

**Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Departamento de Ciências Administrativas
Programa de Pós-Graduação em Administração - PROPAD**

Lucas Milet do Amaral Mercês

**Testes do CAPM no Mercado de Ações do Setor de
Energia Elétrica Brasileiro: Aplicações de Black,
Jensen e Scholes (1972) e Fama e MacBeth (1973)**

Recife, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO DE ACESSO A TESES E DISSERTAÇÕES

Considerando a natureza das informações e compromissos assumidos com suas fontes, o acesso a monografias do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Pernambuco é definido em três graus:

- "Grau 1": livre (sem prejuízo das referências ordinárias em citações diretas e indiretas);
- "Grau 2": com vedação a cópias, no todo ou em parte, sendo, em consequência, restrita a consulta em ambientes de biblioteca com saída controlada;
- "Grau 3": apenas com autorização expressa do autor, por escrito, devendo, por isso, o texto, se confiado a bibliotecas que assegurem a restrição, ser mantido em local sob chave ou custódia;

A classificação desta dissertação se encontra, abaixo, definida por seu autor.

Solicita-se aos depositários e usuários sua fiel observância, a fim de que se preservem as condições éticas e operacionais da pesquisa científica na área da administração.

Título da Dissertação: Testes do CAPM no Mercado de Energia Elétrica Brasileiro: Aplicações de Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama e MacBeth (1973)

Nome do Autor: Lucas Milet do Amaral Mercês

Data da aprovação: 11 de Fevereiro de 2011

Classificação, conforme especificação acima:

Grau 1

Grau 2

Grau 3

Local e data: Recife, 16 de Abril de 2011

Assinatura do autor

Lucas Milet do Amaral Mercês

Testes do CAPM no Mercado de Energia Elétrica Brasileiro: Aplicações de Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama e MacBeth (1973)

Orientador: Charles Ulises De Montreuil Carmona, Ph D.

Dissertação apresentada como requisito complementar à obtenção do grau de Mestre em Administração, na área de concentração Gestão Organizacional, do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Pernambuco

Recife, 2011

Mercês, Lucas Milet do Amaral

Testes do CAPM no mercado de ações do setor de energia elétrica brasileiro: aplicações de Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama e MacBeth (1973) / Lucas Milet do Amaral Mercês. - Recife : O Autor, 2011.

88 folhas : fig., tab., graf. e quadros.

Orientador: Charles Ulises De Montreuil Carmona, Ph D.
Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CCSA. Administração, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Testes do CAPM. 2. Setor Elétrico. 3. Método de Black, Jensen e Scholes. 4. Método de Fama e MacBeth. I. Carmona, Charles Ulises De Montreuil (Orientador). II. Título.

658 CDD (22.ed.)

UFPE/CSA 2011 - 030

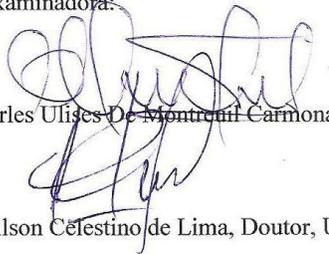
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Departamento de Ciências Administrativas
Programa de Pós-Graduação em Administração - PROPAD

**Testes do CAPM no mercado de ações do setor
de energia elétrica brasileiro: aplicações de
*Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama e Macbeth
(1973)***

Lucas Milet do Amaral Mercês

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Administração
da Universidade Federal de Pernambuco e aprovada em 11 de fevereiro de 2011.

Banca Examinadora:



Prof. Charles Ulises De Montemil Carmona, Doutor, UFPE, (Orientador)

Prof. Adilson Célestino de Lima, Doutor, UFRPE, (Examinador Externo)

Prof.ª Josete Florencio dos Santos, Doutora, UFPE, (Examinadora Interna)

Agradecimentos

Ao Deus Uno e Trino, por me conceder o dom da vida e me chamar, todos os dias, a fazer somente sua santa vontade, também na área profissional.

Aos padres da Igreja Católica que com muita dedicação me deram o grande dom de Jesus Eucarístico, força no meu dia-a-dia.

À Comunidade Católica Shalom que me proporcionou formação espiritual e humana nesse tempo.

Aos meus pais, Antonio Manoel do Amaral Mercês e Lucinda Milet do Amaral Mercês, por me ensinar o amor na nossa família e pelo incentivo constante nos meus estudos.

Às minhas três irmãs queridas que me complementam e me aconselham no decorrer da minha vida.

Ao Prof. Charles Ulises De Montreuil Carmona, por confiar na minha capacidade intelectual, efetiva e potencial, em todos os desafios do mestrado e pelos conselhos profissionais e humanos.

Aos meus amigos, mais próximos e mais distantes, que souberam me ajudar a amadurecer nas relações humanas e entenderam minha ausência nos momentos de sobrecarga nos estudos e no trabalho.

“E pelo crescimento da iniquidade, o Amor de muitos esfriará. Aquele, porém, que perseverar até o fim, esse será salvo”

(Mt 24, 12-13, Bíblia Sagrada de Jerusalém)

RESUMO

A energia elétrica no Brasil possui grande relevância, devido à sua alta demanda nos diversos setores da sociedade, eminentemente na residência, no comércio e na indústria. Em 2004, o setor passou por uma enorme reformulação legal, alterando significativamente o seu aspecto regulatório. Este trabalho tem o objetivo de verificar a condição de equilíbrio de mercado acionário no setor elétrico pré e pós-regulamentação, a partir dos testes do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), embasados na metodologia dos autores Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama MacBeth (1973). Os dados deste estudo foram coletados na base Econômica, relativos a preços mensais das ações do setor, pontuação do Índice da Bolsa de Valores de São Paulo (IBOVESPA) e taxas mensais do Certificado de Depósito Interbancário (CDI). O tratamento estatístico foi realizado através de regressões lineares e *cross sections*, pelo método dos mínimos quadrados. Os resultados demonstraram, para todo o período de análise, linearidade decrescente na *Security Market Line* (SML), prêmio negativo de mercado; insuficiência do CDI para a explicação dos retornos e influência dos resíduos no modelo. No período pré-regulamentação constataram-se tendência de não-linearidade em alguns períodos e linearidade crescente em outros (prêmio positivo de mercado); aplicabilidade do CDI e do IBOVESPA e influência dos resíduos no modelo. Já no período pós-regulamentação verificaram-se linearidade decrescente com ineficiência do IBOVESPA no modelo; grande influência dos resíduos na explicação dos retornos e anormalidade na aplicabilidade do modelo no subperíodo 2002-2006.

Palavras-chave: Testes do CAPM. Setor Elétrico. Método de Black, Jensen e Scholes. Método de Fama e MacBeth.

ABSTRACT

The electricity in Brazil has high relevance due to its huge demand in various sectors of society, mostly in the residence, commerce and industry. In 2004 the sector underwent a massive overhaul law, which significantly changed its regulatory aspect. This work aims to verify the condition of market equilibrium in the electricity sector, pre and post-regulatory rules, according to the tests of the Capital Asset Pricing Model (CAPM), based on the methodology of the authors Jensen, Black and Scholes (1972) and Fama MacBeth (1973). Data from this study were collected at the base Economática related monthly prices of the shares in the sector, the index score of the Stock Exchange of Sao Paulo (BOVESPA) and monthly fees of the Interbank Deposit Certificate (CDI). Statistical analysis was performed by linear regressions and cross sections, using the method of least squares. The results showed, for the whole period of analysis, linearity with decreasing slope in the Security Market Line (SML), a negative market premium, failure of the CDI for the explanation of returns and intervention of residues in the model. In the pre-regulation found a trend of non-linearity in some periods and linearity with increasing slope in others (a positive market premium), the applicability of CDI and IBOVESPA and intervention of residues in the model. In the post-regulation were observed linearity with decreasing slope and inefficiency of IBOVESPA in the model, high intervention of residues in the explanation of returns and abnormality in the applicability of the model in the 2002-2006 subperiod.

Keywords: Tests of the CAPM. Electricity Sector. Method of Black, Jensen and Scholes. Method of Fama and MacBeth.

Lista de Figuras e Quadros

Figura 1 - Diagrama das instituições do setor	17
Figura 2 - Metodologia adaptada de Black, Jensen e Scholes (1972)	52
Quadro 1 - Origem e atribuição das instituições do setor	18
Quadro 2 - Detalhamento do teste Kolmogorov-Smirnov	49
Quadro 3 - Quantidade de ações e alocação das ações nas carteiras	51

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Crescimento do consumo final de energia	13
Gráfico 2 - Consumo final energético por fonte	13
Gráfico 3 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil	14
Gráfico 4 - Índice de energia elétrica: estatísticas históricas	23
Gráfico 5 - Linha de Mercado de Capitais	27
Gráfico 6 - Teorema da Separação	31
Gráfico 7 - Relação Gráfica do CAPM	32
Gráfico 8 - Valores dos betas das ações do setor de energia elétrica	35
Gráfico 9 - Regressão <i>cross section</i> no período 1996-2010 (SSO)	60
Gráfico 10 - Regressão <i>cross section</i> no período 2004-2010 (SC)	60
Gráfico 11 - Regressão <i>cross section</i> no período 2004-2010 (SSO)	60
Gráfico 12 - Relação da eficiência das carteiras no período 1996-2010 (SSO)	61
Gráfico 13 - Relação da eficiência das carteiras no período 2004-2010 (SC)	61
Gráfico 14 - Relação da eficiência das carteiras no período 2004-2010 (SSO)	62
Gráfico 15 - Regressão <i>cross section</i> no período 1998-2000 (SC)	65
Gráfico 16 - Regressão <i>cross section</i> no período 2002-2004 (SSO)	66
Gráfico 17 - Relação da eficiência das carteiras no período 1998-2000 (SC)	66
Gráfico 18 - Relação da eficiência das carteiras no período 2002-2004 (SSO)	67
Gráfico 19 - Regressão <i>cross section</i> no período 1996-2000 (SSO)	70
Gráfico 20 - Regressão <i>cross section</i> no período 2004-2008 (SC)	71
Gráfico 21 - Relação da eficiência das carteiras no período 1996-2000 (SSO)	72
Gráfico 22 - Relação da eficiência das carteiras no período 2004-2008 (SC)	72
Gráfico 23 - Regressão <i>cross section</i> no período 2002-2006 (SC)	81

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Consumo final energético nos setores	12
Tabela 2 - Resultados e testes das regressões em séries temporais para grandes períodos	58
Tabela 3 - Resultados e testes das regressões <i>cross sections</i> para grandes períodos	59
Tabela 4 - Resultados e testes das regressões em séries temporais para períodos bianuais	63
Tabela 5 - Resultados e testes das regressões <i>cross sections</i> para períodos bianuais	65
Tabela 6 - Resultados e testes das regressões em séries temporais para períodos de quatro anos	68
Tabela 7 - Resultados e testes das regressões <i>cross sections</i> para períodos de quatro anos	70
Tabela 8 - Resultados e testes das médias dos estimadores das regressões <i>cross sections</i> , considerando grandes períodos	74
Tabela 9 - Resultados e testes das médias dos estimadores das regressões <i>cross sections</i> , considerando o período 2006-2010	76
Tabela 10 - Resultados e testes das médias dos estimadores das regressões <i>cross sections</i> , considerando períodos bianuais	78

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Contextualização do tema	12
1.2	Objetivos	21
1.2.1	Objetivo geral	21
1.2.2	Objetivos específicos	21
1.3	Justificativa	22
1.4	Estrutura lógica	24
2	Referencial teórico	25
2.1	Capital Asset Pricing Model (CAPM)	25
2.1.1	Linha de mercado de capitais	26
2.1.2	Avaliação dos ativos de risco	28
2.1.3	Equilíbrio no mercado de capitais	31
2.1.4	Restrições do equilíbrio no mercado de capitais	32
2.1.5	Aplicações do CAPM no mercado de energia elétrica	34
2.2	Testes empíricos do Capital Asset Pricing Model (CAPM)	37
2.2.1	Testes de Black, Jensen e Scholes (1972)	37
2.2.2	Testes de Fama e MacBeth (1973)	39
3	Procedimentos metodológicos	42
3.1	Definição da pesquisa, população e amostra	42
3.2	Métodos	43
3.2.1	Procedimentos gerais	43
3.2.2	Procedimentos estatísticos	43
3.3	Metodologia adaptada dos testes de Black, Jensen e Scholes (1972)	51
3.4	Metodologia adaptada dos testes de Fama e MacBeth (1973)	53
3.5	Procedimentos Metodológicos Iniciais	55
3.6	Limitações da pesquisa	56
4	Discussão dos resultados	57
4.1	Aplicações de Black, Jensen e Scholes (1972)	57
4.1.1	Aplicações nos períodos 1996-2010, 1996-2004 e 2004-2010	57
4.1.2	Aplicações em períodos bianuais	62
4.1.3	Aplicações em períodos de quatro anos	67
4.2	Aplicações de Fama e MacBeth (1973)	73
4.2.1	Aplicações nos períodos 1998-2010, 1998-2004 e 2004-2010	73
4.2.2	Aplicações em períodos bianuais	77
5	Considerações finais	82
	Referências	87

1 Introdução

1.1 Contextualização do tema

A energia é um recurso importante para o desenvolvimento da sociedade, já que impulsiona a produtividade às empresas e o bem-estar às pessoas. Ela é um direito elementar e tanto os diversos segmentos profissionais quanto as residências necessitam e sobrevivem por meio do recurso energético. A Tabela 1 e o Gráfico 1, a seguir, destacam o consumo final de energia em todos os setores: energético¹, comercial, público, residencial, agropecuário, transportes e industrial. Evidencia-se, na Tabela 1, uma única queda no valor de 2,67% na variação ano a ano do consumo energético nos setores da economia brasileira. O Gráfico 1 demonstra o crescimento expressivo no consumo, a partir da TEP².

Tabela 1 - **Consumo final energético nos setores**

Ano	Total TEP 10³	Variação
1993	125.303	
1994	131.522	4,96%
1995	136.886	4,08%
1996	144.450	5,53%
1997	151.833	5,11%
1998	155.236	2,24%
1999	156.815	1,02%
2000	157.657	0,54%
2001	158.643	0,63%
2002	165.541	4,35%
2003	169.620	2,46%
2004	178.219	5,07%
2005	182.683	2,50%
2006	188.557	3,22%
2007	201.331	6,77%
2008	211.715	5,16%
2009	206.060	-2,67%

Fonte: adaptado a partir dos dados do BEN (Balanço Energético Nacional), elaborado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2010.

¹ O Setor Energético agrega os centros de transformação e/ou processo de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final.

² TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo) significa a unidade de energia de referência, que corresponde à quantidade de energia contida em uma tonelada de petróleo de referência.

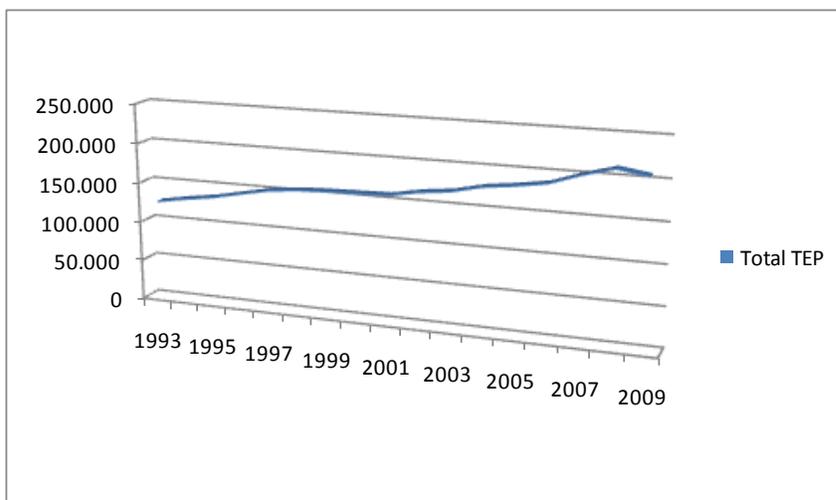


Gráfico 1 - Crescimento do consumo final de energia

Fonte: adaptado a partir dos dados do BEN (Balanço Energético Nacional), elaborado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2010.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2010), as fontes de energia que possuem maior quantidade de consumo final são óleo diesel, eletricidade e bagaço da cana, nessa ordem. O Gráfico 2 demonstra o consumo final de energia segmentado por fonte. Destaca-se a energia elétrica que mantém consumo final próximo ao óleo diesel e crescimento ao longo dos anos, com uma única queda expressiva em 2001, ano em que o país inteiro passou por uma crise e conseqüente racionamento no consumo final de energia.

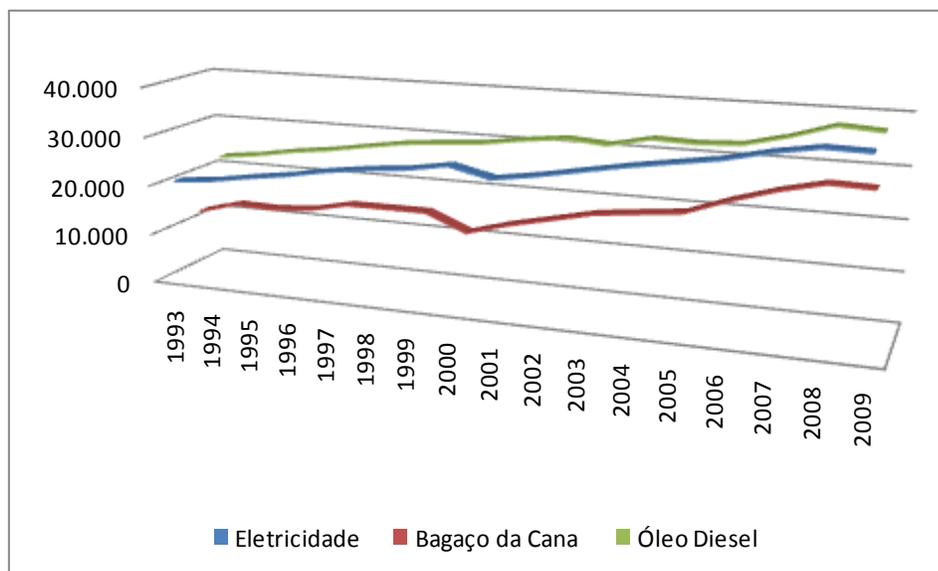
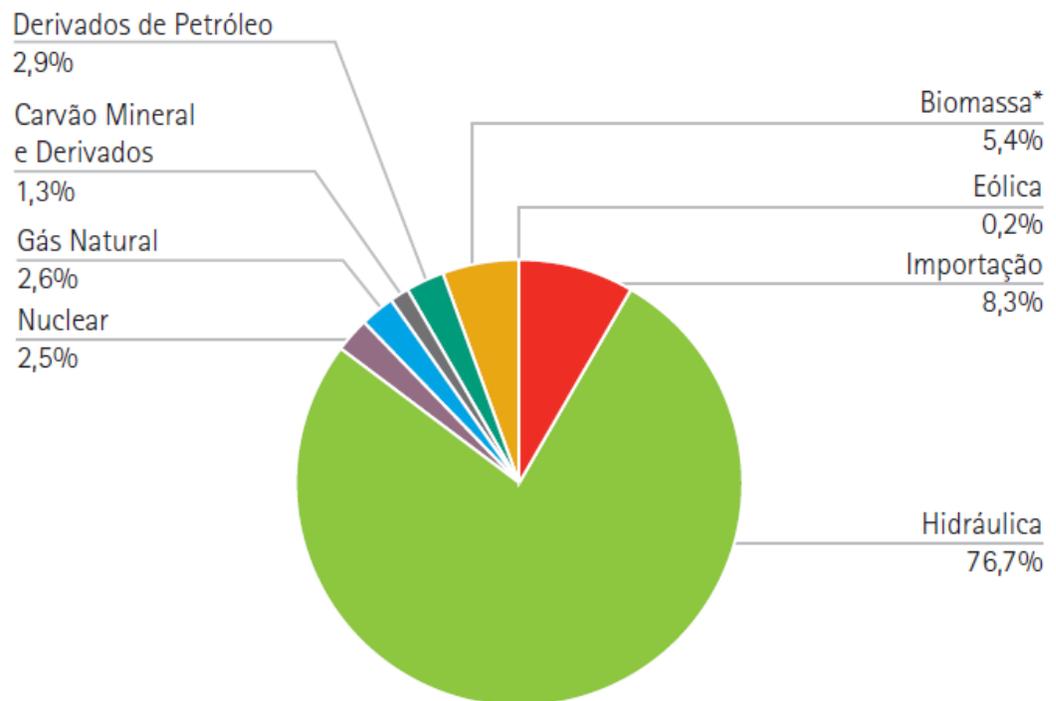


Gráfico 2 - Consumo final energético por fonte

Fonte: adaptado a partir dos dados do BEN (Balanço Energético Nacional), elaborado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2010.

A energia elétrica é a fonte mais utilizada no consumo final dos setores residencial, comercial e industrial, conforme EPE (2010). A indústria e o comércio fomentam o progresso econômico e a residência é a base de cada família. Dessa forma, tais setores são de suma valia para toda sociedade, o que ratifica a grande dependência da fonte eletricidade para o desenvolvimento do país.

A energia elétrica no Brasil é composta pela geração, transmissão e distribuição (GTD). O Gráfico 3, a seguir, destaca que a oferta interna de energia elétrica no Brasil é sobremaneira renovável hidráulica (76,7%), o que demanda grandes áreas de geração e um bom sistema de transmissão e distribuição para os consumidores.



Nota: * Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

Gráfico 3 - **Oferta interna de energia elétrica no Brasil**

Fonte: BEN (Balanço Energético Nacional), elaborado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2010

Dessa forma, desde 1995, o setor elétrico brasileiro vem passando por diversas mudanças, visando proporcionar maior competitividade, por meio das privatizações, desverticalização, estímulo à geração e a criação do livre mercado. A legislação aplicável tem impulsionado a

capacidade de investimento das empresas para suprir a demanda crescente do consumo de energia elétrica, mormente no setor industrial.

As orientações normativas relatam o desenvolvimento do novo modelo do setor elétrico no Brasil. A Lei Federal 10.848 de 15 de Março de 2004 foi um marco para uma nova estrutura no setor de energia elétrica, concedendo maior liberdade ao poder executivo no que diz respeito à regulamentação.

De acordo com Araújo et al. (2003), essa nova estruturação foi suscitada a partir das constantes incertezas com relação às receitas e ganhos de capital por parte dos investidores do setor. Além disso, os impactos causados na economia do país, no que tange ao racionamento, aumento das tarifas aos consumidores e crises econômicas das empresas de distribuição, incentivaram a reformulação regulatória.

Dessa forma, a reestruturação teve o intuito de manter as receitas e tarifas mais estáveis, amenizando as influências das flutuações do mercado para atrair investimentos de longo prazo ao país (ARAÚJO et al., 2003). Para se cumprir tais objetivos, o novo modelo propõe uma regulamentação mais rigorosa por parte do Estado.

O Ministério de Minas e Energia (MME) recuperou a responsabilidade de implementar as políticas energéticas e do poder concedente, outrora sob o comando da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A contratação de energia passou a vigorar sob as regras de dois ambientes distintos: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR – *Pool*) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Além disso, houve a criação do Administrador dos Contratos de Energia Elétrica (ACEE), encarregado de supervisionar, registrar e liquidar os contratos; a criação da Fundação de Estudos e Planejamento Energético (FEPE), elaborando metas específicas ao setor; e a criação do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), garantindo suprimento ininterrupto de energia.

