPM, é bastante comum aplicar testes empíricos para verificar a sua validade. Alguns dos mais importantes testes empíricos para tais modelos são mostrados por Elton e Gruber (2003) e neste artigo será utilizado um dos testes apresentados por estes, que é o teste de Black, Jensen e Scholes.

Alguns trabalhos na literatura de finanças abordam os modelos CAPM tradicional e condicional e testam a sua validade. No âmbito internacional, pode-se citar o trabalho de Ang e Chen (2005), em que enfatizam a diferença entre o CAPM condicional e o não condicional estimado pelo método dos mínimos quadrados (MQO), para o caso das ações listadas na NYSE (*New York Stock Exchange*), AMEX (*American Stock Exchange*) e NASDAQ (*National Association of Securities Dealers Automated Quotation System*).

Tem-se também o trabalho de Araújo *et al.* (2004), em que os autores fazem uma análise comparativa entre os modelos CAPM básico e o condicional, para avaliar o risco de mercado das empresas do agronegócio do Brasil. Já Tambosi Filho (2003) faz um teste empírico do CAPM condicional de Jagannathan e Wang (modelo CAPM condicional que incorpora variáveis macroeconômicas e financeiras) para os portfólios dos mercados brasileiro, argentino e chileno.

Neste trabalho, serão estudadas as ações preferenciais da Petrobrás (Petróleo Brasileiro S/A), pois, segundo os dados da BOVESPA (2006), estas ações possuem a maior representatividade na composição do Índice Bovespa. Este índice é composto de 55 ações de diversas empresas, sendo que 10,846% correspondem à Petrobrás PN, ou seja, ações preferenciais, nas quais os acionistas têm direito a voto. O quadro abaixo mostra a participação das cinco principais ações da IBOVESPA.

Tabela 1 - Participação percentual das principais ações no Índice Bovespa

AÇÃO	PARTICIPAÇÃO (%)
Petrobrás PN	10,846
Vale do Rio Doce PNA	8,405
Telemar PN	6,784
Usiminas PNA	5,388
Bradesco PN	4,124
Demais	64,453
TOTAL	100

Fonte: Dados da 1ª prévia – Mai./Ago. de 2006 da composição do índice BOVESPA.

Estes dados mostram a importância relativa das ações preferenciais da Petrobrás no índice da principal bolsa de valores do país. Além disso, a Petrobrás é uma das mais importantes empresas do Brasil, sendo fortemente baseada em ativos reais, de alta liquidez, perfeitamente quantificados e certificados, ou seja, uma empresa confiável aos investidores.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é fazer uma análise comparativa e testar empiricamente a validade dos modelos CAPM tradicional e condicional utilizando as ações preferenciais da Petrobrás, no período de 01 de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2003.

O trabalho está dividido em quatro partes: além desta introdução, tem-se uma seção sobre a metodologia da pesquisa na qual se encontram três subseções que descrevem o modelo de precificação de ativos (CAPM), os procedimentos econométricos e o tratamento dos dados utilizados, respectivamente. A terceira seção traz a apresentação e análise dos resultados encontrados e, na quarta seção, têm-se as considerações finais.

1 Metodologia

2.1 Considerações acerca do modelo de precificação de ativos (CAPM)

De acordo com Bodie *et al.* (2000), o modelo de precificação de ativos, doravante *CAPM*, prediz o relacionamento entre o risco e o equilíbrio dos retornos esperados nos ativos de risco. Como se trata de um modelo de equilíbrio, este traz algumas hipóteses simplificadoras, que são as seguintes, segundo os autores supracitados:

- Existe um grande número de investidores individuais, de modo que não afetam os preços das ações;
- Todos os investidores planejam um mesmo período de manutenção do investimento;
- Os investidores formam carteiras, através de diversos ativos financeiros publicamente negociáveis, e podem tomar e dar empréstimos livres de risco ilimitadamente;
- Os investidores não pagam impostos sobre os retornos e não há custos de transação sobre as negociações dos títulos;
- Os investidores são otimizadores, ou seja, tentam construir carteiras com fronteiras eficientes;
- Os investidores possuem expectativa homogênea.

Segundo Nakamura e Camargo Jr. (2006), essas suposições implicam que o mercado no modelo CAPM é a única fonte de risco, ou seja, é um modelo de equilíbrio baseado em um único fator.

