

LEONARDO BORNACKI DE MATTOS

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DE MINAS
GERAIS: 1970/2002**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M444d
2004

Mattos, Leonardo Bornacki de, 1977-

Demanda de energia elétrica no Estado de Minas
Gerais : 1970 / 2002 / Leonardo Bornacki de Mattos.
– Viçosa : UFV, 2004.

xv, 132f. : il. ; 29cm.

Orientador: Brício dos Santos Reis
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 125-132

1. Energia elétrica - Consumo - Minas Gerais.
2. Econometria. I. Universidade Federal de Viçosa.
II.Título.

CDD 22.ed. 333.7932098151

LEONARDO BORNACKI DE MATTOS

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DE MINAS
GERAIS: 1970/2002**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 08 de dezembro de 2004.

Patrícia Bernardes

Wilson da Cruz Vieira

Maurinho Luiz dos Santos

João Eustáquio de Lima
(Conselheiro)

Brício dos Santos Reis
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Luiz e Maria das Graças, pelo amor incondicional e pelos ensinamentos mais importantes para a minha vida. Aos meus irmãos, Luiz Flávio e Leandro, e à Lanna, pela compreensão e apoio irrestritos. Todos sempre próximos nos momentos mais difíceis.

Aos professores Maurinho Luiz, José Maria Alves, Wilson da Cruz, Danilo Rolim, João Eustáquio, Sônia Leite e ao meu orientador, Brício dos Santos Reis, pelas imprescindíveis contribuições à minha formação acadêmica.

À CAPES e ao CNPq por financiarem a pesquisa realizada.

Aos funcionários do Departamento de Economia Rural, especialmente à Graça, Cida e Rosângela, que, carinhosamente, sempre estiveram à disposição.

Aos irmãos Salim, principalmente à Maria de Lourdes, que me acolheram no início dessa caminhada.

Aos meus colegas Ledir, Carlos André e Christiano, pela amizade e por estarem sempre prontos a me auxiliarem.

Aos Srs. José Geraldo Montuori, Wanderson Rodrigues e Ana Lúcia Goddard, funcionários da CEMIG, e aos Srs. Leandro Augusto Neves e Maria Helena Magnavaca, funcionários da Fundação João Pinheiro, pelas incontestáveis contribuições para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

LEONARDO BORNACKI DE MATTOS, filho de Luiz Gonzaga de Mattos e Maria das Graças Bornacki de Mattos, nasceu no dia 21 de novembro de 1977 na cidade do Rio de Janeiro.

Em 1998 iniciou o curso de Ciências Econômicas na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, em Belo Horizonte, graduando-se em 2002.

Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, em nível de Mestrado, no Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa em março de 2003, submetendo-se à defesa de tese em dezembro de 2004, na qual foi aprovado.

Em dezembro de 2004, foi aprovado no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, em nível de Doutorado, no Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. O problema e sua importância.....	9
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo Geral	11
1.3.2. Objetivos Específicos	11
2. O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO, CONSUMO DE ENERGIA E DE ENERGIA ELÉTRICA EM MINAS GERAIS.....	12
2.1. O Setor Elétrico Brasileiro: desenvolvimento, crises e reformas	12

2.2. Energia em Minas Gerais	18
2.2.1 Energia Elétrica em Minas Gerais.....	21
2.2.2. Consumo Comercial de Energia Elétrica em Minas Gerais.....	24
2.2.3. Consumo Industrial de Energia Elétrica em Minas Gerais	30
2.2.4. Consumo Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais.....	38
3. METODOLOGIA.....	45
3.1. Referencial Teórico	45
3.1.1. Teoria do Consumidor.....	46
3.1.2. Teoria da Firma	48
3.1.3. Elasticidade da Demanda	52
3.1.4. Homogeneidade de uma Função de Demanda	54
3.1.5. Considerações sobre a Demanda de Energia Elétrica	55
3.2. Modelo Econométrico	59
3.3. Método de Estimação	64
3.3.1. Análise de Co-Integração	66
3.3.2. O procedimento de Johansen.....	69
3.3.3. Métodos econométricos utilizados em outros estudos de demanda de energia elétrica	73
3.4. Teste de raiz unitária e teste para autocorrelação.....	74
3.4.1. Teste de raiz unitária de Dickey-Fuller (DF) e Dickey-Fuller Aumentado (ADF)	74
3.4.2. Teste do Multiplicador de Lagrange (<i>LM Test</i>) de Breusch-Godfrey para autocorrelação.....	77