No primeiro ambiente (ACR) há uma maior regulação, inclusive nas tarifas de suprimento, e ocorre a comercialização de energia, a qual será utilizada pelas companhias distribuidoras, atendendo aos consumidores finais. Comumente, as distribuidoras não podem comprar energia fora do *Pool*. Esse ambiente proporciona as vendas através de licitação promovida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ou, por delegação, pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O Decreto Federal 5.163³, de 30 de julho de

³ Decreto que regulamenta a Lei Federal 10.848/04

2004, especifica que o ACR é “o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação (...)”.

Conforme Araújo et al. (2003), as geradoras foram as mais beneficiadas pelo novo modelo regulatório no *Pool*, já que cada uma celebra contratos de longo prazo com seus respectivos distribuidores e estes informam a sua demanda de energia durante os cinco anos seguintes. Por outro lado, o *Pool* assegurou um retorno mais estável aos investidores, tendo em vista a vigência de contratos de longo prazo, além de proporcionar financiamento das obras de expansão ao setor, uma vez que, sendo os contratos firmados para 5 (cinco) anos seguintes, o MME terá disponível dados sobre as necessidades de novos empreendimentos no setor energético.

Todas as concessionárias devem comercializar no ACR e todos os contratos de energia são supervisionados, registrados e liquidados pelo Administrador dos Contratos de Energia Elétrica (ACEE, substituindo o Mercado Atacadista de Energia – MAE).

Por outro lado, tem-se o ACL, envolvendo os consumidores livres (demanda maior ou igual a 3MW), agentes de comercialização de energia, Produtores Independentes de Energia (PIE) e companhias termoelétricas. Esses agentes têm a liberdade de realizar contratos bilaterais na compra e venda de energia elétrica. Entretanto, há uma regulamentação mínima por parte do poder concedente. No ACL, o ACEE apenas registra e liquida os contratos.

Geralmente, as distribuidoras não poderão adquirir energia no ACL, fazendo com que o volume de negociação nesse ambiente seja bem restrito. O Decreto Federal 5.163, de 30 de julho de 2004, especifica que o ACL é “o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados (...)”.

Vale salientar que as distribuidoras passaram por uma desverticalização, não podendo mais desenvolver atividades de geração e transmissão concomitantemente. Por outro lado, as atividades de geração e transmissão podem ser verticalmente integradas. A nova estrutura também não permite a coligação e controle entre geradoras e distribuidoras de grande porte.

Os agentes de comercialização de energia, bem como o PIE e as termelétricas terão a opção de comercializar no ACL, podendo vender energia a consumidores livres, comercializadores de energia e instalações industriais ou comerciais.

Alguns dos temas do modelo podem ser estabelecidos nos seguintes tópicos, de acordo com o Modelo Institucional do Setor Elétrico (Ministério de Minas e Energia, 2003):

- Segurança de suprimento: antes de 2004, a oferta de geração tendia a ser inferior ao necessário, o que não garantia o suprimento às distribuidoras. No novo modelo, a demanda das distribuidoras deve ser totalmente suprida pelas geradoras em contratos de longo prazo;
- Modicidade tarifária: o novo modelo prevê a contratação por meio de leilões, na modalidade menor tarifa, obtendo economia de escala a partir de contratação conjunta de distribuidores. Há preço único de repasse de energia nova para todas as distribuidoras, dado pela média ponderada dos preços dos leilões;
- Ambientes de contratação e competição na geração: criação de dois ambientes de contratação;
- Novos agentes institucionais: Empresa de Pesquisa Energética, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico.

De forma sucinta, os agentes do setor de energia elétrica podem ser expressos na Figura 1 e no Quadro 1, a seguir.



Figura 1 - Diagrama das instituições do setor
Fonte: CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica).

Instituição	Origem	Algumas Atribuições/Funções
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética	Órgão Interministerial de Assessoramento à Presidência da República	Formular políticas e diretrizes de energia e assegurar o suprimento de energia às áreas de difícil acesso
MME - Ministério de Minas e Energia	Órgão do Governo Federal	Estabelecer o planejamento do setor, monitorar a segurança do suprimento e definir ações preventivas
EPE - Empresa de Pesquisa Energética	Instituída pela Lei 10.847/04 e criada pelo decreto 5.184/04 - empresa vinculada ao MME	Desenvolver estudos que propiciem o desenvolvimento do setor
CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico	Órgão criado no âmbito do MME	Acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica	Agência Reguladora instituída pela Lei 9.427/96 e constituída pelo Decreto 2.335/97	Regular e Fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	Instituída pela Lei 10.848/04 e criada pelo Decreto 5.177/04; substituiu as funções do MAE	Realizar a contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados e realizar os leilões de compra e venda de energia no ACR
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico	Criado pela Lei 9.648/98 e regulamentado pelo Decreto 2.655/98, com alterações do Decreto 5.081/04	Atender os requisitos de carga, garantir a confiabilidade do sistema e definir as condições de acesso à malha de transmissão em alta-tensão.

Quadro 1 - **Origem e atribuição das instituições do setor**

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica).

De acordo com Barros (2005), a nova regulamentação no setor elétrico foi concebida a partir da ideia do afastamento da crise do racionamento e possui um misto entre a concepção estatal do período até 1994 e neoliberal ou mercantil (Estado mínimo) no período entre 1995 (ano do início da vigência da Lei Federal 8.987 que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos) a 2004. Então, tem-se hoje uma posição intermediária entre o neoliberalismo e a estatização.

É possível fazer uma associação direta dessa nova estrutura regulatória com o desempenho do mercado de ações do setor elétrico. No Brasil, várias empresas de energia elétrica operam com bastante liquidez na Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA). Dessa forma, vislumbra-se a competição entre os investidores no setor energético diante de um segmento estável, com lucros certos e poucas dívidas, devido também ao apoio governamental, e detentor de grandes investimentos na geração de energia hidráulica que agregam valor às ações. Por isso, o desempenho econômico/financeiro das empresas de energia fomenta a atração por investidores e, por conseguinte, a competição.

O marco regulatório de 2004 teve o intuito de propiciar ao setor elétrico brasileiro uma maior estabilidade no mercado como um todo, gerando rendimentos com fluxos de pagamento mais constantes às empresas de geração e transmissão, já que os contratos de compra e venda de energia passaram a ser de longo prazo e até os consumidores finais foram alcançados pelo modelo regulatório em vista da modicidade tarifária estabelecida na fonte entre geração e transmissão a partir da licitação por meio de leilões. Dessa forma, o modelo se propôs a diminuir o risco no setor para manter uma justa remuneração ao investidor, de acordo com a Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico (Ministério de Minas e Energia, 2003).

Um dos modelos clássicos da análise de precificação de ativos de risco na administração financeira é o *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), modelo central da teoria financeira, que pressupõe o equilíbrio de mercado, ou seja, um mercado puramente competitivo, capaz de propiciar um jogo justo para o investidor, na medida em que cada risco assumido deverá ter uma compensação no retorno demandado de maneira linear. O risco associado é mensurado a partir do beta de cada carteira. Esse beta é estimado a partir da correlação entre a carteira estimadora e um índice que represente o comportamento do mercado acionário e sua liquidez.

Dessa forma, o modelo CAPM apresenta-se adequado à análise do setor energético, ao evidenciar as mudanças do marco regulatório de 2004 em comparação com o mercado acionário de energia elétrica brasileiro, já que a estabilidade objetivada pela Lei Federal 10.848 de 15 de Março de 2004 pode também ter impulsionado o equilíbrio no mercado acionário do setor.

Para tanto, existem várias metodologias de teste do CAPM e este trabalho utiliza dois testes considerados robustos no entendimento de Elton et al. (2004), os testes de Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama e MacBeth (1973). O primeiro teste foca os procedimentos a partir da aplicação empírica do CAPM em regressão em série temporal e *cross section*, embasada na formação de carteiras classificadas por meio das correlações com o mercado. O segundo analisa os pressupostos do CAPM a partir de inúmeras regressões *cross section* em vários períodos, também se embasando em carteiras classificadas a partir dos betas de mercado.

Neste trabalho, testa-se a utilização do CAPM entre os anos 1994 e 2010, comparando o método no período pré e pós-regulamentação, em vista de verificar se o impacto normativo gerou mudanças significativas no equilíbrio do mercado acionário. A aceitação da aplicação do modelo no período pós-regulamentação e a concomitante rejeição no período pré-regulamentação expressariam o equilíbrio de mercado causado pelo impacto normativo.

Dessa forma, almeja-se averiguar com este trabalho se as mudanças na regulamentação e as novas práticas de gestão estão contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente puramente competitivo aos investidores. Qual o impacto que este novo ambiente normativo gerou nas empresas de grande porte de energia elétrica do Brasil, tendo em vista a mensuração do risco no mercado de ações na perspectiva do CAPM? O CAPM é um modelo aplicável ao mercado de energia elétrica, tanto antes da nova regulamentação, quanto depois, de acordo com o princípio de equilíbrio de mercado?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo principal examinar a aplicabilidade do CAPM nas empresas de energia elétrica inseridas na BOVESPA, no período pré e pós-regulamentação do setor, sob duas perspectivas de testes tradicionais, a saber: os estudos empíricos de Black, Jensen e Scholes (1972) e a abordagem de Fama e MacBeth (1973).

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Testar a linearidade e a constante da equação do CAPM no mercado de energia elétrica brasileiro, sob a perspectiva metodológica de Black, Jensen e Scholes (1972);
- Identificar a aplicabilidade da taxa livre de risco e do prêmio pelo risco do CAPM nas empresas do setor de energia elétrica brasileiro, na abordagem de Fama e MacBeth (1973);
- Averiguar a presença da não-linearidade e a influência dos resíduos na explicação dos retornos médios no mercado de energia elétrica brasileiro, sob a análise de Fama e MacBeth (1973).

1.3 Justificativa

A mensuração de risco no mercado acionário é um dos temas cruciais para o estudo da administração financeira. Por um lado, o investidor está sempre atento às variações dos retornos de suas aplicações, em vista de viabilizar, a depender do seu perfil, a composição ideal da carteira de investimentos. Por outro, as organizações estão voltadas a assumir riscos tanto para otimizar seus resultados financeiros quanto para aumentar o seu comprometimento social, a fim de atrair bons investidores e manter sua liquidez no mercado. Dessa forma, percebe-se que o risco é parte essencial para a tomada de decisão, tanto para as empresas quanto para os investidores.

No mercado de energia elétrica, o risco está diretamente associado ao macroambiente (Governo), que determina as diretrizes normativas e direciona o modelo de gestão do recurso. As novas regulamentações viabilizaram um ordenamento na comercialização e competição, a fim de proporcionar equilíbrio de mercado com suprimento ininterrupto de energia.

Dessa forma, a atuação do Governo é ponto determinante para o desenvolvimento do mercado de energia elétrica no Brasil, já que as orientações normativas modificaram expressivamente a gestão do setor. Surge, então, o questionamento acerca das conseqüências que este novo ambiente normativo proporcionou ao mercado acionário.

O mercado acionário de energia elétrica é bastante valorizado devido à elevada liquidez do segmento, revelada pela composição do Índice da Bolsa de Valores de São Paulo (IBOVESPA), e pelo IEE (Índice de Energia Elétrica), o primeiro índice setorial, criado em 1996. O IEE revela crescimento de pontuação considerável desde o seu surgimento, conforme Gráfico 4, a seguir, principalmente em meados de 2004, uma vez que o índice alcança desempenho acima dos 6.000 pontos, chegando até o pico de 24.000 em 2009. Dessa forma, o mercado acionário do setor elétrico demonstrou uma mudança de comportamento na liquidez em 2004, eixo do marco regulatório. Essa verificação também reforça a escolha de se testar o CAPM no mercado acionário, já que é um modelo embasado na verificação da liquidez de mercado.

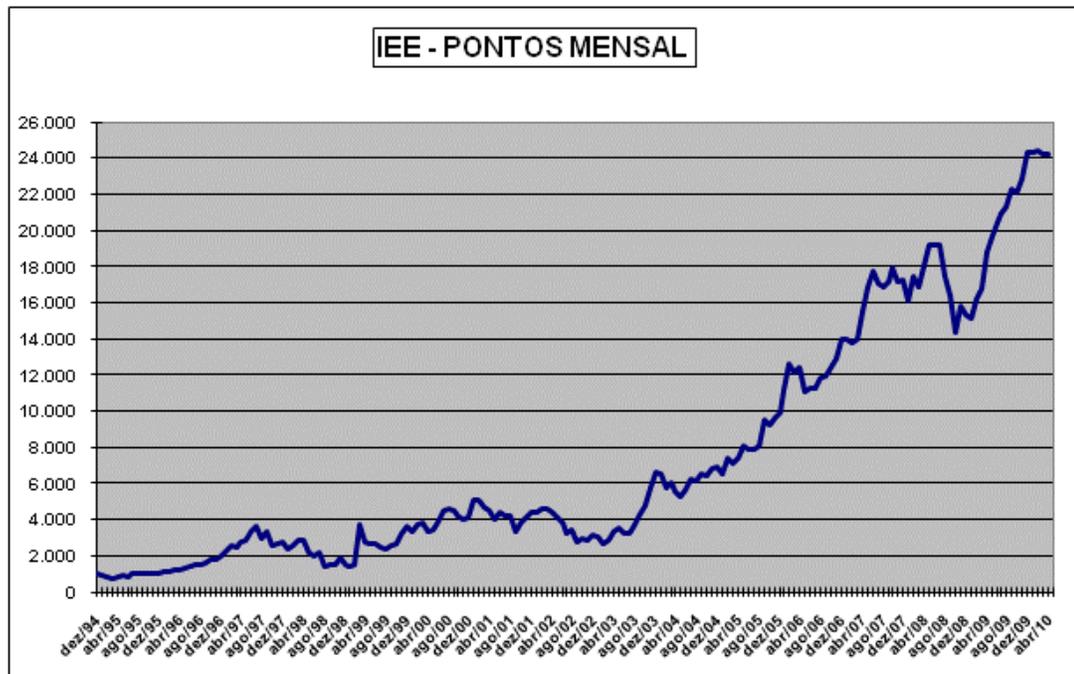


Gráfico 4 - Índice de energia elétrica: estatísticas históricas

Fonte: BM&FBOVESPA – Bolsa de mercadorias e futuro e bolsa de valores de São Paulo.

Percebe-se, portanto, a relevância desse segmento para os investidores, principalmente após o marco de 2004. Um estudo voltado especificamente para o setor de energia elétrica no que concerne ao mercado de ações faz-se necessário, em vista também da carência de estudos empíricos anteriores nessa área. A finalidade deste trabalho não é esgotar as possibilidades de entendimentos do setor, mas conseguir abstrair o máximo de informação a respeito do comportamento das ações no mercado secundário de energia elétrica, comparando a aplicabilidade do CAPM ao segmento, com o intuito de averiguar o equilíbrio de mercado antes e depois do marco regulatório.

1.4 Estrutura lógica

O presente trabalho pode ser descrito nas seguintes etapas:

- Construção da problemática, a partir de uma exploração literária sobre o novo modelo de regulação de energia elétrica;
- Delimitação da pergunta de pesquisa por meio da comparação entre a contextualização do mercado energético e o CAPM;
- Aprofundamento nos estudos que originaram o CAPM (autores clássicos), juntamente com os artigos e livros que criticam o modelo e exemplificam testes empíricos no mercado de ações;
- Aplicação inicial do modelo, para comprovar a viabilidade da pesquisa⁴;
- Aplicação final dos modelos delimitados neste trabalho, a fim de proporcionar embasamentos empíricos para responder a pergunta de pesquisa.

⁴ A aplicação inicial da pesquisa foi desenvolvida a partir do modelo de Black, Jensen e Scholes (1972). Utilizou-se como amostra o mercado acionário de energia, gás e petróleo.

2 Referencial teórico

2.1 Capital Asset Pricing Model (CAPM)

De acordo com Berk e Demarzo (2009), no período de 1995 a 2004, a carteira de mercado das ações norte-americanas obteve um retorno anual médio de 10%. No mesmo período, as ações com menores capitalizações alcançaram um retorno médio equivalente a 20% (com alfas⁵ estritamente positivos). Decerto, quando se compara a carteira de mercado (*Proxy*) com algum portfólio de baixa capitalização, espera-se da primeira um alto desempenho em detrimento dos resultados do segundo, de acordo com os pressupostos do CAPM. Tal modelo também prevê uma relação positiva e linear entre o beta de uma carteira e seu retorno esperado. O CAPM fora desenvolvido a partir da interdependência (covariância) entre os retornos dos ativos (ROSS, WESTERFIELD, JAFFE, 2002).

Ao longo dos anos, o CAPM fora testado de diversas maneiras, a fim de verificar sua funcionalidade empírica. No entendimento de Brigham, Ehrhardt e Gapenski (2008), há duas maneiras básicas de se testar o CAPM: através da eficácia do beta e da Linha de Mercado de Títulos (*Security Market Line* - SML). Se muitos investidores não quiserem manter um portfólio diversificado, possivelmente o beta não mediria corretamente o risco e a SML não explicaria de forma eficaz os retornos requeridos. Para aferir a sensibilidade do beta ao risco, deve-se perceber se o valor do beta permanece estável ao longo de intervalos de tempo. Por outro lado, a partir do gráfico da SML questiona-se, empiricamente, se a intersecção com o eixo vertical é igual à taxa livre de risco, ou se a reta da SML é obtida por uma regressão linear e se o beta de valor “1” corresponde a uma reta relacionada ao retorno requerido do mercado. Além disso, a presença dos custos de transação e a possível diferença de valor da taxa de juros, pela qual o investidor capta seus recursos, com a taxa livre de risco podem enfraquecer demasiadamente o modelo.

Brigham e Ehrhardt (2008) delineiam alguns resultados empíricos do CAPM no mercado Norte-Americano, tais como a existência de um relacionamento positivo entre os retornos

⁵ A definição de “alfa” neste estudo segue a mesma orientação de Berk e Demarzo (2009): diferença entre o retorno efetivamente encontrado e aquele estabelecido pela Linha de Mercado de Títulos (*Security Market Line* - SML) do CAPM. Ou seja: $\hat{\alpha}_i = \tilde{R}_i - (r_f + \hat{\beta}_i[\tilde{R}_m - r_f])$, onde a primeira parcela se refere ao valor da taxa de retorno efetivamente realizada da carteira “i” e a segunda, ao cálculo do CAPM (retorno requerido), explicitado adiante (itens 2.1.4 e 2.2.1).

realizados e o beta, porém a inclinação dessa reta tende a ser menor do que a especificada pelo CAPM. Além disso, a relação entre risco e retorno aproxima-se da linearidade. Os autores referidos ainda afirmam que o CAPM tem um marco conceitual amplo, visto que não analisa um risco isolado e sim numa relação direta com o mercado. Vale ressaltar, entretanto, que os retornos exigidos pelo modelo estão sujeitos a erros.

No estudo sobre CAPM condicional de Jagannathan e Wang (1996) há evidências da instabilidade do beta do CAPM. De acordo com os autores, o consenso geral é que o CAPM estático é incapaz de explicar os retornos médios e o CAPM somente se sustenta quando os betas e prêmios de risco variam a todo tempo. Em períodos de recessão, a alavancagem financeira de pequenas empresas pode fazer com que seus betas aumentem. Além disso, o ciclo de negócio das empresas afetadas diretamente pela velocidade da tecnologia e o tamanho de cada setor em que as firmas estão inseridas influenciam no cálculo dos betas do CAPM.

Entretanto, Jagannathan e Wang (1996) afirmam que o CAPM ainda é a técnica preferida nos MBA's, tendo em vista seu caráter intuitivo e a relativa ambigüidade dos estudos que vão de encontro ao CAPM, focando basicamente em carteiras replicáveis em favor da constatação das anomalias de mercado.

O princípio básico do CAPM está direcionado no equilíbrio de mercado. Para tanto, os investidores devem ter expectativas homogêneas, ou seja, as mesmas estimativas de retorno, variância e covariância das ações, conforme explicitado na seção a seguir. A expectativa homogênea não determina a aversão ao risco dos investidores, apenas a perspectiva em relação ao risco e retorno das ações (ROSS, WESTERFIELD E JAFFE, 2002).

2.1.1 Linha de mercado de capitais

A conceituação do modelo inicialmente articulado por Sharpe (1964) está delineada sob a linha de mercado de capitais (*Capital Market Line* - CML). O Gráfico 5 demonstra a relação existente entre o risco e a taxa de retorno esperada.

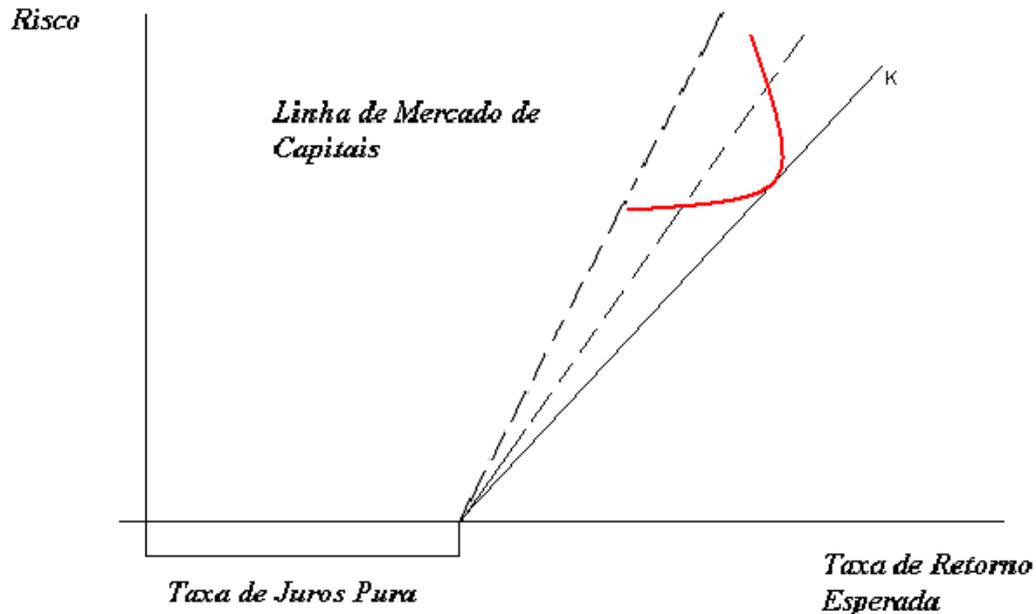


Gráfico 5 - **Linha de Mercado de Capitais**
 Fonte: elaboração própria, adaptado de Sharpe (1964)

O Gráfico 5 acima traduz uma situação de equilíbrio, em que o investidor racional, ou seja, aquele orientado pela técnica de diversificação, consegue atingir qualquer ponto da linha de mercado. A cada risco assumido há uma compensação de retorno de maneira linear. Dessa forma, para diversificações replicantes no risco, haverá taxas de retornos semelhantes. Essa interpretação é sustentada pela escolha de uma combinação ótima de ativos de risco e também pela alocação que será destinada a essa combinação e o ativo livre de risco. Vale salientar que os componentes de risco específico de cada ativo não são relevantes para a precificação da combinação ótima, ao se considerar o efeito da diversificação (SHARPE, 1964).