O modelo CAPM desenvolvido por Sharpe e também por Lintner e Mossin mostra que existe uma relação linear entre o risco e o retorno de uma ação (Silva, 2006). Em Sharpe (1964), tem-se que os investidores buscarão formar uma carteira que tenha a melhor combinação possível entre risco sistêmico e retorno, ou seja:

(1)

$$E(r_i) = r_f + \beta [E(r_m) - r_f]$$

Esta equação é chamada de Linha de Mercado de Títulos (LMT), onde $E(r_i)$ é o retorno esperado do ativo i ; r_f é o retorno do ativo livre de risco; $E(r_m)$ é o retorno esperado do mercado e β é a medida de risco sistemático do ativo i , ou seja, mede a sensibilidade do retorno do ativo i às flutuações no mercado de títulos em geral. O β (*beta*) é calculado da seguinte forma, conforme Verbeek (2004):

(2)

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{V(R_m)}$$

Em que: $Cov(R_i, R_m)$ é a covariância entre os retornos do ativo i com o portfólio de mercado e $V(R_m)$ é a variância do portfólio de mercado.

É importante observar que o risco total de uma carteira é composto do risco sistemático e não-sistemático. De acordo com Limão *et al.* (2001), o primeiro está relacionado ao desempenho da economia do país e das expectativas dos agentes econômicos e o investidor individual não pode controlá-lo, pois é não-diversificável. Já o risco não-sistemático relaciona-se ao desempenho do investimento e é também chamado de risco diversificável. Portanto, segundo Bodie *et al.* (2000), apenas o risco sistemático, medido pelo beta do ativo, importa para os investidores que podem diversificar.

Bodie *et al.* argumentam que o CAPM traz algumas limitações, tais como a de que este modelo depende da carteira teórica do mercado e trabalha com os retornos esperados ao invés de retornos reais. Por isso, na prática, utiliza-se um modelo de índice que usa os retornos realizados e não os esperados para que se implemente o CAPM:

O modelo CAPM tradicional é dado então por uma equação de regressão de índice único nos retornos em excesso realizados:

(3)

$$R_{it} - R_{ft} = \alpha_i + \beta_i (R_{mt} - R_{ft}) + \epsilon_{it}$$

Onde:

R_{it} é o retorno realizado do ativo i ;

R_{ft} é o retorno do ativo livre de risco;

R_{mt} é o retorno realizado do índice de mercado;

α_i e β_i são o intercepto e a inclinação da reta que relacionam o retorno em excesso realizado do ativo i com o retorno em excesso realizado do índice de mercado;

ϵ_{it} mede os efeitos específicos da empresa, ou seja, é o termo de perturbação aleatória ou erro aleatório, que se distribui normalmente com média zero e variância σ^2 (homoscedástica), ou seja, $\epsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2)$.

No presente trabalho, será estimado o modelo CAPM tradicional que relaciona os retornos em excesso das ações preferenciais da Petrobrás e do Índice Bovespa. Para testar a validade deste modelo, utilizar-se-á o teste de Black, Jensen

e Scholes, que, de acordo com Elton e Gruber (2003), quando se estima a equação (3), seu intercepto (α_i) deve ser igual a zero, se o CAPM simples descreve os retornos.

1.2 Procedimentos econométricos

Para estimação do CAPM tradicional, dado pela equação 3, utilizou-se o modelo econométrico de regressão linear simples, através do método dos mínimos quadrados (MQO). Segundo Verbeek (2004), o estimador de MQO fornece uma estimativa consistente para β_i . O modelo CAPM tradicional foi então estimado por MQO com a correção de Newey-West, a fim de produzir erros padrão consistentes com heterocedasticidade e autocorrelação, ou seja, robustos. Conforme Gujarati (2006), o procedimento de Newey-West é, em termos mais rigorosos, válido apenas para grandes amostras, portanto se adequa à amostra utilizada neste trabalho.

Em seguida, foram feitos testes para detectar heterocedasticidade e autocorrelação, pois a presença desses problemas invalida o uso dos testes t e F para fins de inferência e os estimadores de MQO deixam de ser eficientes. Dessa forma, realizaram-se os testes de White para detectar heterocedasticidade irrestrita no modelo, o teste ARCH-LM, para detectar heterocedasticidade condicional e o teste de Durbin-Watson para autocorrelação serial. No caso de se detectar heterocedasticidade condicional, através do teste ARCH-LM, o procedimento consiste, portanto, em modelar o CAPM condicional via GARCH-M (Modelo de heterocedasticidade condicional auto-regressiva generalizada na média), que será descrito a seguir.

1.2.1 Considerações sobre os Modelos ARCH e GARCH

O problema da heterocedasticidade ocorre quando a variância do termo de erro de uma regressão não é igual e a consequência desse problema é a de que os estimadores de MQO não são eficientes, ou seja, não possuem variância mínima. Comumente, a heterocedasticidade aparece na forma em que a variância do erro varia diretamente na mesma proporção da variável explicativa, como, por exemplo, a heterocedasticidade multiplicativa, dada por: $E(\epsilon_i^2) = \sigma^2 X_i$. Para corrigir este problema, é necessário utilizar o método dos mínimos quadrados generalizados (MQG), que consiste simplesmente em aplicar MQO ao modelo transformado. Para transformar o modelo com esse tipo de heterocedasticidade, é necessário dividir o modelo original pela raiz quadrada da variável explicativa (X_i).