3.5. Fontes e operacionalização dos dados.....	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4.1. Relações de longo prazo entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes	80
4.1.1. Classe Comercial.....	81
4.1.2. Classe Industrial	87
4.1.3. Classe Residencial.....	93
4.2. Estimativas dos Modelos de Demanda.....	99
4.2.1. Estimativa da equação de Demanda para a classe Comercial	100
4.2.2. Estimativa da equação de Demanda para a classe Industrial.....	102
4.2.3. Estimativa da equação de Demanda para a classe Residencial	104
4.3. Avaliação da capacidade preditiva dos modelos de demanda estimados.....	105
4.4. Projeção do Consumo de Energia Elétrica em Minas Gerais, 2004 a 2008.....	111
4.5. Análise da relação capacidade de produção/demanda de energia elétrica em Minas Gerais.....	117
5. RESUMO E CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

LISTA DE FIGURAS

	Página
1	Evolução das tarifas médias reais de energia elétrica, por classe de consumo, no Brasil, 1974-2003..... 5
2	Evolução do consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais, no período 1970-2002..... 22
3	Evolução da participação relativa da energia elétrica no consumo total de energia pela classe Comercial em Minas Gerais – 1983/2002..... 24
4	Evolução das participações relativas do GLP e da lenha no consumo total de energia pela classe Comercial em Minas Gerais – 1983/2002..... 25
5	Evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Comercial, em Minas Gerais, no período 1970/2002..... 26
6	Evolução da participação do Consumo Comercial no consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais – 1970/2002..... 29
7	Evolução das participações relativas das cinco fontes de energia mais consumidas pela classe Industrial, em Minas Gerais – 1983/2002..... 31
8	Evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Industrial, em Minas Gerais, no período 1970/2002..... 32

9	Evolução da participação do consumo Industrial no consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais – 1970/2002.	36
10	Evolução da participação dos cinco principais consumidores da classe Industrial no Consumo Total Industrial de energia elétrica, em Minas Gerais – 1978/2002.....	37
11	Evolução das participações relativas das três fontes de energia mais consumidas pela classe Residencial, em Minas Gerais – 1983/2002.....	38
12	Evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Residencial, no período 1970-2002.....	39
13	Índice de preço médio real dos eletrodomésticos no Brasil – 1970/2002.....	42
14	Evolução da participação do Consumo Residencial no consumo total de energia elétrica em Minas Gerais – 1970/2002.	43
15	Consumo médio de energia elétrica por residência, por Unidade da Federação, em 2002.	44

LISTA DE TABELAS

	Página
1	Taxas geométricas de crescimento do consumo de energia elétrica, no Brasil, por classe de consumo (em % ao ano) – vários períodos 3
2	Taxas geométricas de crescimento do consumo de energia elétrica, por região do Brasil (% ao ano)..... 6
3	Redução percentual do consumo de energia elétrica no Brasil, em suas Regiões e em Minas Gerais, por classes de consumo, no período 06/2001-03/2002 17
4	Demanda de energia em Minas Gerais, por fonte (em %) – 2002 19
5	Demanda de energia em Minas Gerais, por setor (em %) – 2002 20
6	Consumo de energia elétrica, em Minas Gerais e no Brasil, por classe de consumo (em %), em 2002..... 23
7	Taxas geométricas de crescimento do PIB Comercial, Consumo Comercial, Consumo médio por consumidor e das Tarifas Comerciais de energia elétrica, em Minas Gerais (em % ao ano)..... 27
8	Taxas geométricas de crescimento do PIB Industrial, Consumo Industrial, nº de consumidores, Consumo médio por consumidor e das Tarifas Industriais de energia elétrica, em Minas Gerais (em % ao ano)..... 33