Uma escolha da carteira é dita eficiente quando não existe nenhuma outra possibilidade com o mesmo retorno e menor risco, com o mesmo risco e maior retorno ou com maior retorno e menor risco. No Gráfico 5, percebe-se a relação de dominância pela reta K, onde os recursos são emprestados sob uma taxa livre de risco (Taxa Pura) e também alocados numa combinação de ativos de risco. Dessa forma, Sharpe (1964) define duas condições para haver equilíbrio no mercado de capitais:

- A existência de uma taxa pura igual para todos os investidores;

- A homogeneidade nas expectativas deles, ou seja, os investidores mantêm perspectivas semelhantes nos vários investimentos no que se referem aos retornos, riscos e coeficientes de correlações entre os ativos.

Sharpe (1964) afirma que tais suposições são um tanto irrealistas, mas não podem ser rejeitadas, pois embasam a maior parte da doutrina clássica em finanças.

Portanto, supondo as condições de equilíbrio, tem-se uma relação linear entre o retorno esperado e o risco (desvio-padrão dos retornos) para combinações eficientes de ativos de risco. A curva destacada de vermelho no Gráfico 5 evidencia uma combinação de dois ativos quaisquer, de forma que, no equilíbrio, todas as curvas dos investidores são tangentes à linha de mercado de capitais, desde que o ponto de tangência seja a combinação eficiente e a curva seja contínua.

2.1.2 Avaliação dos ativos de risco

Lintner (1965) delinea alguns conceitos básicos das decisões racionais de investimento para portfólios possíveis, focando nos efeitos do risco e incerteza na precificação de ativos. Uma das abordagens aprofundadas por Lintner (1965) se refere ao Teorema da Separação, pois especifica a relação entre risco e a preferência pela liquidez do investidor. Quanto mais o investidor quiser se aproximar da maior proporção do ativo livre de risco, maior é sua aversão ao risco.

Algumas pressuposições do mercado, de acordo com Lintner (1965):

- Um investidor pode aplicar qualquer parte do seu recurso em um ativo livre de risco (como por exemplo, uma poupança);
- Da mesma forma, pode aplicar em ativos de risco;
- Há um mercado puramente competitivo, livre de custo de transações e taxas;
- O investidor pode tomar emprestado para aplicar em ativos de risco à taxa do ativo livre de risco (na mesma taxa da poupança, por exemplo);
- Os investidores consideram os pagamentos de juros, dividendos e as mudanças de preço dos ativos.

Algumas pressuposições do investidor, de acordo com Lintner (1965):

- Cada investidor já tem decidido sua fração de investimento, em dinheiro e em empréstimos;
- Cada investidor já tem atribuído uma distribuição de probabilidade conjunta aos retornos das ações individuais, atribuindo, pelo menos, as variâncias, covariâncias e o valor esperado do retorno;
- Os investidores optam por portfólios de menor variância, quando o retorno de cada um é semelhante e optam por portfólios de maior retorno, quando a variância de cada um é semelhante.

O retorno de um investimento pode ser estabelecido a partir das equações abaixo:

$$E(R_i)A_0 = (1-w)r_f A_0 + wE(R_j)A_0 = r_f + w[E(R_j) - r_f] \text{ para } 0 \leq w < \infty \quad (01)$$

Para séries temporais, tem-se:

$$\begin{aligned} \tilde{R}_i &= r_f + w[\tilde{R}_j - r_f] \\ \therefore \sigma_{R_i}^2 &= w^2 \sigma_{R_j}^2 \text{ e } w = \frac{\sigma_{R_i}}{\sigma_{R_j}} \\ \therefore \tilde{R}_i &= r_f + \frac{\sigma_{R_i}}{\sigma_{R_j}} [\tilde{R}_j - r_f] \\ \therefore E(R_i) &= r_f + \frac{\sigma_{R_i}}{\sigma_{R_j}} [E(R_j) - r_f] \end{aligned}$$

Simplificando, tem-se:

$$\begin{aligned} E(R_i) &= r_f + \mathcal{G} \sigma_{R_i} \quad (02) \\ \therefore \mathcal{G} &= \frac{[E(R_j) - r_f]}{\sigma_{R_j}} \end{aligned}$$

Onde, A_0 é o investimento inicial; $E(R_i)$ é o retorno esperado do investidor no portfólio i; w é a proporção do investimento em ações de risco; r_f é a constante teórica, ou seja, o retorno do ativo livre de risco; $E(R_j)$ é o retorno esperado de um portfólio j de referência, $\sigma_{R_i}^2$ é a variância

populacional do retorno do investimento no portfólio i e $\sigma_{R_j}^2$ é a variância populacional do retorno no portfólio j .

Na abordagem de Meir Statman (1987), o valor do portfólio de referência ($E(R_j)$) é considerado como a carteira de mercado (*index* apropriado), que representa um investimento ótimo. Tal análise compõe a Linha de Mercado de Capitais (CML), onde os demais portfólios estarão correlacionados com o do mercado. Dessa forma, considera-se o *index* de mercado como aquele que maximiza a relação \mathcal{G} .

Duas implicações diretas podem ser formuladas a partir do teorema da separação, de acordo com Lintner (1965):

- Para valores de $w < 1$, o investidor aplica parte do seu capital em ativos livre de risco - $(1-w)r_f$;
- Para valores de $w > 1$, o investidor toma emprestado sob a taxa de juros do ativo livre de risco para aplicar em ativos de risco.

Lintner (1965) especifica três corolários para o Teorema da Separação:

- Todos os investidores que queiram maximizar seu retorno em determinada função utilidade deverá ter decisões idênticas a respeito da composição de seu portfólio (ativos de risco);
- A Fronteira Eficiente de Markowitz (1959) possui um único ponto de relevância para a decisão do investidor em seus investimentos em ativos de risco;
- A riqueza do investidor é relevante para determinar o tamanho absoluto da aplicação em ativos.

O Gráfico 6 abaixo evidencia a relação do Teorema da Separação. Em primeiro lugar, define-se uma combinação ótima de ativos de risco. Essa combinação pode ser determinada sem o conhecimento das preferências do investidor quanto à tolerância entre risco e retorno. O conjunto eficiente é considerado a carteira de mercado, aquela com maior liquidez.

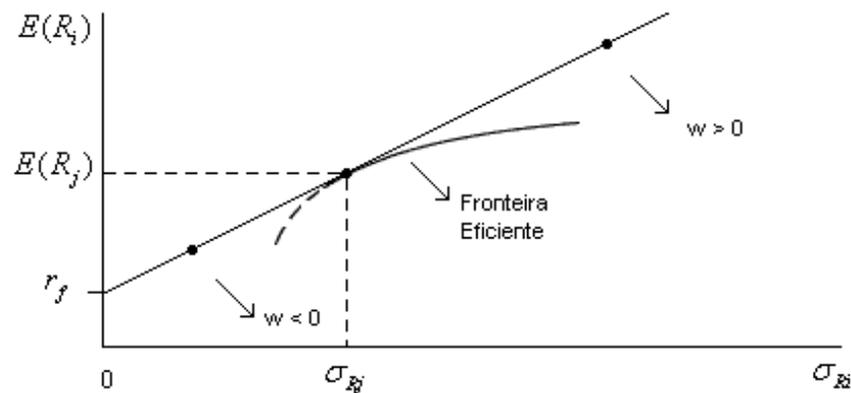


Gráfico 6 - Teorema da Separação
Fonte: elaboração própria, a partir de Lintner (1965)

Em teoria, o investidor pode optar por aplicar todo seu recurso na carteira de mercado (o ponto de intersecção com a fronteira eficiente no Gráfico 6). A partir daí, duas situações podem ser previstas:

- Se o investidor tiver aversão ao risco, decidirá por uma aplicação ao nível de $w < 0$: haverá empréstimo do seu recurso à taxa livre de risco;
- Por outro lado, se o investidor for agressivo, decidirá por uma aplicação ao nível de $w > 0$: tomar empréstimo à taxa livre de risco.

2.1.3 Equilíbrio no mercado de capitais

Para contextualizar as condições de equilíbrio, Mossin (1966) afirma que, para dois investidores (r e s) assumirem posições de risco, deve ser viável a premissa estabelecida na Equação 03 abaixo:

$$\frac{w_p^r}{w_q^r} = \frac{w_p^s}{w_q^s} \quad (03)$$

Onde, w_p^r significa a proporção que o investidor “r” aplicará no ativo de risco “p” e assim sucessivamente.

Dessa forma, os investidores que não possuem aversão ao risco terão, em teoria, a mesma porcentagem na aplicação em cada ativo de risco, pressupondo que todos esses ativos são

perfeitamente divisíveis e que não há condição de diferenças no peso das aplicações de capitais para proporcionar ganhos desiguais a determinados investidores.

De acordo com Mossin (1966), a linha de mercado pode ser derivada a partir das hipóteses de equilíbrio de mercado. Além disso, apesar de Sharpe (1964) ter salientado sobre a possibilidade de uma curva não linear, o modelo construído a partir de uma linha reta pressupõe que a taxa de substituição entre os retornos e desvio padrão (risco) seja constante (coeficiente angular da reta). Dessa forma, o preço pela redução do risco é diretamente relacionado com o montante de rendimento esperado sacrificado. Como o risco é medido em termos do desvio padrão do rendimento, tem-se que o preço pela redução do risco possui a mesma função de uma taxa de juros.

2.1.4 Restrições do equilíbrio no mercado de capitais

A formalização teórica do CAPM pode ser descrita pela Equação 04 abaixo, partindo-se de Black (1972):

$$E(R_i) = r_f + \beta_i [E(R_m) - r_f] \quad (04)$$

Onde, $E(R_i)$ é o valor esperado do retorno da carteira i ; β_i é o beta teórico do modelo, como única medida de risco e $E(R_m)$ é o valor esperado do retorno da carteira de mercado utilizada como *proxy*.

Para séries temporais, tem-se:

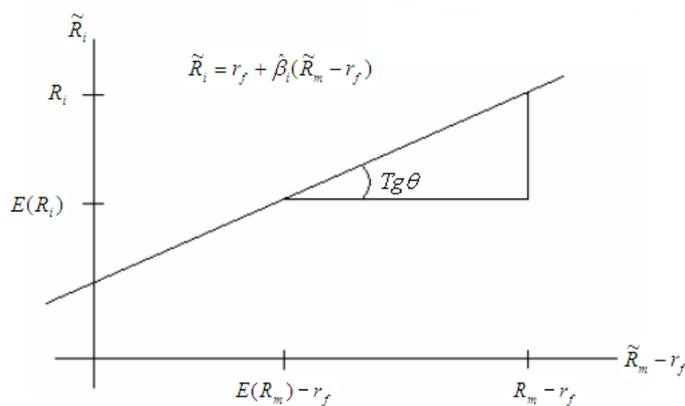


Gráfico 7 - Relação Gráfica do CAPM

Fonte: elaboração própria

A partir da verificação do Gráfico 7 acima, pode-se estabelecer o valor da tangente para fins do cálculo do valor do coeficiente angular, conforme Equação 05:

$$\hat{\beta}_i = \text{Tg } \theta = \frac{R_i - E(R_i)}{R_m - E(R_m)} \cdot \frac{R_m - E(R_m)}{R_m - E(R_m)} = \frac{E((R_i - E(R_i)) \cdot (R_m - E(R_m)))}{E(R_m - E(R_m))^2} = \frac{\text{cov}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_m)}{\text{var}(\tilde{R}_m)} \quad (05)$$

Onde, $\hat{\beta}_i$ é a sensibilidade estimada do portfólio i ao mercado (a inclinação da reta); \tilde{R}_i é o retorno em série temporal da carteira i; $\tilde{R}_m - r_f$ é o retorno excedente em série temporal da carteira de mercado; $\text{cov}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_m)$ é a covariância estimada entre os retornos do portfólio i e a carteira de mercado e $\text{var}(\tilde{R}_m)$ é a variância estimada da carteira de mercado.

De acordo com Black (1972), a análise da formalização do CAPM suscita alguns pressupostos:

1. Primeiramente, os investidores possuem as mesmas perspectivas quanto aos valores dos ativos no final de cada período. Dessa forma, há equilíbrio de mercado na medida em que cada investidor possui expectativas semelhantes dos ativos do mercado, conforme análise de Sharpe (1964);
2. A distribuição de probabilidade dos retornos dos ativos é considerada normal ao se considerar períodos infinitesimais. Para períodos finitos, a distribuição se aproxima da *lognormal*;
3. Os investidores que têm aversão ao risco escolhem carteiras que maximizem seus retornos;
4. O investidor pode assumir qualquer posição nos ativos, inclusive o ativo sem risco, em quantia arbitrária de investimento. Dessa forma, o investidor pode captar ou emprestar recursos em qualquer valor e também sob a taxa de juros do ativo livre de risco.

Para Fischer Black (1972), o pressuposto (4) é o mais restritivo e não possui boa aproximação da realidade. Além disso, o CAPM seria afetado substancialmente se essa hipótese fosse desconsiderada. Dessa forma, o modelo como um todo pode ser comprometido ao se questionar esse único pressuposto numa análise empírica, por exemplo.

Sob tais hipóteses, Sharpe (1964) demonstra que uma carteira eficiente pode ser descrita a partir de uma combinação de dois portfólios básicos, com proporções diferentes de investimento. Black (1972) especifica que essa carteira pode ser composta pelo portfólio de mercado e pelo zero-beta (um portfólio independente do mercado). Essa análise pode ser descrita pelas equações abaixo:

$$\tilde{R}_i = \hat{\beta}_i \tilde{R}_m + (1 - \hat{\beta}_i) \tilde{R}_z \quad (06)$$

$$\therefore \tilde{R}_i = \hat{\beta}_i \tilde{R}_m + \tilde{R}_z - \hat{\beta}_i \tilde{R}_z$$

$$\therefore \tilde{R}_i = \tilde{R}_z + \hat{\beta}_i (\tilde{R}_m - \tilde{R}_z)$$

$$E(R_i) = E(R_z) + \hat{\beta}_i [E(R_m) - E(R_z)] \quad (07)$$

$$E(R_i) = r_f + \hat{\beta}_i [E(R_m) - r_f] \quad (08)$$

Onde, \tilde{R}_i são os retornos, em série temporal, da carteira i e \tilde{R}_z são os retornos de um portfólio independente dos retornos do mercado (\tilde{R}_m).

Pela derivação matemática demonstrada, a Equação 06 foi decomposta nas Equações 07 e 08. Na equação 08, considera-se o valor esperado do portfólio independente do mercado como a taxa livre de risco (r_f). Dessa forma, a relação entre o retorno esperado de uma carteira eficiente terá como intercepto o ativo livre de risco, pressupondo sua independência aos retornos do portfólio de mercado. Além disso, a carteira que possuir beta igual a zero, deverá ter o mesmo retorno esperado do ativo livre de risco.

2.1.5 Aplicações do CAPM no mercado de energia elétrica

No estudo de Silva (2008), relata-se uma análise de risco do setor elétrico, a partir das ações com maiores graus de liquidez, formando os betas de mercado para 252 dias de retornos (ano de 2006 a 2007). O Gráfico 8 demonstra que aproximadamente 70% das empresas de energia apresentaram valores estimados de beta inferiores ao mercado.

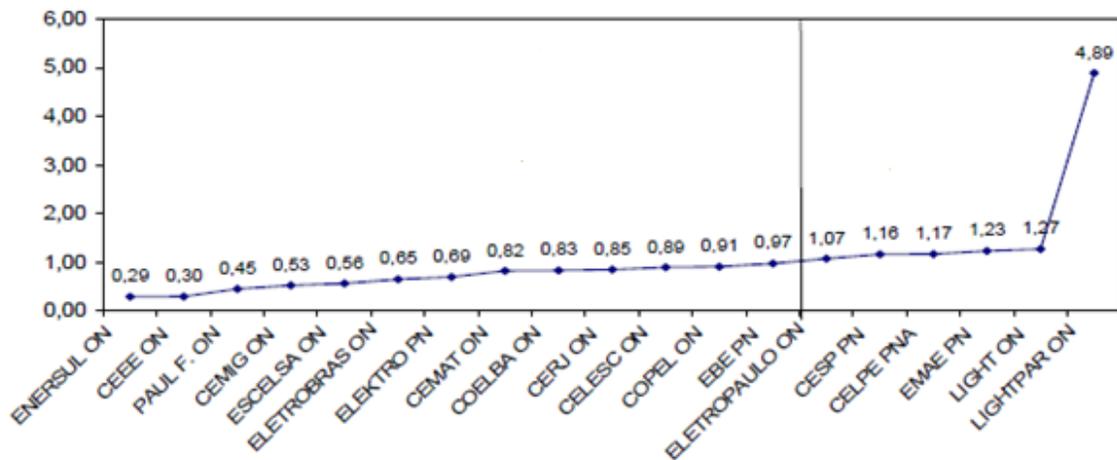


Gráfico 8 - Valores dos betas das ações do setor de energia elétrica

Fonte: adaptado de Silva (2008)

Além disso, o IBOVESPA apresentou retorno esperado mensal superior ao IEE (Índice de Energia Elétrica). Em comparação com os demais índices setoriais, o IEE apresentou superioridade no retorno esperado mensal apenas em relação ao ITEL - Índice Setorial de Telecomunicações, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2006 (SILVA, 2008). O beta de mercado do CAPM para o mesmo período, considerando a relação entre IBOVESPA e IEE, foi de 1,07378, o que demonstra similaridade entre o comportamento do retorno de mercado (*proxy*) e o índice de energia.

Outro trabalho importante na relação entre o mercado de energia elétrica e o CAPM foi desenvolvido por Pinto (2008). O objetivo principal do estudo foi analisar o comportamento do coeficiente beta em cada ação do setor, utilizando uma janela móvel de cinco anos, a fim de verificar a alavancagem dos betas observados. O autor ainda discrimina três fatores importantes para a determinação do coeficiente:

- A questão do período de análise;
- O cálculo do retorno das ações, ou seja, o período da cotação do preço (diário, semanal, mensal *etc*);
- O *index* de referência (*proxy* de mercado).

O autor separou as empresas do setor, a partir de sua atividade essencial, em geradoras e distribuidoras. As atividades das geradoras são tipicamente mais arriscadas e por isso deveriam ter betas mais elevados. Entretanto, não houve diferenças significativas nos betas das geradoras e

distribuidoras. Por outro lado, observou-se uma tendência ascendente de beta a partir de 2005 nas empresas do setor, período pós marco regulatório.

Costa, Cunha e Ribeiro (2008) fizeram uma análise acerca do CAPM entre os vários setores da economia inseridos na BOVESPA, a partir de dados diários de retornos. Para tanto, calculou-se o retorno justo do CAPM em relação aos anos 2005 e 2006 de cada setor, comparando-os com os retornos efetivos respectivos. Os resultados demonstraram valores esperados do CAPM significativamente diferentes dos valores observados no mercado em cada setor. As empresas de energia elétrica, por exemplo, obtiveram ganho de retorno de 7,60% na aplicação do modelo CAPM entre os anos 2005 e 2006. O retorno efetivo do mercado ao setor elétrico, no mesmo período, foi de 126,80%. Dessa forma, o estudo demonstrou pouca aplicabilidade empírica do modelo CAPM ao se considerar uma carteira igualmente ponderada em cada setor.

Após esta análise dos principais conceitos do CAPM a partir dos autores clássicos e das aplicações empíricas do modelo no mercado energético, apresenta-se no próximo item um detalhamento da metodologia e resultados encontrados dos testes empíricos do CAPM sob os estudos empíricos de Black, Jensen e Scholes (1972) e a abordagem de Fama e MacBeth (1973).

2.2 Testes empíricos do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM)

2.2.1 Testes de Black, Jensen e Scholes (1972)

No entendimento de Elton et al. (2004), o artigo de Black, Jensen e Scholes (1972) foi um marco nos testes robustos do CAPM por meio de séries temporais. A definição do CAPM afirma que o retorno excedente esperado de uma ação é diretamente proporcional ao seu beta de mercado, desconsiderando os resíduos da regressão, ou seja:

$$\hat{\alpha}_i = [E(R_i) - r_f] - [E(R_m) - r_f] \hat{\beta}_i \quad (09)$$

O alfa do ativo ou portfólio “i” se refere ao valor esperado do retorno excedente de “i”⁶ menos o prêmio esperado de mercado. Na concepção do CAPM, o alfa tenderia a zero. Os testes realizados por Black, Jensen e Scholes (1972) indicaram que as ações com altos betas tendem a possuir alfas negativos. Da mesma forma, ações com baixos valores de beta de mercado tendem a possuir alfas positivos. Dessa forma, os autores propuseram um modelo de dois fatores em que $E(R_z)$ corresponderia ao retorno esperado de um portfólio com covariância zero em relação ao retorno excedente da carteira de mercado. Algebricamente, tem-se:

$$E(R_i) = E(R_z) + [E(R_m) - E(R_z)] \hat{\beta}_i \quad (10)$$

$$\therefore E(R_i) = E(R_z) - E(R_m) + E(R_m) + [E(R_m) - E(R_z)] \hat{\beta}_i$$

$$\therefore E(R_i) = [E(R_z) - E(R_m)](1 - \hat{\beta}_i) + E(R_m)$$

$$\therefore E(R_i) = E(R_z)(1 - \hat{\beta}_i) + E(R_m) \hat{\beta}_i \quad (11)$$

Dessa forma, o alfa tenderia a zero ao se atribuir eficácia ao modelo de dois fatores. Seguindo o mesmo raciocínio para o modelo CAPM, mas sem atribuir eficácia no zero-beta, ou seja, alfas diferentes de zero, tem-se:

⁶ Variação percentual do preço (incluindo os dividendos). Do resultado dessa razão percentual, diminui-se a taxa livre de risco.

$$E(R_i) = \hat{\alpha}_i + E(r_f)(1 - \hat{\beta}_i) + E(R_m)\hat{\beta}_i \quad (12)$$

Da combinação da Equação 11 com a 12 obtém-se:

$$\begin{aligned} \therefore E(R_z)(1 - \hat{\beta}_i) + E(R_m)\hat{\beta}_i &= \hat{\alpha}_i + E(r_f)(1 - \hat{\beta}_i) + E(R_m)\hat{\beta}_i \\ \therefore E(R_z)(1 - \hat{\beta}_i) &= \hat{\alpha}_i + E(r_f)(1 - \hat{\beta}_i) \\ \therefore \hat{\alpha}_i &= E(R_z)(1 - \hat{\beta}_i) - E(r_f)(1 - \hat{\beta}_i) \\ \hat{\alpha}_i &= [E(R_z) - E(r_f)](1 - \hat{\beta}_i) \end{aligned} \quad (13)$$

Nesse contexto, supondo-se a taxa livre de risco inferior ao retorno da carteira não correlacionada com o mercado, o alfa tenderia a ser positivo quando o beta fosse menor do que “1”. Para betas maiores que 1, os alfas tenderiam a ser negativos, ou seja, o retorno esperado excedente de ativos com baixos betas tendem a ser inferiores do que o previsto pelo CAPM.

Para estimar o beta fator previsto em (11) como a taxa esperada do portfólio não correlacionado com o mercado, tem-se para os retornos não excedentes:

$$\begin{aligned} \therefore \tilde{R}_i &= \hat{R}_z(1 - \beta_{it}) + \tilde{R}_m\beta_{it} \\ \therefore \tilde{R}_i - \tilde{R}_m\beta_{it} &= \hat{R}_z(1 - \beta_{it}) \\ \hat{R}_z &= \frac{\tilde{R}_i - \tilde{R}_m\beta_{it}}{(1 - \beta_{it})} \end{aligned} \quad (14)$$

Onde \hat{R}_z se refere ao beta fator estimado para a carteira de ativos i e β_{it} , ao valor estimado de beta no instante t da carteira i.