Porém, conforme Pindyck e Rubinfeld (2004), em algumas situações, a variância do erro não é função da variável explicativa, mas varia ao longo do tempo, dependendo dos erros no passado. Dessa forma, “há um tipo particular de heterocedasticidade presente, em que a variância do erro da regressão depende da volatilidade dos erros no passado recente” (PINDYCK E RUBINFELD, p.328, 2004). Em séries financeiras, em que a maioria delas são diárias, esse problema torna-se bastante comum. Assim, para medir a volatilidade em séries financeiras, lança-se mão dos modelos ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedastic) e GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedastic).

Seja então um modelo linear da seguinte forma:

$$Y_t = \alpha + \beta X + \epsilon_t$$

Onde:

Y_t é a variável dependente; α e β são o intercepto e o coeficiente angular da regressão, respectivamente; X é matriz das variáveis independentes e ϵ_t é o termo de erro da regressão.

Na presença de heterocedasticidade, Engle (1982) propôs modelar a variância do erro por meio de seus componentes auto-regressivos, que é o modelo ARCH, dado por:

$$(4) \quad E\langle \epsilon_t^2 \mid \epsilon_{t-1}, \epsilon_{t-2}, \dots \rangle = \theta_0 + \theta_1 \epsilon_{t-1}^2$$

De acordo com Enders (2004), a equação (4) significa que a variância de ϵ_t é condicional aos erros passados, ou seja, depende do valor realizado de ϵ_{t-1}^2 . Dessa forma, essa equação é denotada por ARCH (1), no entanto a variância pode depender de qualquer número de volatilidades defasadas (p), resultando em um modelo ARCH (p), dado por:

(5)

$$E\langle \epsilon_t^2 \mid \epsilon_{t-1}, \epsilon_{t-2}, \dots \rangle = \theta_0 + \theta_1 \epsilon_{t-1}^2 + \theta_2 \epsilon_{t-2}^2 + \dots + \theta_p \epsilon_{t-p}^2$$

Doravante, o lado direito da equação 5 pode ser chamado de σ_t^2 , que significa heterocedasticidade condicional. Quando se leva em consideração a heterocedasticidade condicional, o resultado é a obtenção de estimativas mais eficientes dos coeficientes estimados da regressão. É importante salientar que a estimação deste tipo de modelo é feita através do método de máxima verossimilhança (MV).

Em seguida, Bollerslev (1986) estendeu o trabalho de Engle (1984) desenvolvendo uma técnica que permite que a variância condicional seja explicada pelas defasagens dos erros quadráticos de ordem (p) e também pela sua própria defasagem de ordem (q), resultando no conhecido modelo GARCH, que nada mais é do que o ARCH generalizado, descrito pela equação 6, a seguir:

$$(6) \quad \sigma_t^2 = \theta_0 + \sum_{i=1}^p \theta_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^q \lambda_i \sigma_{t-i}^2$$

Geralmente, utiliza-se o modelo GARCH (1,1), devido à simplicidade e parcimônia, dado por:

$$(7) \quad \sigma_t^2 = \theta_0 + \theta_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \lambda_1 \sigma_{t-1}^2 + \nu_t$$

Onde: σ_t^2 é a variância condicional no tempo t; σ_{t-1}^2 é a variância condicional no tempo t-1; λ_1 é o parâmetro da variância condicional defasada em t-1; ε_{t-1}^2 é o componente ARCH (1); θ_1 é o parâmetro do componente ARCH (1); e ν_t é um processo ruído branco.

Segundo Enders (2004), existe uma classificação de modelos chamada de ARCH na média (ARCH-M), que é bastante usada no estudo de mercado de ações. Este modelo foi proposto por Engle, Lilien e Robins (1987), sendo então uma extensão do modelo básico ARCH em que permite que o modelo original dependa também de sua própria variância condicional.

O modelo GARCH-M, por sua vez, é o ARCH-M generalizado e será utilizado neste trabalho dada a sua maior robustez e maior aplicabilidade aos problemas de finanças. Um exemplo de utilização do modelo GARCH-M em detrimento do ARCH-M é o trabalho de Araújo *et al.* (2004).