9	Taxas geométricas de crescimento do PIB <i>per capita</i> , Consumo Residencial, nº de consumidores, Consumo médio por residência e das Tarifas Residenciais de energia elétrica, em Minas Gerais (em % ao ano).....	41
10	Testes de Raiz Unitária DF e ADF, realizados para as séries LQC_t , LTC_t , LRC_t e LME_t , para o período de 1970 a 2002	81
11	Definição do número de defasagens do modelo VAR a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, e do teste de significância das defasagens (estatística χ^2).....	82
12	Teste do Traço para co-integração entre as variáveis LQC_t , LTC_t , LRC_t e LME_t	83
13	Teste do Máximo Autovalor para co-integração entre as variáveis LQC_t , LTC_t , LRC_t e LME_t	84
14	Vetor de co-integração normalizado para a variável LQC_t	85
15	Testes de Raiz Unitária DF e ADF, realizados para as séries LQI_t , LTI_t , LRI_t , LNI_t e LPS_t , para o período de 1970 a 2002.....	87
16	Definição do número de defasagens do modelo VAR, a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, e do teste de significância das defasagens (estatística χ^2).....	88
17	Teste do Traço para co-integração entre as variáveis LQI_t , LTI_t , LRI_t , LNI_t e LPS_t	89
18	Teste do Máximo Autovalor para co-integração entre as variáveis LQI_t , LTI_t , LRI_t , LNI_t e LPS_t	90
19	Vetor de co-integração normalizado para a variável LQI_t	90
20	Testes de Raiz Unitária DF e ADF, realizados para as séries LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t , para o período de 1970 a 2002	93
21	Definição do número de defasagens do modelo VAR, a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, e do teste de significância das defasagens (estatística χ^2).....	94

22	Teste do Traço para co-integração entre as variáveis LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t	95
23	Teste do Máximo Autovalor para co-integração entre as variáveis LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t	96
24	Vetor de co-integração normalizado para a variável LQR_t	97
25	Estimativa do Modelo VEC referente à variável LQC_t	100
26	Estimativa do Modelo VEC referente à variável LQI_t	102
27	Estimativa do Modelo VEC referente à variável LQR_t	104
28	Consumo Total de energia elétrica pelas classes Comercial, Industrial e Residencial, em Minas Gerais, em 2003	107
29	Consumo Total de energia elétrica pelas classes Comercial, Industrial e Residencial, em Minas Gerais, em 2003	110
30	Projeções para o Consumo Total de energia elétrica pela classe Comercial, em Minas Gerais, no período 2004/2008.....	113
31	Projeções para o Consumo Total de energia elétrica pela classe Industrial, em Minas Gerais, no período 2004/2008	114
32	Projeções para o Consumo Total de energia elétrica pela classe Residencial, em Minas Gerais, no período 2004/2008.....	114
33	Projeções para o Consumo Total de energia elétrica, no Estado de Minas Gerais, no período 2004/2008.....	116

RESUMO

MATTOS, Leonardo Bornacki de, M.S.; Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2004. **Demanda de energia elétrica no Estado de Minas Gerais: 1970/2002**. Orientador: Brício dos Santos Reis. Conselheiros: João Eustáquio de Lima e Viviani Silva Lírio.