De acordo com Elton et al. (2004), a metodologia mais intuitiva para a aplicação empírica dos testes do CAPM seria estimar a equação para cada título, reexaminando posteriormente a distribuição dos alfas. Entretanto, tal método pressupõe independência entre todos os resíduos das equações, o que de fato não ocorre. Dessa forma, a metodologia utilizada por Black, Jensen e Scholes (1972) está embasada na formação de carteiras de acordo com seus betas.

Para evitar o viés de seleção, ou seja, seleção de carteiras a partir de betas observados das ações e não a partir dos verdadeiros betas (viés negativo no intercepto alfa a partir do viés positivo de betas observados altos), estimaram-se os betas dos títulos no período de 5 anos de retornos mensais e, no ano seguinte, ocorre a classificação de 10 carteiras, em *ranking* de betas. Esse procedimento é então estabelecido para um período total de 35 anos de retornos para as carteiras formadas. Os testes também foram analisados em quatro subperíodos. Além disso, os valores de beta de cada carteira juntamente com seus respectivos retornos excedentes foram utilizados para a regressão *cross section*, a fim de comprovar a existência empírica do alfa e testar a linearidade da equação.

A aplicação empírica de Black, Jensen e Scholes (1972) em *cross section* demonstrou resultados significativos para todo período e subperíodos no alfa, ratificando a evidência do modelo de dois fatores proposto, e um elevado R^2 em várias regressões para comprovar a linearidade crescente do modelo.

2.2.2 Testes de Fama e MacBeth (1973)

Fama e MacBeth (1973) realizaram os testes empíricos do CAPM também baseados no modelo de dois fatores. De acordo com os autores, da equação geral da expectativa de retorno do CAPM há três implicações passíveis de teste:

1. Relação linear entre o retorno esperado de uma ação e seu risco em qualquer carteira eficiente;⁷
2. O beta é a única medida de risco da ação numa carteira eficiente;
3. Em um mercado composto por investidores com aversão ao risco, quanto maior o risco maior deve ser o retorno esperado associado, o que equivale dizer que o prêmio pelo risco do modelo CAPM deverá ser maior do que zero.

⁷ Pela explicação de Fama e MacBeth (1973), uma carteira é eficiente quando nenhuma outra carteira com o mesmo ou maior retorno esperado tem menor dispersão de retorno.

Quando há equilíbrio no mercado, a carteira de mercado é sempre eficiente e se torna o mais conveniente portfólio para se testar as implicações do CAPM. Dessa forma, a equação de teste foi formulada:

$$\overline{\tilde{R}_i - r_f} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{2t}\beta_{it}^2 + \hat{\gamma}_{3t}S(\varepsilon_{it}) + \eta_{it} \quad (15)$$

Onde,

$\overline{\tilde{R}_i - r_f}$ é o retorno excedente médio do ativo i até o instante t, considerando uma taxa livre de risco constante;

$\hat{\gamma}_{0t}$ é o coeficiente linear estimado da regressão no instante t;

$\hat{\gamma}_{1t}$ é o prêmio pelo risco estimado, no instante t, como explicitado na terceira condição;

$\hat{\gamma}_{2t}$ é o prêmio pelo risco estimado, no instante t, do quadrado do beta, a fim de testar a linearidade (primeira condição). Dessa forma, a expectativa desse prêmio deverá ser nula para ratificar a linearidade;

$\hat{\gamma}_{3t}$ é o prêmio da medida de risco (desvio-padrão) não relacionada com o beta do ativo i no instante t. Pela segunda condição, a expectativa desse prêmio também deve ser nula;

η_{it} é o resíduo da regressão, assumindo-se, por definição, média zero e independência com as demais variáveis.

As três condições verificadas por Fama e MacBeth (1973) estão refletidas no modelo de dois fatores que, por sua vez, pressupõe que o mercado de capital seja eficiente, ou seja, que os preços reflitam a informação disponível no mercado (Elton et al., 2004). Entretanto, os estudos empíricos sobre o modelo de dois parâmetros até 1973 não estavam voltados aos testes de eficiência de mercado.

A metodologia inicial de Fama e MacBeth (1973) é semelhante ao teste de Black, Jensen e Scholes (1972), utilizando 20 carteiras igualmente ponderadas sob o *ranking* dos betas individuais das ações no período passado. Adiante, a partir da modelagem da equação (15) por meio da regressão de segundo passo (*cross section*) estimaram-se para cada mês os valores de γ_0 , γ_1 , γ_2 e γ_3 , dado o conhecimento dos betas e desvio-padrão dos resíduos das carteiras,

calculados em período anterior. Dessa forma, os valores esperados (média) de cada um desses estimadores foram testados no período completo e em subperíodos.

A utilização do desvio-padrão amostral (s_i) para a estimação de γ_3 é justificada devido à análise da dispersão do retorno pela equação base de teste do CAPM para séries temporais:

$$\begin{aligned} \tilde{R}_{it} - r_f &= \hat{\alpha}_i + \hat{\beta}_i \tilde{R}_{mt} + \tilde{\varepsilon}_{it} \\ \therefore \text{var}(\tilde{R}_{it} - r_f) &= \hat{\beta}_i^2 \text{var}(\tilde{R}_m) + \text{var}(\tilde{\varepsilon}_i) + 2\hat{\beta}_i \text{cov}(\tilde{R}_m, \tilde{\varepsilon}_i) \end{aligned} \quad (16)$$

Onde, $\text{var}(\tilde{R}_{it} - r_f)$ é a variância amostral do retorno excedente da carteira “i” no instante “t”; $\text{var}(\tilde{\varepsilon}_i)$, variância do erro aleatório da regressão e $\text{cov}(\tilde{R}_m, \tilde{\varepsilon}_i) = 0$.

Fama e MacBeth (1973), por meio dos resultados encontrados, não rejeitaram a segunda condição que versa sobre o beta como única medida de risco. Também o prêmio pelo risco residual não foi estatisticamente diferente de zero, ou seja, o retorno das ações não é relacionado com os riscos específicos (não sistemáticos). Da mesma forma, os valores encontrados para os prêmios dos betas quadráticos não obtiveram relevância.

A conclusão do artigo é que, dada a eficiência da carteira de mercado (*proxy*) ou a proximidade dessa eficiência, não há como rejeitar a possibilidade dos retornos médios das ações refletirem os riscos dos investidores para manter carteiras eficientes. Além disso, a linearidade positiva do retorno esperado e beta foi ratificada, porém o valor da constante foi estatisticamente superior à taxa livre de risco e o prêmio pelo risco do beta de mercado foi significativamente inferior.

3 Procedimentos metodológicos

Este trabalho tem como objetivo testar empiricamente o CAPM no mercado acionário de energia elétrica, por meio das ações negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA), no período de 1994 até 2010, buscando evidenciar o impacto da mudança na legislação do setor energético a partir de 2004. Para tanto, o modelo foi testado no setor sob duas perspectivas: os estudos empíricos de Black, Jensen e Scholes (1972) e a abordagem de Fama e MacBeth (1973). Essas metodologias foram adaptadas em vista de melhor adequar ao contexto no mercado acionário de energia elétrica brasileiro. Os procedimentos detalhados serão especificados a seguir.

3.1 Definição da pesquisa, população e amostra

A pesquisa pode ser classificada como essencialmente quantitativa (quanto à forma de abordagem), empírica (quanto à área da ciência) e exploratória (quanto aos objetivos), já que se utiliza de dado secundário para os métodos estatísticos, aplica o conhecimento teórico e amplia o saber acerca do comportamento no setor de estudo, respectivamente.

A população engloba as ações das empresas do setor elétrico brasileiro, listadas na BOVESPA, que tenham dados de retornos mensais das ações (ordinárias ou preferenciais), a partir do período pós-plano real, em vista da constância do valor da moeda. Optou-se por não segregar entre empresas ordinárias e preferenciais, nem tampouco entre empresas geradoras, transmissoras e distribuidoras, devido à escassez na quantidade de ações.

Os dados foram coletados na base Econômica. As empresas com pouca liquidez⁸ no período de análise foram desconsideradas, em vista de não inviabilizar o cálculo dos retornos. Entre os anos de análise obteve-se uma média de 34 ações a cada período de 12 meses para a formação das carteiras.

⁸ A expressão “pouca liquidez” está relacionada diretamente às empresas que apresentaram ausências de negociações mensais (sem demanda e/ou oferta), impossibilitando o cálculo do retorno.

3.2 Métodos

Os dados foram agrupados no *software Microsoft Excel 2007*. As regressões em séries temporais e *cross-sections* foram desenvolvidas nos *softwares Eviews 3.0* e *SPSS for Windows 15.0*.

3.2.1 Procedimentos gerais

Para fins da análise:

- O preço das ações foi ajustado por proventos (dividendos, juros, *splits etc*) pela base Económica, já que o IBOVESPA também realiza o desconto por proventos;
- A variável independente “carteira de mercado” foi o retorno excedente do IBOVESPA;
- As ações foram agrupadas, igualmente ponderadas, em carteiras; A variável dependente das regressões foi o retorno excedente das carteiras, ou seja, o retorno da carteira menos a taxa livre de risco em cada mês;
- A “taxa livre de risco”, incluída nos modelos, foi considerada o valor efetivo do CDI mensal (Certificado de Depósito Interbancário).

3.2.2 Procedimentos estatísticos

A fim de validar as regressões lineares realizadas, utilizaram-se vários métodos estatísticos descritos detalhadamente a seguir:

- O cálculo dos retornos:

$$R_{it} = \frac{P_{i(t)} - P_{i(t-1)}}{P_{i(t-1)}} \quad (17)$$

Onde, R_{it} é retorno mensal da carteira i no instante t e $P_{i(t)}$ é o preço da carteira i no instante t .

- A média dos retornos efetivos, média dos retornos excedentes das carteiras e média dos estimadores:

$$\overline{\tilde{R}_{it}} = \frac{\sum_{t=1}^n R_{it}}{n} \quad (18)$$

Onde, $\overline{\tilde{R}_{it}}$ é o retorno efetivo médio das ações da carteira i para n observações.

$$\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \frac{\sum_{t=1}^n R_{it} - r_{ft}}{n} \quad (19)$$

Onde, r_f é a taxa livre de risco, considerada o CDI para este trabalho e $\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}}$ é o retorno excedente médio das ações da carteira i para n observações.

$$\overline{\hat{\gamma}_i} = \frac{\sum_{t=1}^n \hat{\gamma}_{it}}{n} \quad (20)$$

Onde, $\overline{\hat{\gamma}_i}$ é o retorno efetivo médio do estimador i para n observações e $\hat{\gamma}_{it}$ é estimador i no instante t.

- O desvio-padrão dos estimadores das regressões e dos retornos das carteiras, de acordo com a equação abaixo:

$$S(X) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X})^2} \quad (21)$$

Onde, $S(X)$ é o desvio-padrão amostral da variável aleatória X; X_i são os valores da variável na amostra e \overline{X} é a média amostral da variável.

- A autocorrelação do prêmio pelos desvios-padrão dos resíduos (análise em regressão de segundo passo):

$$\rho_0(X) = \frac{\text{cov}(X_t, X_{t-1})}{s(X_t)s(X_{t-1})} \quad (22)$$

Onde, $\rho_0(X)$ é a autocorrelação da variável aleatória X; $\text{cov}(X_t, X_{t-1})$ é a covariância amostral da variável aleatória X, considerando um período anterior e $s(X_t)s(X_{t-1})$ é o produto dos desvios-padrão amostrais da variável aleatória no período t e t – 1.

- O método dos mínimos quadrados, ou seja, encontrar a melhor reta, de forma que seja mínima a soma dos quadrados dos erros em relação ao valor esperado da equação, que, para regressão simples, tem-se (SARTORIS, 2003):

$y_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i + \varepsilon_i$ (valores em séries de x – variável independente; y – variável dependente e ε_i – erro aleatório)

$\bar{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\bar{x}$ (valor esperado da equação, referente à média amostral de x e y)

$y_i - \bar{y} = \hat{\beta}(x_i - \bar{x}) + \varepsilon_i$ (diferença entre as duas equações)

$\therefore \varepsilon_i = (y_i - \bar{y}) - \hat{\beta}(x_i - \bar{x})$

$\therefore (\varepsilon_i)^2 = [(y_i - \bar{y}) - \hat{\beta}(x_i - \bar{x})]^2$

$$\therefore \frac{d \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i)^2}{d\hat{\beta}} = \frac{d \sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y}) - \hat{\beta}(x_i - \bar{x})]^2}{d\hat{\beta}} = 0 \quad (23)$$

Onde, $\frac{d \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i)^2}{d\hat{\beta}} = 0$ é a derivada igualada a zero para minimizar o erro ao quadrado.

- O Teste t de *student*, associado aos estimadores da regressão e à média dos estimadores. Descreve-se abaixo a distribuição t de *student*:

De acordo com Mittlehammer (1996), considerando Z e Y duas variáveis aleatórias independentes, sendo $Z \sim N(0,1)$ e $Y \sim \chi^2_{(v)}$ (distribuição qui-quadrado, com v graus de liberdade), então:

$\frac{Z}{\sqrt{Y/V}} \sim t_{(v)}$ (distribuição t de *student* com v graus de liberdade, para números inteiros positivos do parâmetro v).

Para fins de se testar uma média, tem-se:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}, Y = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \sim \chi_{(n-1)} \text{ e } V = n-1$$

$$\therefore t_{(n-1)} \sim \frac{\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} / n-1}} = \frac{\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}}{\sqrt{\frac{S^2}{\sigma^2}}} = \frac{\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}}{\frac{S}{\sigma}} = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \quad (24)$$

$$H_0 : \bar{X} = \mu$$

$$H_1 : \bar{X} \neq \mu$$

Onde, \bar{X} é a média amostral da variável aleatória; μ é a média populacional (valor que se quer testar); σ é o desvio-padrão populacional; S é o desvio-padrão amostral; n é a quantidade de observações na amostra e $S(\bar{X}) = \frac{S(X)}{\sqrt{n}}$.

Para fins de se testar os coeficientes da regressão, têm-se:

$$\frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{S(\hat{\beta}_i)} \sim t_{(n-2)} \quad (25)$$

$$H_0 : \hat{\beta}_i = \beta_i.$$

$$H_1 : \hat{\beta}_i \neq \beta_i.$$

Onde, $\hat{\beta}_i$ é o coeficiente estimado; β_i é o valor que se quer testar e $s(\hat{\beta}_i)$ é o desvio-padrão amostral do estimador.

- O coeficiente de determinação R^2 , para mensurar o quanto a variável independente explica a variável dependente:

De acordo com Sartoris (2003), a relação entre a soma dos quadrados explicados pela regressão e a soma dos quadrados totais equivale ao poder explicativo (R^2), que para uma regressão simples equivale a:

$$R^2 = \frac{SQE}{SQT} = \frac{\hat{\beta}^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (26)$$

Onde, SQE equivale à soma dos quadrados explicados; SQT , à soma dos quadrados totais; $\hat{\beta}^2$, ao quadrado do coeficiente angular estimado e \hat{y}_i , ao valor estimado de y pela reta da regressão para cada observação de x .

- O Teste F (Fisher-Snedecor), para comprovar o poder explicativo de cada regressão ao nível de significância. Descreve-se abaixo a distribuição F:

De acordo com Mittlehammer (1996), considerando $Y_1 \sim \chi^2_{(v_1)}$ e $Y_2 \sim \chi^2_{(v_2)}$, duas variáveis aleatórias, tem-se:

$$\frac{Y_1/V_1}{Y_2/V_2} \sim F_{(v_1, v_2)} \quad (\text{densidade F com } v_1 \text{ graus de liberdade no numerador e } v_2 \text{ graus de}$$

liberdade no denominador, para valores inteiros positivos dos parâmetros v_1 e v_2).

Pelo teorema de Cochran:

$$\frac{SQE}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_{(p)} \quad \text{e} \quad \frac{SQR}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma^2} \sim \chi^2_{(n-p-1)}$$

Dessa forma, fazendo $y_1 = \frac{SQE}{\sigma^2}$ e $y_2 = \frac{SQR}{\sigma^2}$, tem-se $\frac{SQE/p}{SQR/n-p-1} \sim F_{(p, n-p-1)}$ (27)

H_0 : os resíduos são homocedásticos.

H_1 : os resíduos são heterocedásticos.

Onde, SQR é a soma dos quadrados dos resíduos da regressão; σ^2 , a variância de y_i ; n , a quantidade de observações na amostra e p , a quantidade de coeficientes angulares.

- O teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para averiguar a normalidade dos resíduos da regressão linear:

Observa-se a distância absoluta entre a distribuição acumulada F assumida para a amostra (normal padronizada) e a função de distribuição empírica de acordo com o número de observações da amostra (NETO, 1999). A estatística do teste é aplicável apenas para distribuições contínuas, de acordo com os procedimentos abaixo:

$$D_n = \max(D^+, D^-), \quad (28)$$

Onde, $D^+ = \sup_{x^{(i)}} |F(x_i) - F_n(x_i)|$ $D^- = \sup_{x^{(i)}} |F(x_i) - F_n(x_{i-1})|$

H_0 : a distribuição da série testada é normal.

H_1 : a distribuição da série testada não é normal.

x_i	$F_n(x_i)$	$F(x_i)$	$ F(x_i) - F_n(x_i) $	$ F(x_i) - F_n(x_{i-1}) $
x_1	$\frac{1}{n}$	$F(x_1) = P\left(z_1 \leq \frac{x_1 - \bar{x}}{s}\right)$	$ F(x_1) - F_n(x_1) $	$ F(x_1) - 0 $
x_2	$\frac{2}{n}$	$F(x_2) = P\left(z_2 \leq \frac{x_2 - \bar{x}}{s}\right)$	$ F(x_2) - F_n(x_2) $	$ F(x_2) - F_n(x_1) $
x_3	$\frac{3}{n}$	$F(x_3) = P\left(z_3 \leq \frac{x_3 - \bar{x}}{s}\right)$	$ F(x_3) - F_n(x_3) $	$ F(x_3) - F_n(x_2) $
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
x_n	1	$F(x_n) = P\left(z_n \leq \frac{x_n - \bar{x}}{s}\right)$	$ F(x_n) - F_n(x_n) $	$ F(x_n) - F_n(x_{n-1}) $
Máximo			D^+	D^-

Quadro 2 - Detalhamento do teste Kolmogorov-Smirnov

Fonte: elaboração própria

Onde, $F(x_i)$ é a função acumulada teórica, assumida pela amostra; $F_n(x_i)$ é a função acumulada empírica e o valor de $D_n = \max(D^+, D^-)$ é comparado com o valor crítico do *quantis* da distribuição da estatística D (Kolmogorov-Smirnov), ou seja, o D_n deve ser menor ou igual ao D crítico, sob determinado “n” amostral e nível de significância.

- O teste Pesarán-Pesarán (PP) para verificar a homocedasticidade dos resíduos da regressão linear (erros com variância constante):

Para realizar tal teste, regride-se o quadrado dos resíduos (variável dependente) com o quadrado dos valores estimados (variável independente). A verificação da homocedasticidade ocorre a partir da análise do teste F para o R^2 (CORRAR, PAULO E FILHO, 2007).

Optou-se por não avaliar a autocorrelação dos resíduos em série temporal, devido ao estudo aprofundado do comportamento dos resíduos em regressão *cross section* na metodologia

de Fama e MacBeth (1973) e à limitação quanto à possibilidade de se encontrar valores com significâncias inconclusivas no teste mais comum: *Durbin-Watson* (CORRAR, PAULO E FILHO, 2007). Além disso, não é objetivo deste trabalho reformular a relação funcional do CAPM ou incluir outra variável independente, nem tampouco ajustar a série de modo a torná-la estacionária, com equilíbrio estatístico, ou seja, ausência de tendências (SARTORIS, 2003), o que seriam possíveis soluções para a presença de autocorrelações seriais dos resíduos. O objetivo é tão somente testar o CAPM no mercado energético, diante dos pressupostos do modelo.

3.3 Metodologia adaptada dos testes de Black, Jensen e Scholes (1972)

Os procedimentos para a análise empírica do teste de Black, Jensen e Scholes (1972) podem ser descritos da seguinte forma:

1. Cálculo dos betas de mercado de todas as empresas selecionadas no estudo. Os betas individuais foram calculados a partir da razão $\text{cov}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_m) / \text{var}(\tilde{R}_m)$ em cada mês de agosto sob uma amplitude de 24 observações anteriores, iniciando-se em agosto de 1996;
2. Alocação das empresas nas carteiras, conforme valores dos betas em agosto de cada ano. Formaram-se 4 portfólios⁹, a partir de 1996, de forma que a carteira 1 possui ações com os betas de menores valores nos anos de medição e a carteira 4, com os maiores valores. Dessa forma, a cada ano as carteiras podem alterar tanto a quantidade quanto os tipos de ações, de forma a garantir que a carteira 1 possua sempre as ações menos correlacionadas com o mercado e, sucessivamente, proporcionar que a carteira 4 tenha as ações mais correlacionadas. O Quadro 3, a seguir, estabelece a quantidade de ações em cada ano de análise. Nos anos em que a média de ações por carteira foi um número decimal, optou-se por deixar algumas carteiras com um número superior de ações, alocando-as conforme aproximação do valor dos betas;

Ano	Quantidade de ações	Média por carteira
1996	17	4,25
1997	23	5,75
1998	24	6
1999	27	6,75
2000	35	8,75
2001	37	9,25
2002	35	8,75
2003	37	9,25
2004	38	9,5
2005	33	8,25
2006	36	9
2007	40	10
2008	51	12,75
2009	55	13,75

Quadro 3 - Quantidade de ações e alocação das ações nas carteiras
Fonte: elaboração própria

⁹ O estudo original de Black, Jensen e Scholes (1972) formou 10 carteiras, considerando um período de 35 anos. Neste trabalho, em vista da limitação de empresas e do período de abrangência da pesquisa, construíram 4 portfólios.

A Figura 2 abaixo sintetiza o procedimento metodológico para a classificação das carteiras a cada ano, no mercado energético.

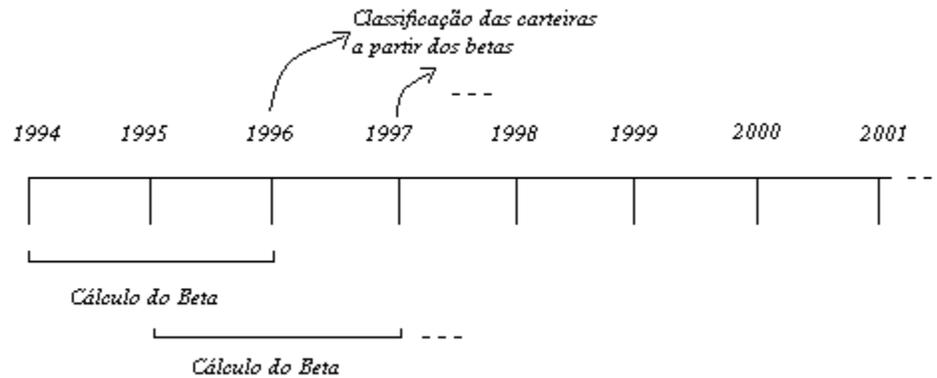


Figura 2 - Metodologia adaptada de Black, Jensen e Scholes (1972)

Fonte: elaboração própria

3. Aplicação empírica do CAPM a partir dos valores de retorno das carteiras classificadas. Quando as observações distanciaram-se mais que 3 desvios-padrão da reta regressiva, houve retirada de *outliers* e reaplicação empírica do CAPM. As aplicações consideraram todo o período e vários subperíodos;
4. Regressão *cross-section* com os valores de beta e os retornos excedentes de cada carteira, para testar a validade do intercepto da regressão e a linearidade crescente do modelo;
5. O gráfico do retorno médio (\bar{R}_i) *versus* o desvio-padrão amostral dos retornos ($S(R_{it})$) para complementar a análise desse teste.