Dessa forma, a incorporação da volatilidade condicional no modelo CAPM tradicional, através da estimação do modelo GARCH-M, é chamada de CAPM condicional. Portanto, estima-se primeiramente o CAPM tradicional, dado pela equação 3, através de MQO, faz-se os testes necessários para detectar os problemas de heterocedasticidade, autocorrelação, bem como a validade do modelo e, em seguida, estima-se o processo GARCH (1,1), dado pela equação 7, através do método MV, produzindo, assim, a estimativa da volatilidade condicional, dada por σ_t^2 . Por fim, esta volatilidade condicional é incorporada ao modelo da equação 3 como variável explicativa. Tem-se, então, o CAPM condicional, ou GARCH-M, como mostra a equação (8) abaixo.

$$(8) \quad R_i - R_f = \alpha_i^C + \beta_i (R_m - R_f) + \phi_i \sigma_i + e_i$$

Onde:

σ_i é a volatilidade condicional em termos de desvio-padrão (que pode ser medida também em termos de variância);

ϕ_i é o coeficiente de volatilidade condicional;

e_i é o novo termo de erro do modelo CAPM condicional.

Ao estimar a equação 8, realiza-se o teste de sua validade, tal qual se faz no modelo da equação 3. Segundo Ang e Chen (2005), o CAPM condicional é válido se o alfa condicional é zero ($\alpha^C = 0$). E caso se rejeite a hipótese nula de que α^C é igual a zero, a conclusão é de que o modelo não pode explicar os excessos de retorno das ações i.

2.2.2 Critérios para seleção de modelos

Para finalizar, a descrição dos procedimentos econométricos adotados, após estimação e teste dos modelos CAPM tradicional e condicional, torna-se interessante mostrar qual dos modelos possui um melhor ajuste aos dados. Uma das maneiras para a escolha de modelo é utilizar o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), cujo critério de escolha é o seguinte: quanto maior o seu valor, melhor ajuste tem o modelo. Greene (2000) apresenta uma expressão simples para o R^2 ajustado:

$$(9) \quad \overline{R^2} = 1 - \frac{n-1}{n-K} (1 - R^2)$$

Onde: n é o número de observações; K é o número de parâmetros e R^2 é o coeficiente de determinação.

Conforme Greene (2000), duas medidas alternativas de ajuste sugeridas são os critérios de informação de Akaike e o critério de Schwarz e estes são geralmente reportados nos softwares econométricos, segundo as equações 10 e 11:

$$(10) \quad AIC = \log \left(\frac{e'e}{n} \right) + \frac{2K}{n}$$

(11)

$$SC = \log \left(\frac{e'e}{n} \right) + \frac{K \log n}{n}$$

Onde: $e'e$ é a soma dos quadrados dos resíduos, na forma matricial; n é o número de observações e K é o número de parâmetros.

Greene (2000) diz que ambos os critérios têm suas virtudes e nenhum deles possui uma vantagem óbvia sobre o outro. A escolha do modelo, segundo esses critérios, será, portanto, o que tiver um baixo valor de AIC ou SC (VERBEEK, 2004).

1.3 Tratamento dos dados

As variáveis utilizadas para o modelo CAPM são os retornos em excesso das ações preferenciais da Petrobrás; os retornos em excesso do portfólio de mercado, que tem como *proxy* o índice Bovespa; e a taxa livre de risco, dada pelo Certificado de depósito bancário (CDI) 252 dias. A primeira variável foi construída através dos preços nominais de fechamento das ações Petrobrás PN cotadas na Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa). E as duas últimas também foram calculadas a partir de seus preços de fechamento nominais. As cotações destes preços nominais de fechamento das referidas ações foram obtidas através do banco de dados da Economática (Software de apoio a investidores). O período escolhido foi de 01 de janeiro 2002 a 31 de dezembro 2003, totalizando 498 observações, pois foram retirados os dias feriados e os finais de semana. O gráfico a seguir mostra a evolução do preço de fechamento das ações preferenciais da Petrobrás no período citado, em que se percebe que houve um aumento destes a partir de 2003.

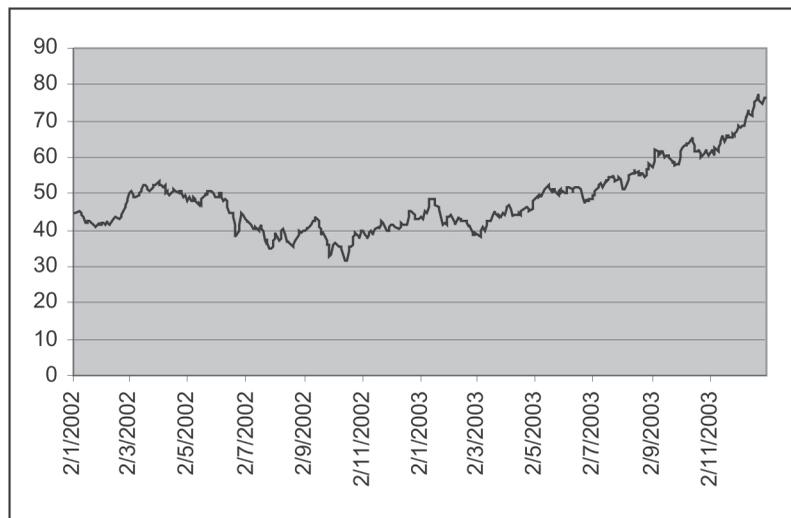


Gráfico 1 - Evolução dos preços nominais de fechamento das ações preferenciais da Petrobrás