Diante da expectativa de um novo ciclo de crescimento econômico no Brasil e das atuais mudanças na estrutura tarifária do Setor Elétrico brasileiro, este trabalho procurou identificar se é possível, mediante estudo da demanda de energia elétrica, prever os efeitos das prováveis alterações nas tarifas e na renda dos consumidores sobre a evolução do consumo dessa energia. Adotou-se como objeto de estudo o Estado de Minas Gerais. Especificamente, foi analisada a demanda de energia elétrica das classes Comercial, Industrial e Residencial. Após identificar que as séries temporais das variáveis estudadas são não-estacionárias, optou-se pela utilização do conceito de Co-Integração. Em seguida, foram estimados os Modelos de Correção de Erros Vetoriais (VECM) os quais foram utilizados para projetar o consumo de energia elétrica para o período 2004/2008. De modo geral, os resultados das estimativas foram bons, sendo a maior parte dos parâmetros estimados estatisticamente significativos, além de

todos os seus sinais coerentes com a teoria econômica. Para avaliação da capacidade preditiva dos modelos estimados, adotou-se o ano de 2003 como comparação entre os valores projetados e os efetivamente observados, concluindo-se que os modelos estimados são bons previsores para o consumo futuro de energia elétrica. Sob uma ótica otimista para a atividade econômica do Estado e da pressuposição de tarifas de energia elétrica crescentes, as projeções indicam que são significativas as possibilidades de cortes freqüentes no fornecimento de energia elétrica ou, até mesmo, ocorrência de novo racionamento. Nessas condições, tornou-se evidente a necessidade da realização dos investimentos no setor elétrico, especificamente no que se refere a Minas Gerais.

ABSTRACT

MATTOS, Leonardo Bornacki de, M.S.; Universidade Federal de Viçosa, december 2004. **Demand of electric energy in the State of Minas Gerais: 1970/2002.** Adviser: Brício dos Santos Reis. Committee Members: João Eustáquio de Lima and Viviani Silva Lírio.

The present work is aimed to identify the possibility to foresee the effects of probable alterations on consumers taxes and income by means of the study of the the demand of electric energy before the expectation of a new cycle of economic growth in Brazil and the present changes in the Brazilian electric sector. The State of Minas Gerais was adopted as the object of this study. The demand on electric energy in the Commercial, Industrial and Residential ranges was specifically analyzed. As the series of the variables studied were proved non-stationary, the Co-integration approach was adopted. Vector Error Correction Models (VECM) were estimated and used to project the consumption of electric energy during the 2004/2008 period. Satisfactory results were obtained since most of the parameters that were estimated proved to be statistically significant and all their signs are consistent with the economic theory, as well. To evaluate the predictable capacity of the models analyzed, the year of 2003 was

adopted to compare the projected and the actual values reached and proved that the models were adequate as indicators to foresee the futures consumption of electric energy. Projections show the significant possibilities of frequent cuts in the supply of electric energy, as well as the possibility of having it rationed again. These conditions turn evident the need of making massive investments in the electricity sector, specifically in Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

No início do século XXI, é difícil conceber uma sociedade que não dependa da energia elétrica no seu cotidiano. O homem desenvolveu e multiplicou aparatos que requerem sua utilização. A luz elétrica substituiu o lampião e iluminou as ruas; a televisão trouxe a imagem e o som para o interior das residências; a máquina de escrever cedeu espaço aos computadores; o progresso tecnológico elevou sua participação na indústria, nos transportes, nos hospitais, nas escolas e em muitas outras situações. Enfim, a energia elétrica tem sido indispensável, seja por prover praticidade e conforto, ou por atender às necessidades básicas da população.

Tomando-se como referência GOMES (1981), pode-se dizer que a inserção definitiva da energia elétrica, na matriz energética nacional, ocorreu na década de 1970. Até então, o consumo mundial de energia se encontrava na dependência da utilização de fontes não-renováveis, como o carvão, gás e o petróleo. Esse perfil se justificava principalmente pelo baixo preço relativo do petróleo, observado até o início dessa década. Entretanto, a crise do petróleo, ocorrida em 1973, resultou na elevação do preço internacional dessa fonte de

energia, fazendo com que os países, principalmente aqueles que não eram auto-suficientes, repensassem suas matrizes energéticas.

A situação não se mostrou diferente no Brasil. A elevação do preço do petróleo aumentou as dificuldades de suprir as necessidades energéticas do País que já havia mais que duplicado a importação de petróleo no período de 1970 a 1978. Seu grande potencial hidrelétrico fez o Brasil ratificar a opção por uma modificação na sua matriz energética, construindo várias usinas hidrelétricas e milhares de quilômetros de linhas de transmissão (SILVA, 2001).