3.4 Metodologia adaptada dos testes de Fama e MacBeth (1973)

Os procedimentos iniciais para a análise de Fama e MacBeth (1973) são semelhantes aos de Black, Jensen e Scholes (1972). Para este trabalho, as etapas podem ser sintetizadas nos seguintes termos:

1. Os dois primeiros passos estabelecidos no item 3.3 anterior;
2. Aplicação empírica do CAPM em regressão *cross section* em quatro expressões:

$$\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \eta_{it} \text{ (Expressão 1)}$$

Onde, $\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}}$ abrange a média do retorno excedente para 24 observações mensais nas carteiras e no IBOV; β_{it} foi obtido a partir da razão $\text{cov}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_m) / \text{var}(\tilde{R}_m)$ para cada carteira, a partir de agosto de 1998, já que as carteiras foram classificadas em agosto de 1996.

$$\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{2t}\beta_{it}^2 + \eta_{it} \text{ (Expressão 2)}$$

Onde, β_{it}^2 é o quadrado do valor obtido de β_{it} para cada carteira.

$$\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{3t}S(\varepsilon_{it}) + \eta_{it} \text{ (Expressão 3)}$$

Onde, $S(\varepsilon_i)$ se refere ao desvio-padrão dos erros da regressão em série temporal de cada carteira e do IBOV, considerando 24 observações.

$$\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{2t}\beta_{it}^2 + \hat{\gamma}_{3t}S(\varepsilon_{it}) + \eta_{it} \text{ (Expressão 4)}$$

Dessa forma, os estimadores das regressões *cross section* foram calculados a cada mês, a partir de agosto de 1998, considerando uma janela móvel de 24 observações para obtenção dos valores de $\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}}$, β_{it} , β_{it}^2 e $S(\varepsilon_{it})$.

3. Cálculo da média dos valores mensais dos estimadores $\hat{\gamma}_0$, $\hat{\gamma}_1$, $\hat{\gamma}_2$ e $\hat{\gamma}_3$, considerando o período completo (1998-2010) e vários subperíodos. Além disso, obteve-se a média da diferença entre o estimador $\hat{\gamma}_0$ e o valor esperado de r_f ($\overline{\hat{\gamma}_0 - E(r_f)}$) e a da diferença entre o estimador $\hat{\gamma}_1$ e o valor esperado do retorno excedente ($\overline{\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)}$). O valor esperado se refere à média das séries temporais, considerando 24 observações anteriores ao instante t;
4. Cálculo dos desvios-padrão dos estimadores e das diferenças obtidas no item 3 acima. Além disso, obteve-se a significância dos testes t para averiguar se as médias obtidas foram estatisticamente diferentes de zero;
5. Aplicação da autocorrelação (ρ_0) dos valores dos estimadores mensais de $\hat{\gamma}_3$. Para esse cálculo considerou-se uma defasagem de 24 meses, em vista de não impor viés ao valor encontrado de ρ_0 para cada correlação, já que os cálculos do $s(\varepsilon_i)$ foram viabilizados numa janela móvel de 24 meses. Dessa forma, as autocorrelações foram aplicadas somente para os grandes períodos, considerando as Expressões 3 e 4.
6. O gráfico do retorno médio (\bar{R}_t) *versus* o desvio-padrão dos retornos ($S(R_{it})$) para também complementar a análise desse teste.
7. Análise dos resultados obtidos diante das pressuposições do CAPM: relação linear, beta como única medida de risco e prêmio pelo risco positivo.

3.5 Procedimentos Metodológicos Iniciais

O primeiro teste foi realizado no mercado de energia, gás e petróleo, utilizando apenas o embasamento do artigo de Black, Jensen e Scholes (1972). Os procedimentos foram: formação de 4 carteiras, retornos mensais e período de análise entre 1994 e 2009. Esse estudo inicial apresentou resultados com várias possibilidades de análise. Entretanto, optou-se por focar mais o tema, concentrando-se tão somente no mercado de energia elétrica.

A partir daí iniciaram-se inúmeras tentativas metodológicas. Dessa forma, testou-se o modelo inicial de Black, Jensen e Scholes (1972) a partir da formação de 4 e de 8 carteiras no setor, considerando os retornos efetivos mensais das carteiras e também os retornos por meio dos logaritmos dos preços. A condição de aceitação da melhor adaptação dos dados para este trabalho foi os resultados obtidos a partir da análise da linearidade na regressão *cross section*. Por conseguinte, a formação em 4 carteiras, utilizando os retornos efetivos mensais, obteve melhor linearidade entre os períodos de análise.

Também se buscou aprimorar o modelo utilizando como método de regressão o CAPM-GARCH (1,1) (*Generalized Conditional Heteroscedasticity*), na hipótese de testar se as séries financeiras de retornos das ações do setor elétrico brasileiro caracterizam-se pela não estacionariedade na média ou exibem movimentos de baixa e elevada volatilidade. Entretanto, os valores de R^2 pelo método dos mínimos quadrados foram maiores em relação ao CAPM-GARCH, fato que se decidiu pela rejeição deste método.

Além disso, a escolha da taxa livre de risco baseou-se na comparação entre três tipos de séries: CDI, Taxa Selic e Poupança. Optou-se pelo CDI já que é a taxa mais utilizada nos trabalhos científicos e não apresentou diferenças significantes em relação às demais.

3.6 Limitações da pesquisa

Este trabalho propõe um estudo aprofundado apenas para o setor de energia elétrica brasileiro, com resultados e conclusões específicas. Dessa forma, os dados foram reduzidos em relação ao mercado acionário como um todo, conforme Quadro 3. Além disso, o estudo utilizou tão somente dados mensais de retornos, viabilizando numa amplitude de 24 observações o cálculo dos betas para cada empresa na alocação das ações nas carteiras e das variáveis independentes para as regressões *cross section* para a análise embasada em Fama e MacBeth (1973).

Ademais, este trabalho tem o objetivo de testar o CAPM no mercado acionário do setor energético diante do período completo e em vários subperíodos, destacando o eixo de 2004 (marco regulatório). Dessa forma, as conclusões estatísticas se direcionam prioritariamente a explorar o comportamento do setor em relação ao CAPM antes e depois do marco. Para tanto, não se fez distinção entre as empresas geradoras, transmissoras e distribuidoras de energia.

Ressalta-se, ainda, que o Ibovespa foi considerado a carteira ótima de mercado, o que direcionou a pesquisa para esse *index* de referência, considerando-o mais eficiente, ou seja, a carteira teórica que possui a melhor relação entre risco e retorno para representar o mercado. Além disso, o CDI foi a aplicação empírica da taxa livre de risco, já que sua dispersão é suficientemente pequena em relação às oscilações do mercado acionário. Ademais, o valor do retorno calculado nas carteiras deste estudo não pressupõe os custos de transações.

4 Discussão dos resultados

4.1 Aplicações de Black, Jensen e Scholes (1972)

Apresentam-se, a seguir, os principais achados a partir da metodologia de análise embasada nos autores Black, Jensen e Scholes (1972), com a finalidade de testar o CAPM no mercado de energia elétrica brasileiro. Para fins didáticos, serão demonstrados, inicialmente, os resultados ensejados nas séries temporais de grandes períodos e, posteriormente, um detalhamento em subperíodos.

4.1.1 Aplicações nos períodos 1996-2010, 1996-2004 e 2004-2010

A Tabela 2 estabelece a aplicação empírica do CAPM com as quatro carteiras nos períodos em referência, com e sem a presença de *outliers*. A carteira 1 foi classificada a partir de *rankings* individuais de menores betas de mercado e, em ordem crescente, a carteira 4 está classificada por meio de ações do mercado energético com maiores betas.

O teste para averiguar a normalidade dos resíduos da regressão, Kolmogorov-Smirnov (KS), obteve resultados significativos, não rejeitando a hipótese nula da normalidade.

O teste para avaliação da homocedasticidade dos resíduos, Pesarán-Pesarán (PP), auferiu, em sua maioria, resultados significativos, não rejeitando a hipótese nula da homocedasticidade. As exceções são a carteira 3 do período 1996-2010 (SC e SSO), a carteira 4 do período 1996-2010 (SC) e a carteira 3 do período 2004-2010 (SC). Tais resultados não enfraquecem os coeficientes estimados, tendo em vista que os valores do teste estão próximos do nível de significância de 5%, mormente após a retirada de *outliers*. Entretanto, destaca-se a carteira 3 do período 2004-2010 (SSO) que, provavelmente, influencia o fraco desempenho do teste também da carteira 3 do período 1996-2010 (SSO).

Os testes F das regressões validam os valores do poder explicativo de R^2 , uma vez que se rejeita a hipótese nula de que R^2 seja igual a zero, ao nível de significância de 5%. Deve-se frisar que os valores de R^2 são crescentes da carteira 1 até a carteira 4 nos períodos 1996-2010 e 1996-2004. Entre 2004-2010, encontra-se uma equivalência nos valores de R^2 nas carteiras.

Tabela 2 - Resultados e testes das regressões em séries temporais para grandes períodos

	Carteiras	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\beta}_i$	$\overline{\tilde{R}_i - \tilde{r}_f}$	R^2	sig. Teste F	sig. $t(\hat{\alpha}_i)$	sig. $t(\hat{\beta}_i)$	sig. Teste KS	sig. Teste F(PP)	Outliers	
SÉRIE COMPLETA (SC)	1996/2010	1	0,0077	0,3407	0,0094	0,1623	0,0000	0,1690	0,0000	0,5666	0,3997	Set/98
		2	0,0119	0,5440	0,0146	0,3110	0,0000	0,0431	0,0000	0,1218	0,7669	Set/03;Jan/04
		3	0,0031	0,7784	0,0070	0,5397	0,0000	0,5521	0,0000	0,4568	0,0077	Jan/99; Mar/99
		4	0,0050	0,9005	0,0095	0,5579	0,0000	0,3904	0,0000	0,3498	0,0305	Jan/99; Mar/99
	IBOV		1,0000	0,0050								
	1996/2004	1	-0,0024	0,3061	-0,0014	0,1405	0,0002	0,7768	0,0002	0,9703	0,3209	Set/98
		2	0,0071	0,5310	0,0087	0,2788	0,0000	0,4519	0,0000	0,6443	0,9053	Set/03
		3	-0,0038	0,8357	-0,0011	0,5749	0,0000	0,6351	0,0000	0,6511	0,2597	Jan/99;
		4	0,0032	0,9765	0,0063	0,6277	0,0000	0,6984	0,0000	0,4727	0,1714	Jan/99; Mar/99
	IBOV		1	0,0031								
2004/2010	1	0,0206	0,4332	0,0239	0,2376	0,0000	0,0026	0,0000	0,2181	0,3773	Mar/06	
	2	0,0181	0,5777	0,0225	0,4435	0,0000	0,0015	0,0000	0,4353	0,8541	Dez/06	
	3	0,0133	0,5977	0,0178	0,4432	0,0000	0,0220	0,0000	0,2891	0,0497		
	4	0,0088	0,6694	0,0138	0,3579	0,0000	0,2541	0,0000	0,3437	0,4698		
IBOV		1,0000	0,0075									
SÉRIE SEM OUTLIERS (SSO)	1996/2010	1	0,0092	0,3387	0,0110	0,1716	0,0000	0,0888	0,0000	0,5086	0,4909	
		2	0,0080	0,5400	0,0108	0,3687	0,0000	0,1207	0,0000	0,6065	0,1200	Jan/99;Jul/99
		3	0,0035	0,7900	0,0058	0,5794	0,0000	0,4689	0,0000	0,6995	0,0337	
		4	0,0050	0,9038	0,0077	0,5895	0,0000	0,3560	0,0000	0,5079	0,1712	
	IBOV		1,0000	0,0050								
	1996/2004	1	0,0002	0,3040	0,0012	0,1515	0,0001	0,9780	0,0001	0,8660	0,3853	
		2	0,0027	0,5172	0,0041	0,3210	0,0000	0,7470	0,0000	0,8692	0,5367	
		3	-0,0009	0,8841	0,0002	0,6323	0,0000	0,9071	0,0000	0,4159	0,6591	
		4	0,0035	0,9849	0,0030	0,6777	0,0000	0,6382	0,0000	0,7633	0,5457	
	IBOV		1	0,0031								
2004/2010	1	0,0178	0,4533	0,0215	0,2875	0,0000	0,0049	0,0000	0,3157	0,3624	Mar/05	
	2	0,0162	0,5598	0,0201	0,4651	0,0000	0,0025	0,0000	0,7438	0,9471	Set/04	
	3	0,0133	0,5977	0,0178	0,4432	0,0000	0,0220	0,0000	0,2891	0,0497		
	4	0,0088	0,6694	0,0138	0,3579	0,0000	0,2541	0,0000	0,3437	0,4698		
IBOV		1,0000	0,0075									

Fonte: elaboração própria

Dessa forma, o modelo CAPM mantém um padrão no valor do poder explicativo entre as carteiras apenas no período 2004-2010.

Os coeficientes do intercepto das regressões são estatisticamente diferentes de zero entre as carteiras 1 e 3 do período 2004-2010, o que indica ineficiência do valor da taxa livre de risco (CDI). Deve-se salientar que os valores de $\hat{\alpha}_i$ são positivos para esse período e que, para as demais regressões, o $\hat{\alpha}_i$ é estatisticamente igual a zero, ao nível de significância de 5%.

Em contrapartida, para todos os valores de $\hat{\beta}_i$ rejeita-se a hipótese nula do teste t. Ademais, os valores de $\hat{\beta}_i$ não ultrapassam, em nenhum período, o valor unitário relativo ao IBOV e mantêm valores crescentes entre as carteira 1 e 4.

A Tabela 3 demonstra a regressão de segundo passo (*cross section*) entre os maiores períodos. Destaca-se que os maiores valores de R^2 encontram-se nos períodos 1996-2010 (SSO), 2004-2010 (SC) e 2004-2010 (SSO), primordialmente nos dois últimos. O teste F nesses períodos confirma o poder explicativo ao nível de significância de 5%. Além disso, o teste t especifica que os coeficientes $\hat{\gamma}_0$ e $\hat{\gamma}_1$ são estatisticamente diferentes de zero para os períodos em análise.

Tabela 3 - **Resultados e testes das regressões *cross sections* para grandes períodos**

REGRESSÃO DE SEGUNDO PASSO						
Período	1996-2010		1996-2004		2004-2010	
	SC	SSO	SC	SSO	SC	SSO
$\hat{\gamma}_0$	0,0148	0,0145	0,0008	0,0020	0,0367	0,0335
$\hat{\gamma}_1$	-0,0079	-0,0091	0,0031	0,0004	-0,0299	-0,0265
<i>sig. t</i> ($\hat{\gamma}_0$)	0,0517	0,0049	0,9059	0,4441	0,0030	0,0008
<i>sig. t</i> ($\hat{\gamma}_1$)	0,2941	0,0384	0,7322	0,8996	0,0157	0,0047
R^2	0,3491	0,8066	0,0449	0,0062	0,8913	0,9511
<i>sig. Teste F</i>	0,2941	0,0384	0,7322	0,8996	0,0157	0,0047

Fonte: elaboração própria

Dessa forma, os interceptos mantêm valores positivos, ratificando a análise em séries temporais, e os prêmios pelo mercado possuem valores negativos. Esses resultados violam as condições do modelo CAPM, entretanto, percebe-se pelos Gráficos 9, 10 e 11, a seguir, que a linearidade é mantida, ainda que de forma decrescente.

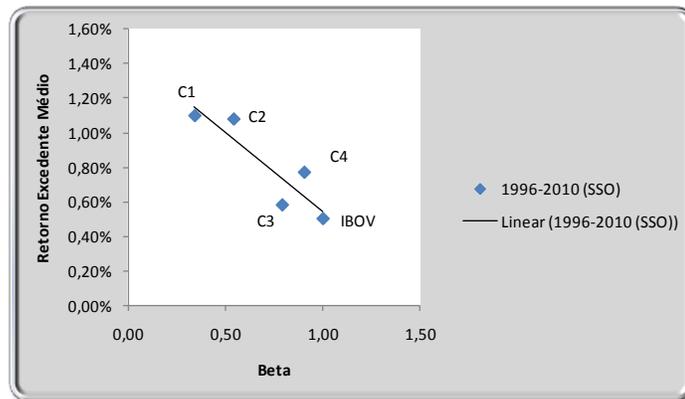


Gráfico 9 - **Regressão cross section** no período 1996-2010 (SSO)
Fonte: elaboração própria

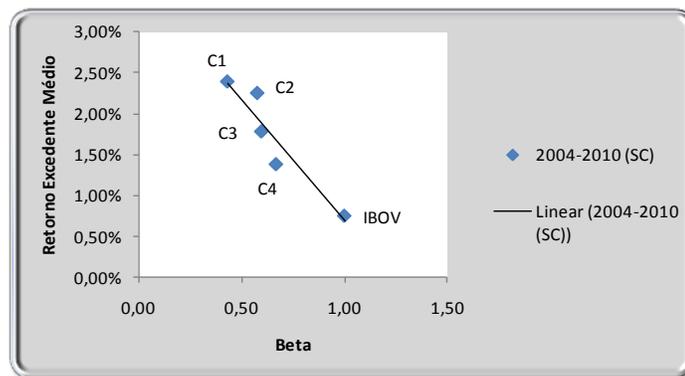


Gráfico 10 - **Regressão cross section** no período 2004-2010 (SC)
Fonte: elaboração própria

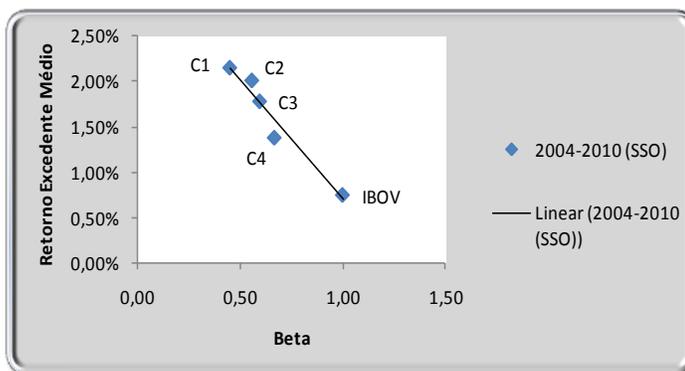


Gráfico 11 - **Regressão cross section** no período 2004-2010 (SSO)
Fonte: elaboração própria

Analisando esses três períodos que seguem linearidade a partir do gráfico retorno médio *versus* desvio-padrão (aproximação da CML), observa-se que as carteiras com betas menores possuem mais eficiência, principalmente na comparação da carteira IBOV (vide Gráficos 12, 13 e 14, abaixo). Notadamente, as carteiras 1 e 2 mantêm retornos médios superiores ao IBOV, apesar de possuir desvios-padrão e betas de mercado inferiores.

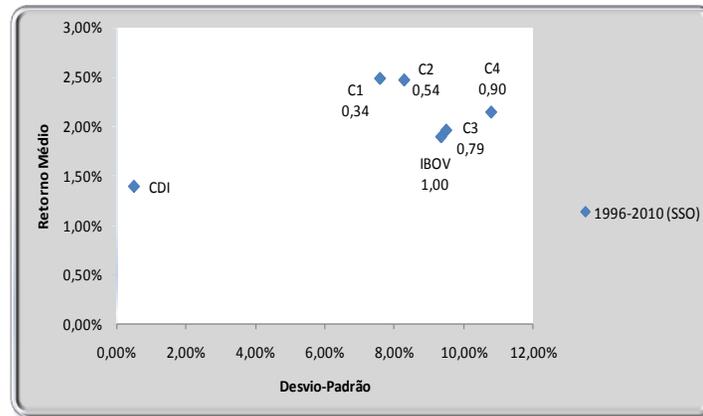


Gráfico 12 - **Relação da eficiência das carteiras no período 1996-2010 (SSO)**¹⁰

Fonte: elaboração própria

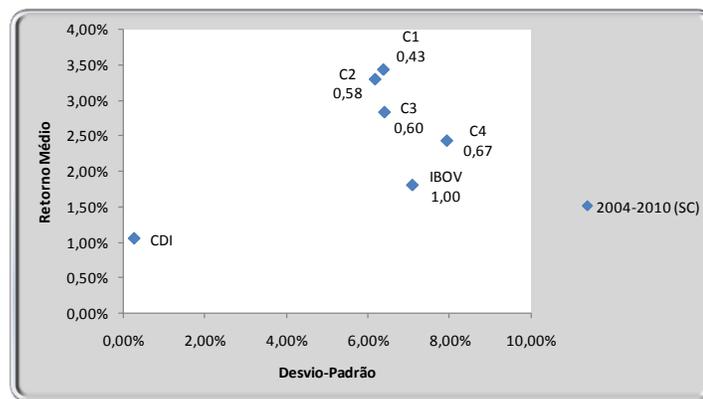


Gráfico 13 - **Relação da eficiência das carteiras no período 2004-2010 (SC)**

Fonte: elaboração própria

¹⁰ Os números decimais abaixo de cada carteira equivalem ao valor do beta de mercado correspondente para o período.

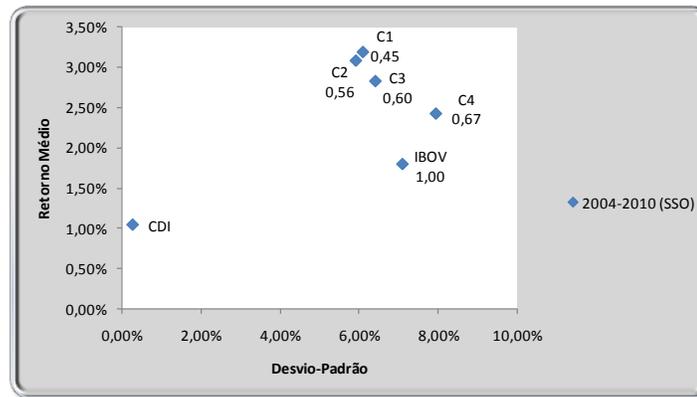


Gráfico 14 - Relação da eficiência das carteiras no período 2004-2010 (SSO)

Fonte: elaboração própria

4.1.2 Aplicações em períodos bianuais

A Tabela 4 demonstra a aplicação empírica do CAPM seguindo períodos seqüenciais de 2 anos para cada carteira. O teste KS dos resíduos obteve resultados suficientes para atestar a normalidade dos resíduos em todas as aplicações do modelo. Da mesma forma, o teste PP comprovou homocedasticidade para todas as carteiras, à exceção da carteira 4, período 2000-2002 (SC). A presença de *outliers* foi ínfima em relação às aplicações em períodos maiores, devido à redução na quantidade de observações em cada regressão.

Destaca-se a inviabilidade do poder explicativo de R^2 , por meio da análise do teste F, principalmente na carteira 1 do período 2000-2002 (SC). Em cada biênio, os valores de R^2 mantêm padrão de ascendência entre as carteiras 1 e 4. Entretanto, a partir de 2006, os valores ficam mais equiparados e também as carteiras 1 e 2 passam a assumir os maiores R^2 do período.

Para o teste $t(\hat{\alpha}_i)$, destaca-se o período 2004-2006 (SC), em que as carteiras de 1 a 3 rejeitam a hipótese nula de $\hat{\alpha}_i$ ser zero. Para tal período, o intercepto assume valores positivos, atribuindo inaplicabilidade à taxa livre de risco (CDI).