Fonte: Banco de dados Economática.

Para o cálculo dos excessos em retorno dos portfólios, é necessário, primeiramente, calcular os retornos dos ativos. Segundo Elton e Gruber (2003), o retorno do ativo i é calculado segundo a expressão 12.

(12)

$$Ri = \frac{P_f - P_i}{P_i}$$

Onde:

P_f é o valor nominal final do preço do ativo i ;

P_i é o valor nominal inicial do preço do ativo i .

Esse procedimento foi feito para o cálculo dos retornos nominais das ações da Petrobrás PN e da Ibovespa. No caso do ativo livre de risco, o CDI, o cálculo é mais simplificado, ou seja, seu retorno é dado apenas pela diferença entre o valor nominal do preço final e inicial.

É necessário salientar que, de acordo com Pereira (2003), no Brasil, geralmente, usa-se a taxa dada pelos Certificados de Depósito Interbancário (CDI), poupança e taxa de juros Selic como taxas livres de risco, pois estas são corretamente

utilizadas pelo mercado como base de comparação para qualquer tipo de operação. Neste trabalho, optou-se por se utilizar a taxa CDI 252 dias. Já o índice Bovespa, segundo Silva (2006), é constituído pelas ações negociadas no mercado à vista, representando cerca de 80% da soma dos índices de negociação nos últimos 12 meses, e é comumente utilizado no Brasil como carteira de mercado.

Computados os retornos dos ativos, podem-se calcular os retornos em excesso da seguinte forma:

- Retorno em excesso das ações preferenciais da Petrobrás:

$$RE_{it} = R_{it} - R_{ft}$$

(13)

- Retorno em excesso do portfólio de mercado, IBOVESPA:

$$RE_{mt} = R_{mt} - R_{ft}$$

(14)

Dessa forma, têm-se, então, as variáveis necessárias para estimação do modelo CAPM, cujos resultados encontram-se na seção a seguir.

2 Apresentação e análise dos resultados

A estimação dos modelos CAPM tradicional e condicional foi obtida através do pacote econométrico *Eviews* versão 5.0, o qual possui as rotinas necessárias para efetuar os procedimentos requeridos neste trabalho. Conforme o modelo proposto pela equação 3, estimou-se o CAPM tradicional, cujo resultado é mostrado na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Estimação do modelo CAPM tradicional

Variável dependente: Retorno em Excesso da Petrobrás PN			
Variável	Coefficiente estimado	Teste <i>t</i>	Valor P
<i>C</i>	0,000204	0,320009	0,7491 ^{NS}
<i>RE_{mt}</i>	0,998044	371,3849	0,0000*

$R^2 = 0,997871$ R^2 Ajustado = 0,997867
 $F = 232.520,2$ D-W = 1,926191
 Critério AIC = -5,531765 Critério SC = -5,514855
 Erro padrão da regressão (*s*) = 0,015194438

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: * estatisticamente diferente de zero para o nível de significância de 0,01;

^{NS} estatisticamente não significativo.

O resultado da tabela 2 mostra que o CAPM tradicional para o caso da Petrobrás é válido, pois o intercepto da regressão é estatisticamente insignificante. Quanto ao coeficiente de inclinação do modelo estimado, este é estatisticamente significativo a 1% e seu sinal e magnitude estão de acordo com a teoria de precificação de ativos. Como o beta estimado foi de 0,998, que é próximo à unidade, então as ações da Petrobrás apresentam um alto retorno esperado. E, como um todo, o modelo apresenta-se estatisticamente significativo, de acordo com o teste F.

Em relação ao ajuste do modelo, este possui um bom ajuste, dado que seu R^2 é de aproximadamente 0,997. A interpretação econômica do R^2 no modelo CAPM, de acordo com Verbeek (2004), é a de que este é uma estimativa da importância relativa do risco de mercado, determinado pelo β , para a carteira de ações da empresa, no caso, a Petrobrás. Dessa forma, estima-se que 99,7% do risco das ações da Petrobrás é devido ao mercado como um todo, enquanto apenas 0,3% refere-se ao risco específico da empresa. Assim, as ações da Petrobrás se mostraram bem diversificadas.