Os valores de $\hat{\beta}_i$ para os biênios obedecem a uma ordem ascendente entre as carteiras 1 e 4, exceto a partir de 2006, período em que os valores ficam mais equivalentes. Em alguns períodos, o valor de $\hat{\beta}_i$ das carteiras supera o do IBOV, a exemplo da carteira 4 de 2002-2004.

Tabela 4 - Resultados e testes das regressões em séries temporais para períodos bianuais

	Carteiras	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\beta}_i$	$\overline{\tilde{R}_i - \tilde{r}_f}$	R^2	sig. Teste F	sig. $t(\hat{\alpha}_i)$	sig. $t(\hat{\beta}_i)$	sig. Teste KS	sig. Teste F(PP)	Outliers	
SC	1996/1998	1	-0,0036	0,4757	0,0012	0,2625	0,0105	0,8329	0,0105	0,9976	0,8930	
		2	0,0015	0,7835	0,0093	0,4681	0,0002	0,9307	0,0002	0,7390	0,4460	
		3	-0,0092	0,7776	-0,0015	0,5704	0,0000	0,5223	0,0000	0,9756	0,7586	
		4	-0,0070	0,9144	0,0021	0,7041	0,0000	0,5801	0,5801	0,9856	0,4286	Out/96
		IBOV		1,0000	0,0099							
SSO	1996/1998	1	-0,0036	0,4757	0,0012	0,2625	0,0105	0,8329	0,0105	0,9976	0,8930	
		2	0,0015	0,7835	0,0093	0,4681	0,0002	0,9307	0,0002	0,7390	0,4460	
		3	-0,0092	0,7776	-0,0015	0,5704	0,0000	0,5223	0,0000	0,9756	0,7586	
		4	-0,0151	0,9271	-0,0053	0,8134	0,0000	0,1351	0,0000	0,9544	0,8079	
		IBOV		1,0000	0,0099							
	1998/2000	1	-0,0032	0,3104	0,0001	0,1455	0,0658	0,8877	0,0658	0,9982	0,2919	
		2	-0,0018	0,5025	0,0036	0,3205	0,0039	0,9342	0,0039	0,9972	0,6219	
		3	-0,0024	0,8704	0,0069	0,6011	0,0000	0,9104	0,0000	0,8429	0,7935	
		4	0,0054	1,0713	0,0168	0,6458	0,0000	0,8230	0,0000	0,7114	0,8749	
		IBOV		1,0000	0,0107							
SC	2000/2002	1	-0,0079	0,1070	-0,0112	0,0292	0,4246	0,5410	0,4246	0,9234	0,3717	
		2	0,0071	0,4045	-0,0054	0,3458	0,0025	0,5427	0,0025	0,9545	0,9999	
		3	0,0019	0,8321	-0,0237	0,5235	0,0001	0,9088	0,0001	0,9407	0,5450	
		4	-0,0039	0,6724	-0,0246	0,5051	0,0001	0,7788	0,0001	0,5431	0,0062	
		IBOV		1,0000	-0,0308							
	2002/2004	1	-0,0026	0,3050	0,0043	0,1030	0,1263	0,8685	0,1263	0,7435	0,7295	
		2	0,0181	0,4140	0,0275	0,0799	0,1808	0,4696	0,1808	0,2959	0,5183	Set/03
		3	-0,0058	0,8604	0,0137	0,5469	0,0000	0,6766	0,0000	0,3797	0,5436	
		4	0,0038	1,1836	0,0307	0,6432	0,0000	0,8058	0,0000	0,5800	0,9135	
		IBOV		1,0000	0,0227							
SSO	2002/2004	1	-0,0026	0,3050	0,0043	0,1030	0,1263	0,8685	0,1263	0,7435	0,7295	
		2	0,0011	0,3686	0,0092	0,1481	0,0698	0,9445	0,0698	0,6354	0,7707	jan/04
		3	-0,0058	0,8604	0,0137	0,5469	0,0000	0,6766	0,0000	0,3797	0,5436	
		4	0,0038	1,1836	0,0307	0,6432	0,0000	0,8058	0,0000	0,5800	0,9135	
		IBOV		1,0000	0,0227							

	<i>Carteiras</i>	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\beta}_i$	$\overline{\tilde{R}_i - \tilde{r}_f}$	R^2	<i>sig. Teste F</i>	<i>sig. t($\hat{\alpha}_i$)</i>	<i>sig. t($\hat{\beta}_i$)</i>	<i>sig. Teste KS</i>	<i>sig. Teste F(PP)</i>	<i>Outliers</i>	
SC	2004/2006	1	0,0514	0,3112	0,0544	0,0744	0,1973	0,0029	0,1973	0,5778	0,1596	
		2	0,0268	0,6274	0,0329	0,4110	0,0007	0,0182	0,0007	0,7253	0,7376	
		3	0,0230	1,1024	0,0337	0,7380	0,0000	0,0201	0,0000	0,9969	0,5112	
		4	0,0121	1,0464	0,0223	0,5131	0,0001	0,4041	0,0001	0,7880	0,5815	
	IBOV		1,0000	0,0098								
SC	2006/2008	1	0,0027	0,5410	0,0092	0,4222	0,0006	0,7455	0,0006	0,9477	0,6947	
		2	0,0189	0,5030	0,0250	0,2860	0,0071	0,0765	0,0071	0,3635	0,8838	Dez/06
		3	0,0095	0,4151	0,0146	0,2455	0,0138	0,3170	0,0138	0,4073	0,6131	
		4	-0,0025	0,6909	0,0059	0,3995	0,0009	0,8212	0,0009	0,9726	0,8716	
	IBOV		1,0000	0,0121								
SSO	2006/2008	1	0,0027	0,5410	0,0092	0,4222	0,0006	0,7455	0,0006	0,9477	0,6947	
		2	0,0132	0,4293	0,0177	0,3417	0,0034	0,1075	0,0034	0,8708	0,6991	
		3	0,0095	0,4151	0,0146	0,2455	0,0138	0,3170	0,0138	0,4073	0,6131	
		4	-0,0025	0,6909	0,0059	0,3995	0,0009	0,8212	0,0009	0,9726	0,8716	
	IBOV		1,0000	0,0121								
SC	2008/2010	1	0,0076	0,4415	0,0080	0,5477	0,0000	0,3072	0,0000	0,4954	0,7291	
		2	0,0092	0,5735	0,0096	0,6090	0,0000	0,2843	0,0000	0,4885	0,8873	
		3	0,0049	0,3850	0,0052	0,4624	0,0003	0,5211	0,0003	0,9850	0,9192	
		4	0,0129	0,4503	0,0132	0,2652	0,0100	0,3542	0,0100	0,7399	0,8437	
	IBOV		1,0000	0,0008								

Fonte: elaboração própria

Ao se verificar a regressão de segundo passo (*cross section*) para os biênios (vide Tabela 5), atesta-se que apenas os períodos 1998-2000 (SC) e 2002-2004 (SSO) atingem valores elevados de R^2 , com significância estatística para o teste F, ao nível de 5%. Observa-se, contudo, que o teste $t(\hat{\gamma}_0)$ discrimina a não rejeição da hipótese nula de que o estimador seja zero, ao nível de significância de 5%. Esse resultado implica na eficiência da taxa livre de risco (CDI) para os períodos em análise.

Tabela 5 - Resultados e testes das regressões *cross sections* para períodos bianuais

REGRESSÃO DE SEGUNDO PASSO														
Período	1996-1998		1998-2000		2000-2002		2002-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010	
	SC	SSO	SC	SC	SC	SSO	SC	SSO	SC	SSO	SC	SSO	SC	SSO
$\hat{\gamma}_0$	-0,0054	-0,0017	-0,0061	-0,0038	0,0079	-0,0030	0,0614	0,0202	0,0166	0,0146				
$\hat{\gamma}_1$	0,0121	0,0055	0,0182	-0,0254	0,0158	0,0257	-0,0377	-0,0109	-0,0077	-0,0128				
$sig. t(\hat{\gamma}_0)$	0,6481	0,9207	0,1651	0,5687	0,5354	0,5250	0,0284	0,1737	0,0844	0,0559				
$sig. t(\hat{\gamma}_1)$	0,4233	0,7893	0,0215	0,0624	0,3293	0,0152	0,1232	0,5713	0,4995	0,2027				
R^2	0,2218	0,0276	0,8670	0,7375	0,3104	0,8937	0,6017	0,1181	0,1636	0,4680				
$sig. Teste F$	0,4233	0,7893	0,0215	0,0624	0,3293	0,0152	0,1232	0,5713	0,4995	0,2027				

Fonte: elaboração própria

Destaca-se também que os valores do prêmio de mercado, além de serem estatisticamente diferentes de zero, possuem percentuais positivos. Dessa forma, percebe-se que tais períodos não violam as condições da taxa livre de risco, nem do prêmio positivo do CAPM, indicando linearidade crescente, conforme Gráficos 15 e 16, a seguir.

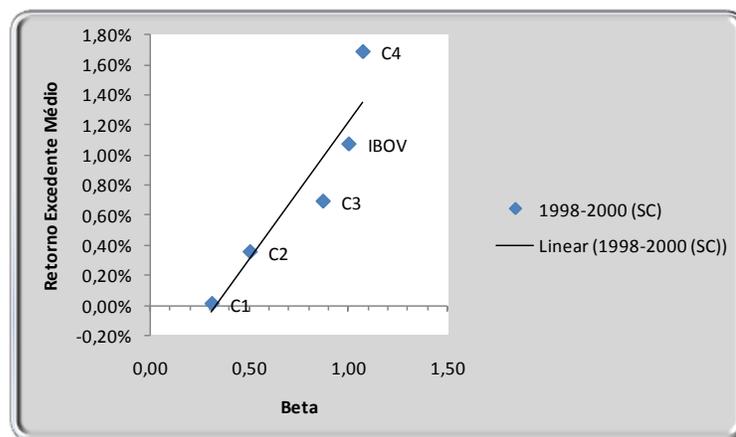


Gráfico 15 - Regressão *cross section* no período 1998-2000 (SC)

Fonte: elaboração própria

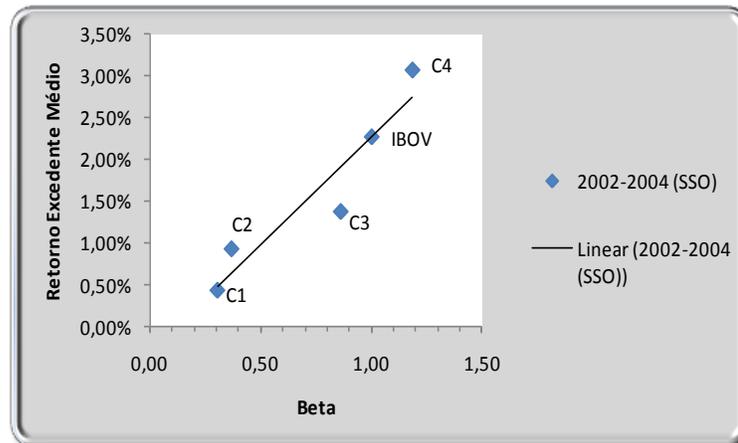


Gráfico 16 - Regressão *cross section* no período 2002-2004 (SSO)

Fonte: elaboração própria

Dessa forma, ao analisar os gráficos do retorno médio *versus* desvio-padrão (aproximação da CML) de cada biênio (vide Gráficos 17 e 18), verifica-se que a carteira IBOV mantém maior eficiência entre as demais carteiras, o que viabiliza a aplicação do CAPM no mercado energético com tal índice de mercado (*proxy*) para os períodos em destaque.

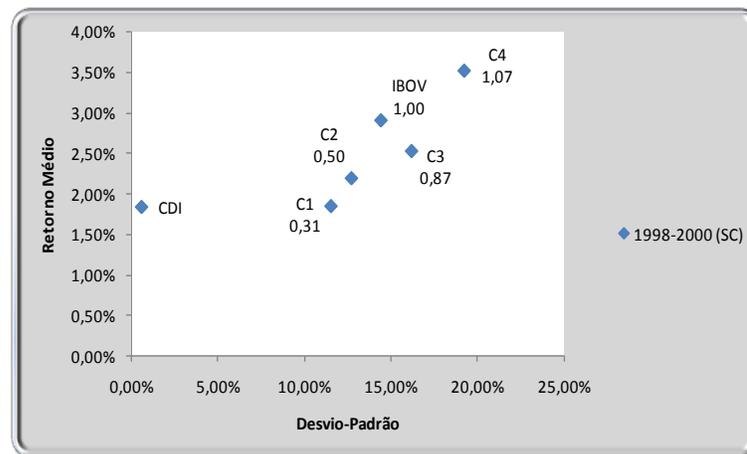


Gráfico 17 - Relação da eficiência das carteiras no período 1998-2000 (SC)

Fonte: elaboração própria

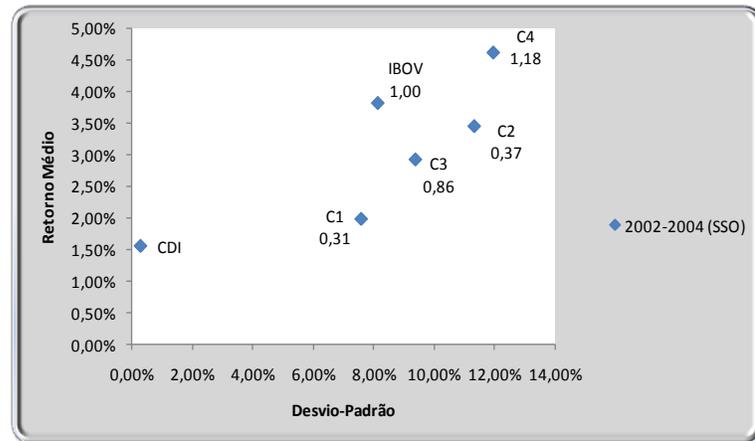


Gráfico 18 - Relação da eficiência das carteiras no período 2002-2004 (SSO)
Fonte: elaboração própria

4.1.3 Aplicações em períodos de quatro anos

As regressões para esta análise foram geradas em cada carteira a partir das séries temporais de quatro anos com janela móvel de dois anos, ou seja, períodos de 1996-2000, 1998-2002, 2000-2004 e assim sucessivamente. A Tabela 6 demonstra que tanto o teste da normalidade dos resíduos (KS), quanto da homocedasticidade (PP) obtiveram valores estatisticamente relevantes para não rejeitar a hipótese nula, em todos os períodos.

O poder explicativo de R^2 só não foi estatisticamente diferente de zero para os períodos 2000-2004 (SC e SSO) e 2002-2006 (SC e SSO), ambos para a carteira 1. Mesmo assim, os valores do teste F ficaram próximos do nível de significância de 5%. Ademais, observa-se a mesma tendência de crescimento dos valores de R^2 em cada período de regressões entre as carteiras 1 e 4 até o ano de 2006. No período entre 2006-2010 ocorre uma equivalência nos valores de R^2 , tornando as carteiras 1 e 2 com níveis um pouco mais alto no poder explicativo.

Quanto à significância do teste $t(\hat{\alpha}_i)$, enfatiza-se o período 2004-2008, pois entre as carteiras 1 e 3 rejeita-se a hipótese nula, desqualificando a aplicação do CDI como taxa livre de risco. Salienta-se que os valores encontrados do $\hat{\alpha}_i$ foram todos positivos para esse período.

Tabela 6 - Resultados e testes das regressões em séries temporais para períodos de quatro anos

	Carteiras	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\beta}_i$	$\overline{\tilde{R}_i - \tilde{r}_f}$	R^2	sig. Teste F	sig. t($\hat{\alpha}_i$)	sig. t($\hat{\beta}_i$)	sig. Teste KS	sig. Teste F(PP)	Outliers	
SC	1996/2000	1	-0,0031	0,3644	0,0006	0,1826	0,0025	0,8214	0,0025	0,9995	0,3257	
	2	0,0003	0,5944	0,0064	0,3680	0,0000	0,9829	0,0000	0,9996	0,9744		
	3	-0,0059	0,8402	0,0027	0,5901	0,0000	0,6367	0,0000	0,8770	0,4709	Jan/99	
	4	-0,0010	1,0202	0,0095	0,6554	0,0000	0,9374	0,0000	0,4542	0,6159	Jan/99	
	IBOV		1,0000	0,0103								
SSO	1996/2000	1	-0,0031	0,3644	0,0006	0,1826	0,0025	0,8214	0,0025	0,9995	0,3257	
	2	0,0003	0,5944	0,0064	0,3680	0,0000	0,9829	0,0000	0,9996	0,9744		
	3	-0,0005	0,9140	0,0056	0,6830	0,0000	0,9653	0,0000	0,9869	0,6920		
	4	0,0045	1,0947	0,0117	0,7292	0,0000	0,7085	0,0000	0,3873	0,9817		
	IBOV		1,0000	0,0103								
SC	1998/2002	1	-0,0030	0,2503	-0,0055	0,1106	0,0209	0,8118	0,0209	0,9757	0,4724	
	2	0,0038	0,4655	-0,0009	0,3213	0,0000	0,7557	0,0000	0,9819	0,0797		
	3	0,0002	0,8554	-0,0084	0,5820	0,0000	0,9891	0,0000	0,6762	0,2931	Jan/99	
	4	0,0057	0,9535	-0,0039	0,6068	0,0000	0,6774	0,0000	0,4460	0,1074		
	IBOV		1,0000	-0,0100								
SSO	1998/2002	1	-0,0030	0,2503	-0,0055	0,1106	0,0209	0,8118	0,0209	0,9757	0,4724	
	2	0,0038	0,4655	-0,0009	0,3213	0,0000	0,7557	0,0000	0,9819	0,0797		
	3	0,0075	0,9424	-0,0058	0,6798	0,0000	0,5132	0,0000	0,8527	0,7881		
	4	0,0057	0,9535	-0,0039	0,6068	0,0000	0,6774	0,0000	0,4460	0,1074		
	IBOV		1,0000	-0,0100								
SC	2000/2004	1	-0,0026	0,2005	-0,0034	0,0713	0,0666	0,7842	0,0666	0,6116	0,6080	
	2	0,0128	0,4270	0,0111	0,1633	0,0044	0,3215	0,0044	0,3245	0,3804	Set/03	
	3	-0,0016	0,8314	-0,0050	0,5484	0,0000	0,8701	0,0000	0,5397	0,5329		
	4	0,0067	0,9041	0,0030	0,5793	0,0000	0,5125	0,0000	0,8217	0,2228		
	IBOV		1,0000	-0,0041								
SSO	2000/2004	1	-0,0026	0,2005	-0,0034	0,0713	0,0666	0,7842	0,0666	0,6116	0,6080	
	2	0,0037	0,3796	0,0018	0,2350	0,0006	0,6939	0,0006	0,5391	0,4416	Jan/04	
	3	-0,0016	0,8314	-0,0050	0,5484	0,0000	0,8701	0,0000	0,5397	0,5329		
	4	0,0067	0,9041	0,0030	0,5793	0,0000	0,5125	0,0000	0,8217	0,2228		
	IBOV		1,0000	-0,0041								

	<i>Carteiras</i>	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\beta}_i$	$\overline{\tilde{R}_i - \tilde{r}_f}$	R^2	<i>sig. Teste F</i>	<i>sig. t($\hat{\alpha}_i$)</i>	<i>sig. t($\hat{\beta}_i$)</i>	<i>sig. Teste KS</i>	<i>sig. Teste F(PP)</i>	<i>Outliers</i>	
SC	2002/2006	1	0,0249	0,2743	0,0293	0,0640	0,0827	0,0355	0,0827	0,7518	0,6942	
		2	0,0222	0,4925	0,0302	0,1464	0,0073	0,0950	0,0073	0,1629	0,5129	Set/03
		3	0,0085	0,9377	0,0237	0,5946	0,0000	0,3204	0,0000	0,9360	0,8416	
		4	0,0083	1,1246	0,0265	0,5893	0,0000	0,4260	0,0000	0,4982	0,9102	
		IBOV		1,0000	0,0162							
SSO	2002/2006	1	0,0249	0,2743	0,0293	0,0640	0,0827	0,0355	0,0827	0,7518	0,6942	
		2	0,0141	0,4559	0,0213	0,2180	0,0009	0,1496	0,0009	0,8317	0,7920	Jan/04
		3	0,0085	0,9377	0,0237	0,5946	0,0000	0,3204	0,0000	0,9360	0,8416	
		4	0,0083	1,1246	0,0265	0,5893	0,0000	0,4260	0,0000	0,4982	0,9102	
		IBOV		1,0000	0,0162							
SC	2004/2008	1	0,0273	0,4081	0,0318	0,1436	0,0079	0,0048	0,0079	0,4666	0,3763	
		2	0,0227	0,5697	0,0289	0,3496	0,0000	0,0028	0,0000	0,3995	0,8078	
		3	0,0155	0,7883	0,0241	0,4999	0,0000	0,0387	0,0000	0,2969	0,1262	
		4	0,0045	0,8828	0,0141	0,4514	0,0000	0,6237	0,0000	0,8148	0,7847	
		IBOV		1,0000	0,0109							
SC	2006/2010	1	0,0056	0,4714	0,0086	0,4810	0,0000	0,3025	0,0000	0,9565	0,5881	
		2	0,0137	0,5556	0,0173	0,4688	0,0000	0,0381	0,0000	0,3464	0,9887	Dez/06
		3	0,0073	0,3973	0,0099	0,3547	0,0000	0,2145	0,0000	0,5938	0,8735	
		4	0,0062	0,5209	0,0096	0,3013	0,0001	0,4755	0,0001	0,6910	0,5925	Out/09
		IBOV		1,0000	0,0064							
SSO	2006/2010	1	0,0056	0,4714	0,0086	0,4810	0,0000	0,3025	0,0000	0,9565	0,5881	
		2	0,0107	0,5289	0,0136	0,5175	0,0000	0,0655	0,0000	0,3396	0,5261	
		3	0,0073	0,3973	0,0099	0,3547	0,0000	0,2145	0,0000	0,5938	0,8735	
		4	0,0023	0,5302	0,0058	0,3605	0,0000	0,7738	0,0000	0,9451	0,6735	
		IBOV		1,0000	0,0064							

Fonte: elaboração própria

Os valores de $\hat{\beta}_i$ seguem o mesmo padrão de ascendência entre as carteiras, chegando a superar algumas vezes o valor unitário do IBOV. Ressalta-se que no período 2006-2010 os valores de beta ficam mais equivalentes.

A regressão de segundo passo (*cross section*), conforme Tabela 7 e Gráficos 19 e 20, especifica dois períodos com R^2 alto e significativo, conforme teste F ao nível de 5%: 1996-2000 (SSO) e 2004-2008 (SC). Em 1996-2000 (SSO), têm-se insignificância do $\hat{\gamma}_0$ e prêmio positivo de mercado ($\hat{\gamma}_1$). Já em 2004-2008 (SC), tem-se o contrário: significância do $\hat{\gamma}_0$, com valor positivo, e prêmio negativo de mercado. Dessa forma, 1996-2000 (SSO) mantém linearidade crescente com CDI aplicável ao modelo, enquanto que 2004-2008 (SC) possui linearidade decrescente com inaplicabilidade do CDI ao modelo.