Através do teste de Durbin e Watson, não se detectou autocorrelação dos resíduos, porém o gráfico 2 mostra os resíduos da regressão deste primeiro modelo e sugere que esse modelo apresenta heterocedasticidade condicional.

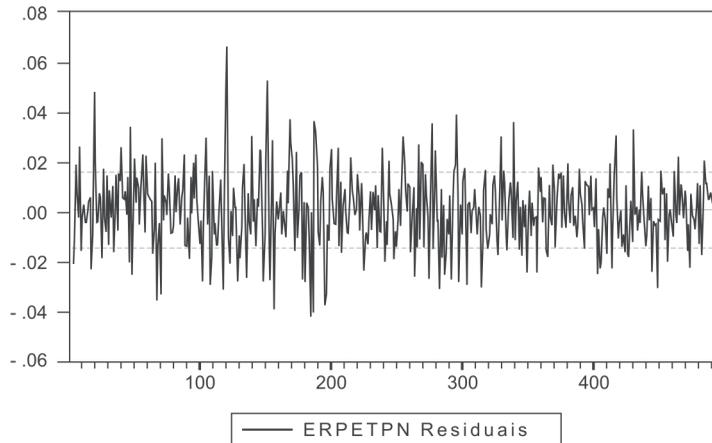


Gráfico 2 - Resíduos dos resíduos da regressão do modelo CAPM tradicional

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com este gráfico, nota-se que há uma aglomeração da volatilidade, de forma que em alguns períodos a volatilidade é alta e em outros é mais baixa (no final do período), sugerindo então que o termo de erro possui heterocedasticidade condicional. Mas a tabela 3 apresenta dois testes para verificação de heterocedasticidade. O primeiro é o teste de White, cujo procedimento consiste em estimar uma regressão auxiliar dos erros quadráticos em relação às variáveis explicativas, seus quadrados e produtos cruzados e em seguida, multiplica-se o R^2 dessa regressão auxiliar pelo número de observações (n) e compara-se com distribuição qui-quadrado (χ^2) com p graus de liberdade, onde p é o número de coeficientes estimados na regressão auxiliar. Portanto, segundo esse teste e considerando um nível de significância de 1%, não se rejeita a hipótese nula de homocedasticidade. Ou seja, segundo esse teste, o modelo CAPM tradicional não possui heterocedasticidade irrestrita. O teste de White, conforme Verbeek (2004), é extremamente geral e pode detectar formas mais gerais de heterocedasticidade do que outros testes e também é mais apropriado para grandes amostras.

Além do teste descrito acima, efetuou-se o teste ARCH-LM, no qual a hipótese nula (H_0) é a de ausência de heterocedasticidade condicional. Seu teste formal, segundo Enders (2004), consiste em regredir, primeiramente, os erros ao quadrado da regressão original em relação ao mesmo defasado, obter seu R^2 e então multiplicá-lo pelo número de observações e comparar com a distribuição χ^2 com p graus de liberdade, rejeitando-se H_0 se o valor de $(n \cdot R^2)$ exceder o valor crítico χ^2 . Nesse caso, conforme a tabela 3, utilizando-se uma defasagem, constata-se, que considerando um nível de significância de 1%, rejeita-se H_0 , isto é, o CAPM tradicional ora estimado possui heterocedasticidade condicional.

Tabela 3 - Testes para verificação de heterocedasticidade: White e ARCH-LM

Teste	N.R ²	Valor P
White	0,697880	0,705436*
ARCH-LM com 1 defasagem	8,369180	0,003816**

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: * não presença de heterocedasticidade para o nível de significância de 0,01;

** presença de efeitos ARCH para o nível de significância de 0,01.

Como se detectou a presença de efeitos ARCH no modelo tradicional, o passo seguinte foi estimar o CAPM condicional, cujo resultado é apresentado na tabela 4. Nesta, tem-se, primeiramente, o resultado da equação de variância, conforme a equação (7), que é a estimação do GARCH (1,1). Tem-se que o coeficiente estimado da variância condicional defasada, GARCH (1), é estatisticamente significativo ao nível de 1%, isto é, há presença do efeito GARCH. Em seguida, estimou-se a equação da média, que é o modelo CAPM condicional (ou GARCH-M), de acordo com a equação (8). Os coeficientes estimados do modelo CAPM condicional mostram que o intercepto é estatisticamente não significativo, ou seja, o modelo é

válido. O beta estimado no modelo condicional é estatisticamente significativo ao nível de 1% e também se mostrou próximo da unidade semelhantemente ao modelo tradicional, isto é, há uma relação significativa entre as ações preferenciais da Petrobrás e o índice Bovespa. No entanto o coeficiente estimado da volatilidade condicional se apresentou estatisticamente não significativo. Então, efetuou-se neste modelo condicional o teste ARCH-LM com uma defasagem, cujo resultado foi o da não rejeição da hipótese nula de ausência de heterocedasticidade condicional, pois o valor do $N.R^2$ é menor que o valor crítico χ^2 com p graus de liberdade, no caso 1, considerando um nível de significância de 1%, como é mostrado na tabela 4.

Tabela 4: Estimação do modelo CAPM condicional – GARCH-M

Equação da Variância			
Variável	Coefficiente estimado	Teste t	Valor P
C	0,00000477	1,048758	0,2943 ^{NS}
$ARCH(1)$	0,036644	1,546256	0,1220 ^{NS}
$GARCH(1)$	0,942086	25,51587	0,0000*
Equação da média			
Variável	Coefficiente estimado	Teste t	Valor P
C	0,000291	0,051167	0,9592 ^{NS}
RE_{mt}	0,996614	385,2947	0,0000*
σ_{it}	-0,004026	-0,010415	0,9917 ^{NS}

$R^2 = 0,997869$ R^2 Ajustado = 0,997848
 $F = 46.085,10$ $D-W = 1,927136$
 Critério AIC = -5,544781 Critério SC = -5,494051
 Erro padrão da regressão (s) = 0,15201668

Teste ARCH-LM	$N.R^2$	Valor P
	0,969116	0,324901*

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: * estatisticamente diferente de zero para o nível de significância de 0,01;

^{NS} estatisticamente não significativo;

♦ não presença de efeitos ARCH para o nível de significância de 0,01.

A inclusão da volatilidade condicional ao CAPM tradicional parece ter tido pouco impacto sobre as estimativas dos coeficientes. Ambos os modelos se mostraram empiricamente válidos, pois seus interceptos são estatisticamente não significativos. O beta estimado no segundo modelo sofreu uma ligeira diminuição, não havendo mudança na interpretação feita anteriormente. O erro padrão da regressão (s) no modelo tradicional teve um ligeiro aumento, refletindo que os erros padrão estimados no modelo tradicional, através de MQO, são tendenciosos.

Assim, apesar do fato de o efeito GARCH ser não significativo na equação da média (CAPM condicional), pelo teste ARCH-LM constatou-se que os efeitos ARCH do CAPM condicional foram reduzidos significativamente em relação ao CAPM tradicional, ou seja, estes efeitos foram controlados pela inclusão da variância condicional.

Na tentativa de selecionar o melhor modelo, tem-se a tabela 5, que mostra qual deles possui um melhor ajuste, segundo os critérios do R^2 ajustado, Akaike e Schwarz, cujos valores são mostrados nas tabelas 2 e 4.

Tabela 5 – CAPM Tradicional versus CAPM condicional

Critério	CAPM Tradicional	CAPM condicional
R ² Ajustado	X	
Akaike (AIC)		X
Schwarz (SC)	X	

Fonte: Elaboração própria.

Portanto, embora a magnitude dos valores desses critérios nos modelos não difiram muito, o critério do R² ajustado e de Schwarz mostram que o CAPM tradicional se ajusta melhor aos dados, enquanto que o de Akaike revela que isto se dá no modelo condicional. Mas considerando apenas um dos critérios, como os critérios AIC e SC não possuem uma grande vantagem sobre o outro e dado o fato de que no CAPM condicional o problema da volatilidade condicional foi controlado, então a escolha se dará em favor deste último modelo.

4 Considerações finais

Esse artigo procurou fazer uma análise comparativa e testar empiricamente a validade dos modelos CAPM tradicional e condicional utilizando as ações preferenciais da Petrobrás, no período de 01 de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2003. Para tanto, utilizou-se o referencial teórico sobre precificação de ativos, mais especificamente o CAPM, e lançou-se mão do instrumental econométrico para atingir os resultados requeridos. Dessa forma, estimou-se, primeiramente, o modelo CAPM tradicional, através de MQO e, posteriormente, um CAPM condicional, através de um modelo GARCH-M.

Os resultados empíricos obtidos mostraram que tanto o CAPM tradicional como o CAPM condicional tiveram sua validade comprovada, pois em ambos os modelos seus interceptos se apresentaram estatisticamente insignificantes, ou, em outras palavras, os alfas (α) foram estatisticamente iguais a zero.