Tabela 7 - Resultados e testes das regressões *cross sections* para períodos de quatro anos

Período	REGRESSÃO DE SEGUNDO PASSO											
	1996-2000		1998-2002		2000-2004		2002-2006		2004-2008		2006-2010	
	SC	SSO	SC	SSO	SC	SSO	SC	SSO	SC	SC	SSO	
$\hat{\gamma}_0$	-0,0032	-0,0033	-0,0017	-0,0019	0,0040	-0,0010	0,0328	0,0272	0,0486	0,0143	0,0122	
$\hat{\gamma}_1$	0,0119	0,0129	-0,0057	-0,0045	-0,0054	-0,0009	-0,0100	-0,0050	-0,0364	-0,0067	-0,0057	
$sig. t(\hat{\gamma}_0)$	0,5109	0,3548	0,7009	0,6507	0,6587	0,8393	0,0103	0,0201	0,0023	0,0895	0,0645	
$sig. t(\hat{\gamma}_1)$	0,1104	0,0374	0,3711	0,4237	0,6548	0,8940	0,2402	0,5374	0,0116	0,5196	0,4675	
R^2	0,6270	0,8100	0,2684	0,2215	0,0754	0,0069	0,4156	0,1385	0,9110	0,1499	0,1867	
$sig. Teste F$	0,1104	0,0374	0,3711	0,4237	0,6548	0,8940	0,2402	0,5374	0,0116	0,5196	0,4675	

Fonte: elaboração própria

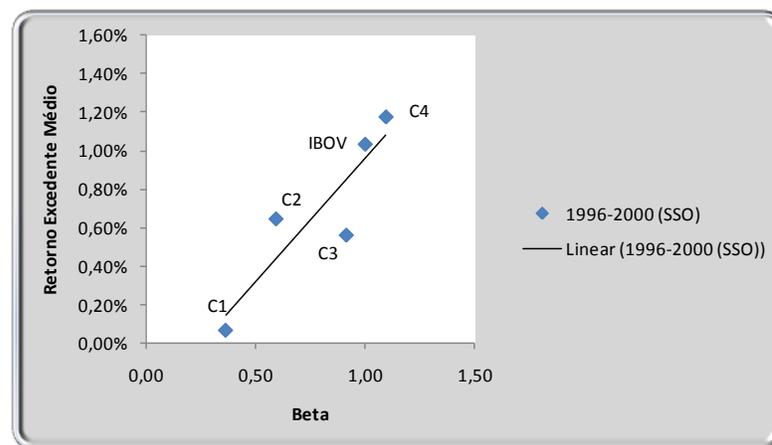


Gráfico 19 - Regressão *cross section* no período 1996-2000 (SSO)

Fonte: elaboração própria

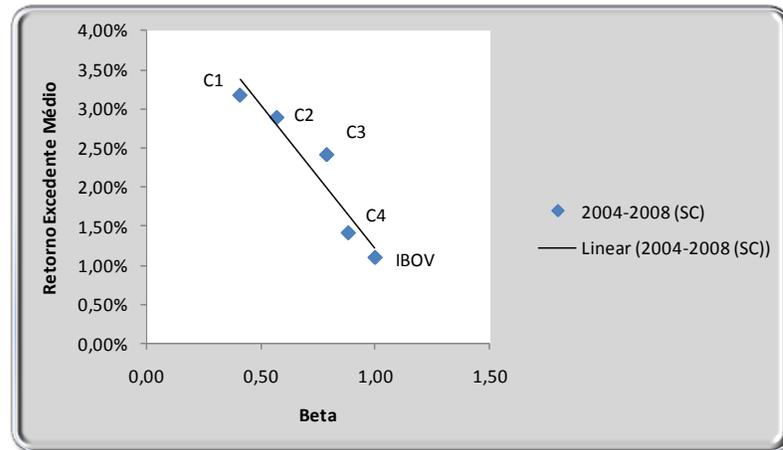


Gráfico 20 - **Regressão cross section no período 2004-2008 (SC)**

Fonte: elaboração própria

Em conseqüência, ao se analisar o Gráfico 21 abaixo, percebe-se que no período 1996-2000 (SSO) há maior eficiência no IBOV em relação às demais carteiras, ou seja, o IBOV se torna a carteira de melhor custo *versus* benefício no que se refere ao risco e retorno. Em contrapartida, o Gráfico 22 especifica pouca eficiência do IBOV, a exemplo da carteira 2 que possui desvio-padrão semelhante ao IBOV e retorno médio superior.

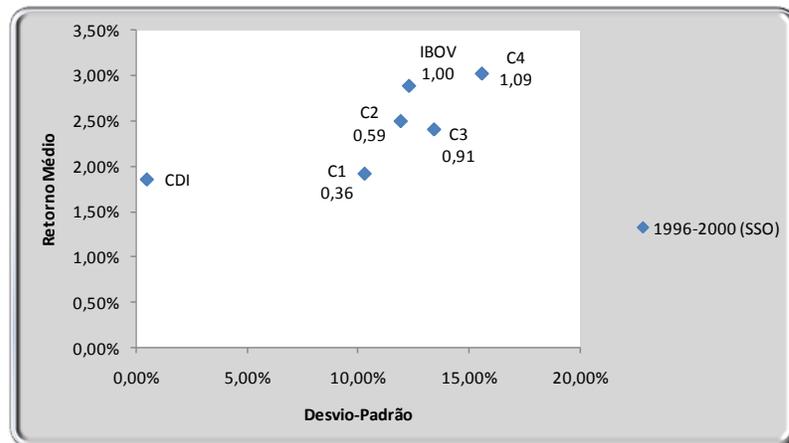


Gráfico 21 - Relação da eficiência das carteiras no período 1996-2000 (SSO)
Fonte: elaboração própria

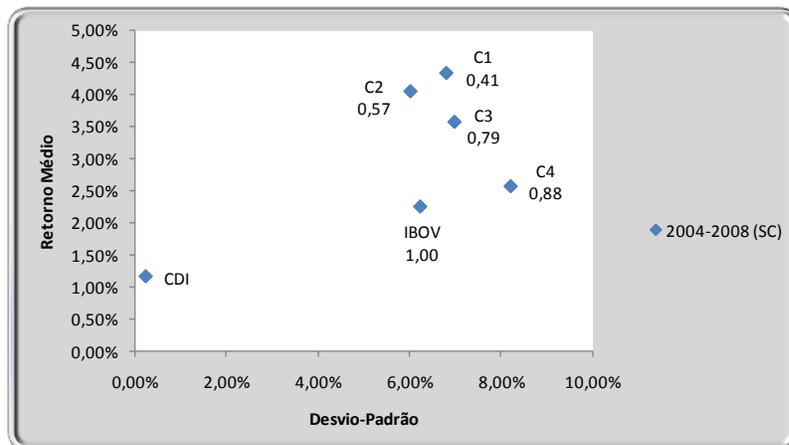


Gráfico 22 - Relação da eficiência das carteiras no período 2004-2008 (SC)
Fonte: elaboração própria

4.2 Aplicações de Fama e MacBeth (1973)

Apresentam-se, a seguir, os principais achados a partir da metodologia de análise embasada nos autores Fama e MacBeth (1973), com a finalidade de testar o CAPM no mercado de energia elétrica brasileiro. Para fins didáticos, serão demonstrados, inicialmente, os resultados das regressões de segundo passo (*cross section*) a partir de períodos longos e, posteriormente, um detalhamento em subperíodos. Os resultados nos períodos expressam o comportamento do modelo de acordo com uma janela móvel de regressões com 24 observações mensais, conforme metodologia aplicável descrita anteriormente (item 3.3).

4.2.1 Aplicações nos períodos 1998-2010, 1998-2004 e 2004-2010

A Tabela 8 especifica a aplicação do teste para os períodos em referência, de acordo com a média dos estimadores das quatro expressões de regressão de segundo passo (*cross section*), para fins de aplicação do teste do CAPM no mercado energético. Foram utilizados, como variável dependente, dados de retorno excedente das quatro carteiras e do IBOV.

Ao se analisar a média dos estimadores $\hat{\gamma}_0$ e $\hat{\gamma}_1$, percebe-se que os períodos 1998-2010 e 2004-2010 mantêm comportamentos semelhantes, com valores positivos para o $\overline{\hat{\gamma}_0}$ e negativos para $\overline{\hat{\gamma}_1}$. Já o período 1998-2004 mantém comportamento adverso, com valores negativos para $\overline{\hat{\gamma}_0}$ e positivos para $\overline{\hat{\gamma}_1}$ em todas as expressões de regressão.

Tabela 8 - Resultados e testes das médias dos estimadores das regressões *cross sections*, considerando grandes períodos

Período	Estatísticas											
	Expressão 1			Expressão 2			Expressão 3			Expressão 4		
	1998-2010	1998-2004	2004-2010	1998-2010	1998-2004	2004-2010	1998-2010	1998-2004	2004-2010	1998-2010	1998-2004	2004-2010
$\hat{\gamma}_0$	0,0128	-0,0079	0,0337	0,0151	-0,0130	0,0435	0,0075	-0,0081	0,0233	0,0165	-0,0020	0,0353
$\hat{\gamma}_1$	-0,0080	0,0037	-0,0197	-0,0119	0,0249	-0,0492	-0,0047	0,0042	-0,0137	-0,0204	0,0059	-0,0470
$\hat{\gamma}_2$				0,0005	-0,0174	0,0186				0,0065	-0,0080	0,0211
$\hat{\gamma}_3$							0,0616	0,0006	0,1235	0,0297	-0,0575	0,1181
$\hat{\gamma}_0 - E(r_f)$	-0,0014	-0,0245	0,0221	-0,0136	-0,0340	0,0070	0,0475	-0,0160	0,1119	0,0156	-0,0740	0,1065
$\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)$	-0,0109	0,0066	-0,0286	-0,0148	0,0279	-0,0581	-0,0077	0,0071	-0,0226	-0,0233	0,0088	-0,0559
$s(\hat{\gamma}_0)$	0,0298	0,0202	0,0224	0,0590	0,0197	0,0710	0,0248	0,0174	0,0209	0,0669	0,0486	0,0773
$s(\hat{\gamma}_1)$	0,0215	0,0205	0,0152	0,1372	0,0564	0,1792	0,0211	0,0212	0,0169	0,1828	0,1367	0,2177
$s(\hat{\gamma}_2)$				0,0883	0,0451	0,1145				0,1287	0,1076	0,1464
$s(\hat{\gamma}_3)$							0,1554	0,1469	0,1392	0,2770	0,3061	0,2119
$s(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,0319	0,0225	0,0211	0,0882	0,0440	0,1138	0,1564	0,1480	0,1380	0,2776	0,3062	0,2113
$s(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0252	0,0169	0,0191	0,1408	0,0548	0,1826	0,0236	0,0165	0,0202	0,1858	0,1389	0,2198
$sig. t(\hat{\gamma}_0)$	0,0000	0,0013	0,0000	0,0025	0,0000	0,0000	0,0004	0,0002	0,0000	0,0035	0,7241	0,0002
$sig. t(\hat{\gamma}_1)$	0,0000	0,1325	0,0000	0,2985	0,0003	0,0227	0,0079	0,0976	0,0000	0,1813	0,7155	0,0711
$sig. t(\hat{\gamma}_2)$				0,9462	0,0015	0,1717				0,5456	0,5287	0,2248
$sig. t(\hat{\gamma}_3)$							0,0000	0,9738	0,0000	0,1983	0,1131	0,0000
$sig. t(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,6105	0,0000	0,0000	0,0649	0,0000	0,6033	0,0004	0,3582	0,0000	0,4994	0,0424	0,0001
$sig. t(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0000	0,0014	0,0000	0,2070	0,0000	0,0087	0,0001	0,0004	0,0000	0,1328	0,5901	0,0343
$\rho_0(\hat{\gamma}_3)$							-0,0875	-0,0128	-0,3002	0,0671	0,0981	-0,0205

Fonte: elaboração própria

Comparando os valores de $\overline{\hat{\gamma}_0}$ entre os períodos 1998-2004 e 2004-2010, percebe-se que os valores absolutos de 1998-2004 são bastante inferiores e mais próximos de zero.

Considerando a Expressão 1 (regressão própria do CAPM), averigua-se que no período 1998-2010 não há diferença estatística entre a média do estimador intercepto e a média da taxa livre de risco (CDI), ou seja $\overline{\hat{\gamma}_0} = \overline{E(r_f)}$. Já no período 1998-2004 ocorre a seguinte relação: $\overline{\hat{\gamma}_0} < \overline{E(r_f)}$. Considerando o valor ínfimo do estimador $\overline{\hat{\gamma}_0}$, pode-se perceber que o CDI está mais bem aplicável ao modelo para tal período. Já no período 2004-2010, tem-se $\overline{\hat{\gamma}_0} > \overline{E(r_f)}$, fato que constata a rejeição da aplicabilidade do CDI ao modelo.

A média do estimador do prêmio de mercado no período 1998-2004, da Expressão 1, não foi estatisticamente diferente de zero, conforme teste $t(\hat{\gamma}_1)$. Apesar da média do estimador não ter sido validada, a média da diferença entre $\hat{\gamma}_1$ e $E(R_m - r_f)$ foi validada, com valor próximo de zero em relação ao período 2004-2010. Isso significa que os estimadores a cada mês divergiram pouco em relação ao valor esperado do prêmio efetivo do mercado.

Na Expressão 2, tem-se o teste da linearidade do modelo. Percebe-se que apenas no período 1998-2004 há uma perspectiva clara da não linearidade do modelo, conforme a significância do teste $t(\overline{\hat{\gamma}_2})$. No período 2004-2010, verifica-se que os desvios-padrão dos estimadores são altos em relação ao do período anterior, o que desqualifica a média dos estimadores. Isso demonstra a ausência de tendência não-linear ao período 2004-2010.

Na Expressão 3, testa-se o modelo CAPM incluindo o desvio-padrão dos resíduos como variável independente. Destaca-se o período 2004-2010, em que há significância estatística em todos os estimadores, o que comprova a influência dos resíduos na explicação dos retornos médios. Além disso, o coeficiente de autocorrelação no estimador $\hat{\gamma}_3$ possui valor suficiente para indicar que os prêmios pelo risco dos resíduos do passado explicam parte do comportamento atual. Dessa forma, o beta de mercado não pode ser considerado como única medida de risco para tal período.

Utiliza-se, na Expressão 4, todas as variáveis independentes do teste (beta de mercado, beta de mercado ao quadrado e desvio-padrão dos resíduos). Ocorrem resultados semelhantes à Expressão 3, uma vez que a média do estimador $\hat{\gamma}_3$ é estatisticamente diferente de zero no

modelo para o período 2004-2010. Atenta-se para o teste $t(\hat{\gamma}_2)$, pois revela a insignificância da não-linearidade.

A Tabela 9 abaixo especifica todas as expressões de regressão para o período 2006-2010, em vista de averiguar o comportamento do mercado acionário energético ao considerar desde o período 2004, tendo o mês de agosto de 2006 como observação inicial, já que existe uma janela móvel de 24 meses.

Tabela 9 - Resultados e testes das médias dos estimadores das regressões *cross sections*, considerando o período 2006-2010

Estatísticas				
	Expressão 1	Expressão 2	Expressão 3	Expressão 4
Período	2006-2010	2006-2010	2006-2010	2006-2010
$\hat{\gamma}_0$	0,0287	0,0286	0,0230	0,0273
$\hat{\gamma}_1$	-0,0208	-0,0139	-0,0170	-0,0243
$\hat{\gamma}_2$		-0,0072		0,0026
$\hat{\gamma}_3$			0,0771	0,0875
$\hat{\gamma}_0 - E(r_f)$	0,0183	-0,0176	0,0049	0,0771
$\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)$	-0,0257	-0,0188	-0,0219	-0,0292
$s(\hat{\gamma}_0)$	0,0242	0,0819	0,0237	0,0929
$s(\hat{\gamma}_1)$	0,0142	0,2083	0,0159	0,2624
$s(\hat{\gamma}_2)$		0,1314		0,1760
$s(\hat{\gamma}_3)$			0,1446	0,2505
$s(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,0228	0,1313	0,0111	0,2502
$s(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0213	0,2109	0,0232	0,2643
$sig.t(\hat{\gamma}_0)$	0,0000	0,0196	0,0000	0,0474
$sig.t(\hat{\gamma}_1)$	0,0000	0,6460	0,0000	0,5240
$sig.t(\hat{\gamma}_2)$		0,7057		0,9190
$sig.t(\hat{\gamma}_3)$			0,0006	0,0195
$sig.t(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,0000	0,3591	0,0036	0,0380
$sig.t(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0000	0,5392	0,0000	0,4470
$\rho_0(\hat{\gamma}_3)$			-0,3575	-0,1033

Fonte: elaboração própria

Em todas as expressões, a média do estimador $\hat{\gamma}_0$ possui valores positivos, enquanto que a média do estimador $\hat{\gamma}_1$ tem valores negativos. Na Expressão 1, há significância estatística na média dos dois estimadores. Há evidências de que $\hat{\gamma}_0 > E(r_f)$ e $\hat{\gamma}_1 < E(R_m - r_f)$, ou seja, o

intercepto tende a ser superior à taxa livre de risco (CDI) e o estimador do prêmio de mercado tende a possuir valores inferiores ao efetivamente previsto na média das séries temporais.

A Expressão 2 não possui relevância estatística no período, comprovada pelos altos valores do desvio-padrão dos estimadores e pela significância da média dos Testes t. Esse resultado confirma a linearidade do modelo ao período.

Por outro lado, a Expressão 3 no período possui bastante significância estatística no Teste t dos estimadores, além de revelar um importante valor absoluto no coeficiente de autocorrelação do estimador $\hat{\gamma}_3$. Essa averiguação constata a influência dos resíduos na explicação dos retornos médios, como também verificado no período 2004-2010. Na Expressão 4, a significância da média do estimador $\hat{\gamma}_3$ também é estatisticamente diferente de zero.

4.2.2 Aplicações em períodos bianuais

A Tabela 10 demonstra os resultados a partir das expressões das regressões, seguindo períodos bianuais em sequência para janelas móveis de 24 meses. A Expressão 1 especifica insignificância da média do estimador $\hat{\gamma}_1$ apenas para o período 2002-2004. Entretanto, nesse período os valores de $\overline{\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)}$ são os menores, em valores absolutos, na relação com os demais períodos para a Expressão 1. Dessa forma, igualmente como ocorreu no período 1998-2004, o período 2002-2004 discrimina que, apesar da média do estimador não ter sido validada, a média da diferença entre $\hat{\gamma}_1$ e $E(R_m - r_f)$ foi significativa e muito próximo de zero, em valores absolutos. Destaca-se ainda que o desvio-padrão de $\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)$ é o menor na relação entre os períodos, o que valida ainda mais a média. Isso significa que os estimadores, a cada mês, divergiram pouco em relação ao valor esperado do prêmio efetivo do mercado.

Tabela 10 - Resultados e testes das médias dos estimadores das regressões *cross sections*, considerando períodos bianuais

Período	Estatísticas											
	Expressão 1						Expressão 2					
	1998-2000	2000-2002	2002-2004	2004-2006	2006-2008	2008-2010	1998-2000	2000-2002	2002-2004	2004-2006	2006-2008	2008-2010
$\hat{\gamma}_0$	-0,0298	0,0125	-0,0065	0,0438	0,0489	0,0085	-0,0278	-0,0005	-0,0116	0,0734	0,0685	-0,0114
$\hat{\gamma}_1$	0,0228	-0,0106	-0,0017	-0,0176	-0,0290	-0,0125	0,0145	0,0418	0,0209	-0,1198	-0,0790	0,0512
$\hat{\gamma}_2$							0,0069	-0,0423	-0,0188	0,0703	0,0301	-0,0445
$\hat{\gamma}_3$												
$\overline{\hat{\gamma}_0 - E(r_f)}$	-0,0498	-0,0019	-0,0218	0,0297	0,0372	-0,0005	-0,0131	-0,0568	-0,0340	0,0561	0,0185	-0,0536
$\overline{\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)}$	0,0233	-0,0087	0,0053	-0,0345	-0,0437	-0,0078	0,0150	0,0437	0,0279	-0,1366	-0,0937	0,0560
$s(\hat{\gamma}_0)$	0,0150	0,0071	0,0079	0,0141	0,0169	0,0079	0,0159	0,0214	0,0094	0,0216	0,0990	0,0242
$s(\hat{\gamma}_1)$	0,0121	0,0158	0,0171	0,0173	0,0137	0,0090	0,0450	0,0767	0,0388	0,0522	0,2735	0,0709
$s(\hat{\gamma}_2)$							0,0330	0,0573	0,0251	0,0310	0,1733	0,0487
$s(\hat{\gamma}_3)$												
$s(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,0159	0,0074	0,0080	0,0147	0,0160	0,0081	0,0328	0,0570	0,0252	0,0313	0,1738	0,0484
$s(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0153	0,0092	0,0064	0,0121	0,0137	0,0082	0,0403	0,0783	0,0315	0,0491	0,2721	0,0721
$sig. t(\overline{\hat{\gamma}_0})$	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9098	0,0000	0,0000	0,0025	0,0307
$sig. t(\overline{\hat{\gamma}_1})$	0,0000	0,0034	0,6375	0,0000	0,0000	0,0000	0,1269	0,0137	0,0145	0,0000	0,1704	0,0018
$sig. t(\overline{\hat{\gamma}_2})$							0,3185	0,0015	0,0013	0,0000	0,4031	0,0002
$sig. t(\overline{\hat{\gamma}_3})$												
$sig. t(\overline{\hat{\gamma}_0 - E(r_f)})$	0,0000	0,2094	0,0000	0,0000	0,0000	0,7460	0,0623	0,0001	0,0000	0,0000	0,6066	0,0000
$sig. t(\overline{\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)})$	0,0000	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0001	0,0812	0,0119	0,0002	0,0000	0,1053	0,0009

Período	Expressão 3						Expressão 4					
	1998-2000	2000-2002	2002-2004	2004-2006	2006-2008	2008-2010	1998-2000	2000-2002	2002-2004	2004-2006	2006-2008	2008-2010
$\hat{\gamma}_0$	-0,0183	0,0044	-0,0107	0,0238	0,0426	0,0033	-0,0041	0,0015	-0,0046	0,0513	0,0594	-0,0048
$\hat{\gamma}_1$	0,0170	-0,0055	0,0008	-0,0072	-0,0264	-0,0076	-0,0111	0,0275	0,0073	-0,0924	-0,0768	0,0282
$\hat{\gamma}_2$							0,0142	-0,0307	-0,0129	0,0582	0,0333	-0,0281
$\hat{\gamma}_3$	-0,0913	0,0817	0,0126	0,2164	0,0854	0,0687	-0,1007	0,0165	-0,0980	0,1795	0,1555	0,0195
$\hat{\gamma}_0 - E(r_f)$	-0,1113	0,0672	-0,0026	0,2023	0,0738	0,0597	-0,1207	0,0020	-0,1132	0,1654	0,1438	0,0104
$\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f)$	0,0175	-0,0036	0,0079	-0,0240	-0,0410	-0,0028	-0,0106	0,0294	0,0143	-0,1092	-0,0915	0,0330
$s(\hat{\gamma}_0)$	0,0153	0,0148	0,0144	0,0142	0,0129	0,0133	0,0816	0,0212	0,0151	0,0196	0,1181	0,0393
$s(\hat{\gamma}_1)$	0,0124	0,0173	0,0259	0,0173	0,0120	0,0138	0,1758	0,1260	0,0997	0,0481	0,3389	0,1419
$s(\hat{\gamma}_2)$							0,0949	0,1118	0,1137	0,0272	0,2236	0,1063
$s(\hat{\gamma}_3)$	0,0559	0,1086	0,1919	0,0593	0,1510	0,1407	0,0631	0,2299	0,4741	0,0665	0,2280	0,2581
$s(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,0562	0,1091	0,1913	0,0596	0,1499	0,1409	0,0631	0,2298	0,4737	0,0669	0,2280	0,2581
$s(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0159	0,0153	0,0112	0,0121	0,0125	0,0136	0,1739	0,1286	0,1077	0,0440	0,3373	0,1446
$sig. t(\hat{\gamma}_0)$	0,0000	0,1601	0,0014	0,0000	0,0000	0,2335	0,8086	0,7347	0,1477	0,0000	0,0215	0,5532
$sig. t(\hat{\gamma}_1)$	0,0000	0,1333	0,8753	0,0520	0,0000	0,0126	0,7608	0,2960	0,7231	0,0000	0,2783	0,3410
$sig. t(\hat{\gamma}_2)$							0,4705	0,1917	0,5825	0,0000	0,4737	0,2088
$sig. t(\hat{\gamma}_3)$	0,0000	0,0012	0,7501	0,0000	0,0109	0,0252	0,0000	0,7289	0,3220	0,0000	0,0028	0,7153
$sig. t(\hat{\gamma}_0 - E(r_f))$	0,0000	0,0061	0,9471	0,0000	0,0243	0,0494	0,0000	0,9660	0,2537	0,0000	0,0052	0,8456
$sig. t(\hat{\gamma}_1 - E(R_m - r_f))$	0,0000	0,2581	0,0023	0,0000	0,0000	0,3198	0,7683	0,2748	0,5211	0,0000	0,1970	0,2756

Fonte: elaboração própria

Ainda na Expressão 1, o período 2008-2010 revela insignificância no Teste $t(\overline{\hat{\gamma}_0} - E(r_f))$, ou seja, o valor de $\overline{\hat{\gamma}_0}$ é igual a $\overline{E(r_f)}$, estatisticamente. Entretanto, o valor de $\overline{\hat{\gamma}_0}$ e de $s(\hat{\gamma}_0)$, para o mesmo período, são próximos de zero em relação aos demais períodos. Ocorre o mesmo resultado para o período 2000-2002. Nesses casos, o CDI apresenta-se aplicável.