Comparando os dois modelos, tem-se que ambos apresentaram estimativas bastante próximas no que se refere aos parâmetros, bem como as estatísticas de teste. Assim, tem-se que em ambos os modelos o valor do beta estimado indica que as ações preferenciais da Petrobrás são sensíveis ao índice de mercado, o Ibovespa. Também se conclui pelo alto valor do coeficiente de determinação (R²) que a maior parte do risco está associada ao mercado e não à empresa. Esses resultados indicam que as ações preferenciais da Petrobrás são bastante confiáveis e possuem um alto retorno esperado, segundo os modelos tradicional e condicional.

No entanto, o CAPM tradicional apresentou heterocedasticidade condicional, o que pôde ser controlado ao incluir neste a volatilidade condicional, originando, assim, o CAPM condicional. Segundo este fato, pode-se dizer que o CAPM condicional seria preferível, mas adotaram-se neste trabalho alguns critérios para seleção do modelo que melhor se ajusta aos dados. Os critérios adotados foram os do R² ajustado, o de Akaike e Schwarz, que também apresentaram valores próximos em ambos os modelos. Uma análise rigorosa dos valores destes critérios elegeu o CAPM tradicional em detrimento do condicional, contudo deve-se frisar que, em virtude dos valores serem bastante próximos, fica à mercê do pesquisador a escolha final. Assim, adotando o critério de informação de Akaike para este trabalho, o modelo escolhido será o do CAPM condicional, adicionando-se a este a vantagem de não apresentar heterocedasticidade condicional.

Para concluir, uma extensão do presente artigo seria fazer esta análise para outras empresas, tal como uma análise comparativa entre as ações de empresas que detêm maior participação no índice BOVESPA e utilizar outros modelos condicionais, tais como o E-GARCH-M (GARCH Exponencial na média), TARCH-M (Threshold GARCH na média) e FIGARCH-M (GARCH fracionário integrado na média).

Referências

- ANG, A.; CHEN, J. CAPM over the long run: 1926-2001. *NBER Working Paper Series*. Cambridge, MA, Dec. 2005. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w11903>>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- ARAÚJO, D. L. et al. O risco de mercado do agronegócio brasileiro: uma análise comparativa entre os modelos CAPM e GARCH-M. *Gestão Organizacional*, v. 2, n. 3, p. 207-220, set./dez. 2004. Disponível em: <<http://www.gestaorg.dca.ufpe.br>>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- BODIE, Z.; KANE, A.; MARCUS, A. J. *Fundamentos de investimento*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, v. 31, p. 307-327, 1986.
- BOVESPA. Disponível em: <<http://www.bovespa.com.br>>. Acesso em: 4 abr. 2006.
- ELTON, E. J.; GRUBER, M. J. *Modern portfolio theory and investment analysis*. 6. ed. New York: John Wiley, 2003.
- ENDERS, W. *Applied econometric time series*. New York: John Wiley, 2004.
- ENGLE, R. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of UK inflation. *Econometrica*, v. 50, p. 987-1008, 1982.
- ENGLE, R.; LILIEN, D. M.; ROBINS, R. P. Estimating time-varying risk premia in the term structure: the ARCH-M model. *Econometrica*, v. 55, 1987.
- GREENE, W. *Econometric analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- GUJARATI, D. N. *Econometria básica*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- LIMÃO, A. M. T.; CARDOSO, S. L.; SOUZA, D. L. O retorno justo segundo o CAPM. *Adcontar*, Belém, v. 2, n. 1, p. 7-10, maio 2001. Disponível em: <<http://www.nead.unama.br/bibliotecavirtual/revista/adcontar/pdf/adcontar22art3.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- NAKAMURA, W. T.; CAMARGO J. R. *Análise da validade dos modelos CAPM e APT no mercado brasileiro de ações*. Disponível em: <http://www.investsul.com.br/textos_academicos/AN%C3%81LISE%20DA%20VALIDADE%20DOS%20MODELOS%20CAPM%20E%20APT%20NO%20MERCADO.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- PEREIRA, M. V. S. *Gerenciamento de risco cambial na Fiat Automóveis S.A. com utilização do Hedge sem caixa*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- PINDYCK, R. S. ; RUBINFELD, D. L. *Econometria: modelos e previsões*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- SHARPE, W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of market risk. *Journal of Finance*, v.19, p. 425-442, 1964.
- SILVA, M. A. V. R. da. *Uma análise empírica da utilização do índice beta do modelo de precificação de ativos (Capital Asset Pricing Model - CAPM) como medida de risco no mercado acionário brasileiro*. Disponível em: <<http://www.unitau.br/nupes/artigos/beta.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- TAMBOSI FILHO, E. *Testando empiricamente o CAPM condicional dos retornos esperados de portfólios do mercado brasileiro, argentino e chileno*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- VERBEEK, M. *A guide to modern econometrics*. 2nd ed. London: Wiley, 2004.