Na Expressão 2, constata-se uma tendência não-linear nos períodos 2000-2002, 2002-2004, 2004-2006 e 2008-2010. Destaca-se o período 2000-2002, pois há uma aceitação do modelo não-linear com rejeição da média do estimador $\hat{\gamma}_0$, a partir do Teste t. Dessa forma, no período 2000-2002, o CDI é bem aplicável como taxa livre de risco, apesar dos indícios de não-linearidade.

Os resultados da Expressão 3 revelam grande influência dos resíduos nos períodos 1998-2000 e 2004-2006, conforme significância do Teste $t(\overline{\hat{\gamma}_3})$. Também, o desvio-padrão desse estimador revela pequenos valores em relação aos demais períodos, o que qualifica ainda mais a média para os períodos.

O período 2002-2004 não possui significância estatística para a média do estimador $\hat{\gamma}_3$, o que denota não influência dos resíduos, respaldada também pelo elevado valor do desvio-padrão do estimador em relação aos demais períodos. Entretanto, o período 2008-2010 revela significância na média dos estimadores $\hat{\gamma}_1$ e $\hat{\gamma}_3$, em detrimento da média do estimador $\hat{\gamma}_0$. Além disso, verifica-se que o valor de $\overline{\hat{\gamma}_0}$ é muito próximo de zero. Dessa forma, o CDI se apresenta aplicável ao período 2008-2010 e os resíduos juntamente com o prêmio de mercado conseguem explicar bem os retornos médios do período, conforme significância do Teste $t(\overline{\hat{\gamma}_1} - E(R_m - r_f))$, ou seja, o prêmio médio de mercado estimado se iguala estatisticamente ao prêmio de mercado efetivo.

Por conseguinte, a Expressão 4 demonstra um resultado bastante significativo para o período 2004-2006. Em análise, verifica-se que tal período mantém constância na significância, dentro das quatro expressões de teste. Dessa forma, constata-se que no período 2004-2006 ocorrem os seguintes resultados:

- Significância na média do estimador $\hat{\gamma}_0$, com valores positivos nas expressões, ou seja, $\overline{\hat{\gamma}_0} > \overline{E(r_f)}$;

- Prêmio médio de mercado estimado significativo e com valores negativos nas expressões;
- Indícios de não-linearidade;
- Beta não é a única medida de risco, uma vez que os resíduos influenciam demasiadamente os retornos médios.

O Gráfico 23, a seguir, estabelece a relação entre desvio-padrão *versus* retorno médio do período 2002-2006, o que abrange o teste em janela móvel de 24 meses no período 2004-2006. Percebe-se que há uma ineficiência da carteira IBOV, destacando-se a carteira 1, que possui desvio-padrão semelhante ao IBOV, porém desempenha um retorno médio superior.

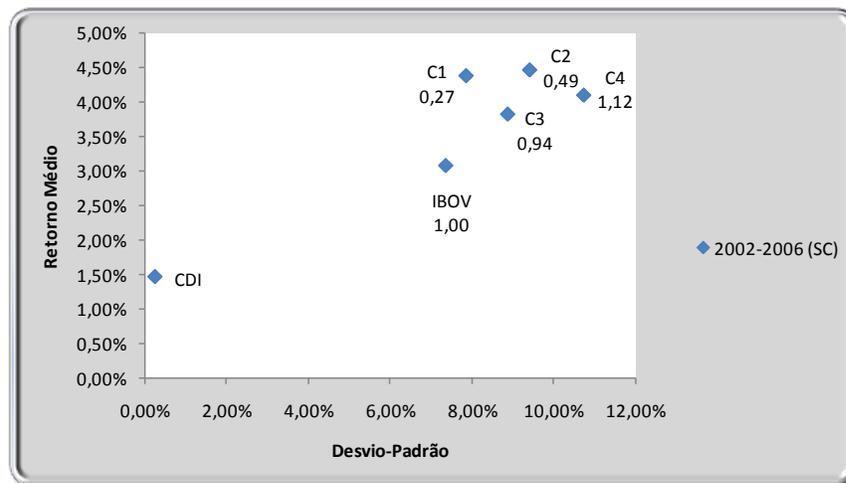


Gráfico 23 - Regressão *cross section* no período 2002-2006 (SC)

Fonte: elaboração própria

5 Considerações finais

Ao se analisar a metodologia de Black, Jensen e Scholes (1972) para todo o período, percebe-se que os valores de $\hat{\alpha}_i$ são considerados zero. Entretanto, na perspectiva da regressão de segundo passo (*cross section*), o valor de $\hat{\gamma}_0$ é diferente de zero e positivo. Por outro lado, $\hat{\gamma}_1$ apresenta valor negativo. Além disso, observa-se a influência dos resíduos na regressão em série temporal, a partir do Teste Pesarán-Pesarán.

Na metodologia de Fama e MacBeth (1973), percebe-se que $\overline{\hat{\gamma}_0}$ possui valor positivo, enquanto que $\overline{\hat{\gamma}_1}$, negativo, na aplicação do modelo CAPM. Destaca-se ainda que, a partir da Expressão 3 ($\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{3t}S(\varepsilon_{it}) + \eta_{it}$), há indícios da influência dos resíduos na explicação dos retornos médios.

Dessa forma, constatam-se, nesse período, os seguintes resultados:

- Valor positivo do intercepto;
- Valor negativo do prêmio pelo mercado estimado;
- Linearidade decrescente;
- Influência dos resíduos na explicação do retorno.

No período 1996-2004, observa-se que na metodologia de Black, Jensen e Scholes (1972), o valor de $\hat{\alpha}_i$ é estatisticamente zero, além de não se comprovar a linearidade. Entretanto, no subperíodo 1996-2000 encontra-se linearidade crescente, já que o prêmio de mercado estimado foi positivo. Além disso, nesse mesmo período o CDI torna-se aplicável, com $\hat{\gamma}_0$ estatisticamente zero, e o IBOV apresenta-se como a carteira mais eficiente. Da mesma forma, ocorre com o subperíodo 1998-2000: linearidade crescente e a carteira IBOV como a mais eficiente.

A partir da metodologia de Fama e MacBeth (1973), percebe-se que o valor de $\overline{\hat{\gamma}_0}$ tende a zero na Expressão 1 ($\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \eta_{it}$), o que torna o CDI aplicável. Já na aplicação da Expressão 2 ($\overline{\tilde{R}_{it} - \tilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{2t}\beta_{it}^2 + \eta_{it}$), há uma tendência não-linear. No subperíodo 1998-2000, apesar da aplicabilidade do modelo CAPM, os resíduos influenciam sobremaneira os

retornos médios, o que significa uma abrangência entre 1996 e 2000, devido à janela móvel. Ademais, o período 2000-2002 apresenta tendência não-linear e influência dos resíduos na explicação dos retornos médios (Expressões 2 e 3, respectivamente). Nesse período o CDI apresenta-se aplicável nas Expressões 1, 2 e 3, com a rejeição da $\widehat{\gamma}_0$.

Dessa forma, pode-se concluir, sinteticamente, que no período 1996-2004 ocorreram os seguintes resultados:

- Não-linearidade no período completo e no subperíodo 2000-2002 (abrangência entre os anos 1998-2002), ambos com boa aplicabilidade do CDI;
- Linearidade crescente nos subperíodos 1996-2000, 1998-2000 e 2002-2004, com aplicabilidade do CDI e eficiência da carteira IBOV;
- Influência dos resíduos nos retornos médios nos subperíodos 1998-2000 e 2000-2002 (abrangência entre os anos 1996-2000 e 1998-2002, respectivamente).

No período 2004-2010, a partir da metodologia de Black, Jensen e Scholes (1972), observa-se heterocedasticidade dos resíduos, tal como verificado no período 1996-2010. Além disso, os valores de $\hat{\alpha}_i$ tendem a ser positivos e diferentes de zero no período 2004-2010 e nos subperíodos 2004-2006 e 2004-2008.

Comprova-se a linearidade do modelo CAPM no período 2004-2010 e no subperíodo 2004-2008, ambos com valores positivos de $\hat{\gamma}_0$, negativos de $\hat{\gamma}_1$ e constatação da maior eficiência das carteiras em relação ao IBOV.

Na metodologia de Fama e MacBeth (1973), observa-se linearidade a partir da Expressão 1 ($\overline{\widetilde{R}_{it} - \widetilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \eta_{it}$), com valores positivos de $\widehat{\gamma}_0$ e negativo de $\widehat{\gamma}_1$, no período 2004-2010, equivalência do período 2002-2010 devido à janela móvel das regressões. Ademais, verifica-se também a influência dos resíduos na explicação dos retornos médios, a partir da Expressão 3 ($\overline{\widetilde{R}_{it} - \widetilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{3t}S(\varepsilon_{it}) + \eta_{it}$).

No subperíodo 2008-2010, equivalência a 2006-2010, observa-se uma grande influência dos resíduos na Expressão 3 ($\overline{\widetilde{R}_{it} - \widetilde{r}_{ft}} = \hat{\gamma}_{0t} + \hat{\gamma}_{1t}\beta_{it} + \hat{\gamma}_{3t}S(\varepsilon_{it}) + \eta_{it}$), com aplicabilidade do CDI e tendência da igualdade entre o prêmio estimado médio e a média do valor esperado do prêmio efetivo, ou seja, $\widehat{\gamma}_1 = \overline{E(R_m - r_f)}$.

Analisando o subperíodo 2004-2006, equivalência a 2002-2006, verifica-se uma tendência à rejeição de todos os pressupostos do CAPM, com presença da não-linearidade e dos resíduos; com a existência dos estimadores $\hat{\gamma}_0$ e $\hat{\gamma}_1$, com valores positivos e negativos, respectivamente e com a ineficiência da carteira IBOV.

O subperíodo 2006-2010, equivalência a 2004-2010 a partir da metodologia de Fama e MacBeth (1973), revela a tendência do prêmio de mercado negativo e uma grande influência dos resíduos nos retornos médios. Além disso, o estimador $\overline{\hat{\gamma}_0}$ tende a ser superior ao valor esperado da taxa livre de risco (CDI), enquanto que o estimador $\overline{\hat{\gamma}_1}$ tende a ser inferior à média do valor esperado do prêmio efetivo de mercado.

Pode-se sintetizar os principais resultados do período 2004-2010:

- Linearidade decrescente no período 2004-2010 e no subperíodo 2004-2008, com ineficiência da carteira IBOV em relação às demais;
- Influência dos resíduos na explicação dos retornos, destacando o subperíodo 2008-2010 (equivalência entre 2006-2010);
- Anormalidade no subperíodo 2002-2006.

Dessa forma, numa perspectiva de longo prazo, o setor energético brasileiro mantém o CAPM a partir de uma linearidade decrescente (prêmio de mercado estimado negativo), conforme resultados do período 1996-2010. O CDI não se apresenta aplicável ao período, o IBOV não é a carteira mais eficiente e os resíduos pouco influenciam a explicação do retorno médio das carteiras. Dessa forma, o investidor racional priorizaria as carteiras menos correlacionadas com o mercado, ou seja, assumiria menos risco e maior retorno, ao se considerar o beta de cada carteira como única medida de risco. Essa dedução contraria sobremaneira as condições do CAPM e demonstra uma anormalidade peculiar no mercado energético brasileiro.

Analisando o eixo do ano 2004, período em que o mercado energético sofreu um impacto com as mudanças regulamentadoras do setor, percebe-se que o mercado possui algumas diferenças pré e pós-regulamentação.

Entre os anos 1996-2004, verifica-se aplicabilidade do modelo CAPM em alguns períodos de curto prazo: 1996-2000, 1998-2000 e 2002-2004. Esses períodos revelam o CAPM com aplicabilidade do CDI, eficiência do IBOV e prêmio estimado de mercado positivo (reta

crescente). Considerando todo o período 1996-2004, observa-se uma tendência não-linear na metodologia de Black, Jensen e Scholes (1972) e nos subperíodos entre 2000-2004, na metodologia de Fama e MacBeth (1973). Além disso, verifica-se uma influência dos resíduos, principalmente até o ano 2002.

Entre os anos 2004-2010, o mercado energético demonstra, para o período completo, uma linearidade decrescente (prêmio de mercado estimado negativo), com inaplicabilidade do CDI e ineficiência do IBOV. Verifica-se também uma grande influência dos resíduos na explicação do retorno médio, destacando a anormalidade ocorrida no período 2004-2006, abrangência 2002-2006, na metodologia de Fama e MacBeth (1973). Essa anormalidade rejeita todas as condições do CAPM, ocorrendo no período de transição pré e pós-regulamentação.

Dessa forma, percebe-se que o mercado energético pré-regulamentação tem uma tendência à aceitação do CAPM para períodos de curto prazo com algumas possibilidades de não-linearidade, enquanto que na pós-regulamentação observa-se uma rejeição do modelo, uma vez que houve comprovação apenas da linearidade, apesar de decrescente. Por conseguinte, o período pós-regulamentação demonstra mais indícios da influência dos resíduos, evidenciando que o beta não é a única medida de risco do mercado energético no período.

Nesse contexto, o mercado energético apresenta-se mais equilibrado no período pré-regulamentação, entre os anos 1996-2004, dando ao investidor uma recompensa justa na relação risco e retorno, considerando o beta do CAPM como única medida de risco. O período pós-regulamentação demonstra anormalidade no jogo de recompensa ao investidor e grande influência dos resíduos, o que pressupõe a existência de outra variável independente para a explicação dos retornos do mercado energético no período.

Dessa forma, percebe-se que no período pré-regulamentação o CAPM apresenta-se mais aplicável para alguns períodos de curto-prazo, em detrimento da aplicabilidade observada no período pós-regulamentação. Esse resultado implica que o mercado energético se tornou mais competitivo, na relação de jogo justo estabelecido pelo CAPM (risco e retorno demandado) no período em que o ambiente normativo brasileiro possibilitou ao setor o neoliberalismo. No período pós-regulamentação (posição intermediária entre o neoliberalismo e a estatização) percebe-se que o mercado acionário do setor se comportou a partir de um jogo injusto, ou seja, maiores retornos para as carteiras menos correlacionadas com o mercado.

No período pré-regulamentação, há uma tendência de não linearidade do beta de mercado, porém no período pós-regulamentação há uma tendência de influência dos resíduos na explicação dos retornos médios. As implicações são claras de que o período pré mantém tendência apenas da não linearidade do próprio beta de mercado, enquanto que o período pós apresenta resultados que direcionam para a inserção de mais variáveis explicativas no CAPM.

Recomenda-se, para estudos posteriores, a realização do teste do CAPM, de acordo com as metodologias de Black, Jensen e Scholes (1972) e Fama e MacBeth (1973), embasando-se no mercado acionário como um todo, também com dados em outros períodos, tais como trimestrais ou quadrimestrais de retorno. Pode-se, também, testar empiricamente outros *index* de mercado, tais como IBrX e IBrX-50 (Índice Brasil).

Além disso, a amplitude de cálculo dos betas para cada empresa na alocação das ações nas carteiras e das variáveis independentes para as regressões *cross section* para a análise embasada em Fama e MacBeth (1973) pode ser superior a 24 observações anteriores, em vista de analisar o CAPM diante de maiores amplitudes.

Ademais, recomenda-se a realização de um estudo analisando os impactos referentes a outros marcos no setor energético, tais como a implantação da ANEEL em meados de 1997 e a crise do apagão elétrico em 2001.

Referências

ARAÚJO, Camila; CREAZZO, Felipe Eluf; O`DONOGHUE, Mark H e PADOVAN, Lira Renardini. **Modelo da nova estrutura regulatória para o setor de energia elétrica – julho de 2003**. Araújo e Policastro Advogados, 2003. Disponível em: http://www.cm-p.com/pdf/aug_2003_brazil_p.pdf. Acesso em: 24/03/2008.

BARROS, Denise Pereira. **A (des)construção dos modelos regulatórios no setor de energia elétrica do Brasil: instabilidades, incertezas e a reforma institucional de 2004**. Dissertação de mestrado. Fundação Getúlio Vargas, 2005.

BERK, Jonathan; DEMARZO, Peter. **Finanças Empresariais**. Tradução: Christiane de Brito Andrei. Porto Alegre: Bookman, 2009. 1048 p.

BLACK, Fischer. **Capital market equilibrium with restricted borrowing**. Journal of Business, 45(3), p. 444-455, 1972.

BLACK, F.; JENSEN, M. C. e SCHOLE, M. **The Capital asset pricing model: Some empirical tests**. Studies in the Theory of Capital Markets. p.79-121. New York: Praeger, 1972.

BLUME, Marshall e FRIEND, Irwin. **A new look at the capital asset pricing model**. Journal of Finance, p 19-33, 1973.

BM&FBOVESPA – BOLSA DE MERCADORIAS E FUTURO E BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. IEE - Índice de Energia Elétrica: Estatísticas Históricas. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/indices/EvolucaoMensal.aspx?Indice=IEE&idioma=pt-br>>. Acesso em: 10/05/2010.

_____. BOLSA DE MERCADORIAS E FUTURO E BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. Índice Bovespa. Definição e Metodologia. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/Pdf/Indices/IBovespa.pdf>>. Acesso em: 10/05/2010.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 05/05/2009.

_____. Decreto Federal 5.163, de 30 de julho de 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045163.pdf>>. Acesso em: 05/05/2009.

_____. Lei Federal 8.987 de 13 de Fevereiro de 1995. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8987compilada.htm>. Acesso em: 05/05/2009.

_____. Lei Federal 10.848 de 15 de Março de 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm>. Acesso em: 05/05/2009.

BRIGHAM, Eugene F. e EHRHARDT, Michael C. **Administração Financeira – Teoria e Prática**. Tradução: José Nicolas Albuja Salazar e Suely Sonoe Murai Cucci. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 1044 p.

BRIGHAM, Eugene F.; EHRHARDT, Michael C. e GAPENSKI, Louis C. **Administração Financeira – Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2008. 1113 p.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Instituições do Setor Elétrico brasileiro. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vgnextoid=2fa0a5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD>>. Acesso em: 10/05/2010.

CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson e FILHO, José Maria Dias (coordenadores). **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. FIPECAFI – Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras. São Paulo: Atlas, 2007.

COSTA, Brenner Elias da; CUNHA, Raquel Leonor da e RIBEIRO, Kárem Cristina de Sousa. **CAPM Retorno justo X Retorno de Mercado**, Revista da FAE, ano 11, n.1. p. 69-78, 2008.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher 1999. p.130-135.

ELTON, Edwin J.; GRUBER, M. J.; BROWN, J. S. e GOETZMANN, W. N. **Moderna Teoria de Carteiras e Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2004.

ENGLE, R. F. **Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation**. *Econometrica* 50, n 4, p. 987-1007, 1982.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. BEN – Balanço Energético Nacional. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 10/05/2010.

FAMA, Eugene F. e MACBETH, James D. **Risk, return, and equilibrium: empirical tests.** Journal of Political Economy, v. 81, n. 3, p. 607-636, 1973.

JAGANNATHAN, Ravi e WANG, Zhenyu. **The Conditional CAPM and the Cross-Section of Expected Returns.** The Journal of Finance, v. 51, n.1, 1996, p. 3-53. Disponível em: < http://rady.ucsd.edu/faculty/directory/valkanov/classes/mfe/docs/Jagannathan_Wang_JF_1996.pdf>. Acesso em: 07 junho 2009.

LINTNER, John. **The Valuation of Risky Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets,** Review of Economics and Statistics, 47(1), p.13-37, 1965.

MARKOWITZ, Harry. **Portfolio Selection,** New York, 1959.

MARTINS, J. Roberto e CELESCUEKCI, Hercules. **O novo modelo do setor elétrico brasileiro – Lei 10.848/04.** Thench, Rossi e Watanabe Advogados, 2004. Disponível em: < http://www.trenchcrossiewatanabe.com.br/alertas/AL_Gra_Pro_Nov_Mod_Set_Mar04_Por.pdf>. Acesso em: 24/03/2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Modelo Institucional do Setor Elétrico.** Brasília, DF, 17 dez. 2003. 60 p.

_____. **Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico.** Brasília, DF, Julho. 2003. 53 p.

MITTLEHAMMER, R. **Mathematical statistics for economics and business.** New York: Springer-Verlag, 1996.

MOSSIN, Jan. **Equilibrium in a Capital Asset Market,** Econometrica 34(4), p. 768-783, 1966.

PINTO, R. C. **Uma análise da utilização do coeficiente beta no setor elétrico brasileiro,** 2008, 104 p. Dissertação de mestrado, Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W. e JAFFE, Jeffrey F. **Administração Financeira – Corporate Finance**. Tradução: Antonio Zoratto Sanvicente. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 776 p.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Hernández e LUCIO, Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa**. 3 ed. São Paulo: McGraw Hill, 2006.

SARTORIS, Alexandre. **Estatística e introdução à econometria**. São Paulo: Saraiva, 2003.

SHARPE, William F. **Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk**, Journal of Finance, 19(3), pp.425-442, 1964.

SILVA, Wendel Alex Castro. **Uma análise de risco do segmento de energia elétrica**, XI SEMEAD – Empreendedorismo em organizações, 2008. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/semead/11semead/resultado/trabalhosPDF/293.pdf>>. Acesso em: 22/05/2010.

STATMAN, Meir. **How Many Stocks Make a Diversified Portfolio?** Journal of Financial and Quantitative Analysis 22(3), p. 353-363, 1987.