Durante a década de 70, em decorrência da expressiva expansão da economia – taxa média de crescimento superior a 8,5% ao ano – houve aumento da renda *per capita* nacional e do consumo *per capita* de energia elétrica. Também foi observado incremento importante no conteúdo elétrico do PIB¹, que evoluiu de 0,237 para 0,315 kWh/US\$. Como conseqüência, a participação da energia elétrica no Balanço Energético Nacional (BEN) passou de 19 para 29% (ELETROBRAS, 2003a).

Apesar do comportamento instável da economia brasileira na década de 1980, quando a renda *per capita* foi inferior à da década anterior, o crescimento do consumo de energia elétrica foi expressivo, impulsionado pela maturação dos projetos industriais estruturados no II Plano Nacional de Desestatização (II PND), implantados a partir do final dos anos 70. Em 1986, o Plano Cruzado tornava evidente que um aumento na renda dos indivíduos, como ocorrera naquele ano, também criava condições reais para um maior consumo de energia elétrica, sendo característica deste processo a incorporação de eletrodomésticos nas residências. Nessa década, cresceram o consumo *per capita*, o conteúdo elétrico do PIB, que atingiu 0,483 kWh/US\$ em 1990, e a participação da energia elétrica no Balanço Energético Nacional (BEN), que se aproximou de 40% (ELETROBRÁS, 2003a).

Durante os anos 90, o Plano Real, implantado em 1994, repercutiu positivamente sobre a demanda de energia elétrica. Diante de um processo inflacionário sob controle, foram criadas, num primeiro momento, condições

¹ Expressa a quantidade de energia elétrica consumida no País para cada 1 US\$ do PIB brasileiro.

para a retomada do crescimento econômico. O aumento da renda pessoal logo após o Plano e a ampliação do acesso a crédito ao consumidor resultaram num crescimento significativo do consumo de energia elétrica, entre os anos de 1994 e 1997 (ELETROBRAS, 2003a).

No Brasil, três grandes classes de consumidores se beneficiam dessa energia: a classe Industrial, a Comercial e a Residencial. Historicamente, a Industrial sempre foi a responsável pela maior parcela do mercado. Em seguida, aparecem as classes Residencial e Comercial, respectivamente. Os demais consumidores são agregados em uma única classe, denominada Outros².

De modo geral, pode-se afirmar que o consumo de energia elétrica sofreu incrementos positivos ao longo das últimas três décadas (70, 80 e 90), destacando-se a classe Residencial como a que mais elevou seu consumo. A Tabela 1 apresenta a dinâmica do consumo em cada uma das classes consumidoras.

Tabela 1 – Taxas geométricas de crescimento do consumo de energia elétrica, no Brasil, por classe de consumo (em % ao ano) – vários períodos

Períodos	Classes de consumo				
	Comercial	Industrial	Residencial	Outros	Total
1970/1979	10,4	11,8	10,8	7,7	10,8
1980/1989	5,7	7,5	7,2	8,0	7,3
1990/1999	7,8	2,5	6,7	4,8	4,7
1970/2000	7,0	6,1	8,0	7,1	6,8

Fonte: ELETROBRAS (2004).

Nota: todos os valores significativos a 1%.

² O agregado “Outros” incorpora o consumo próprio, o serviço público, a iluminação pública, o poder público e o consumo rural (ELETROBRAS, 2003b).

Durante a década de 1970, o consumo total de energia elétrica apresentou o maior crescimento registrado nesses 30 anos, saltando de 38.152 GWh, em 1970, para 101.317 GWh, em 1979, equivalendo à taxa geométrica de crescimento de 10,8% ao ano. Dentre as classes consumidoras, mereceu destaque a Industrial que, ao incrementar seu consumo em 11,8% ao ano, respondeu por 54,8% de toda energia elétrica consumida no ano de 1979 (ELETROBRAS, 2004).

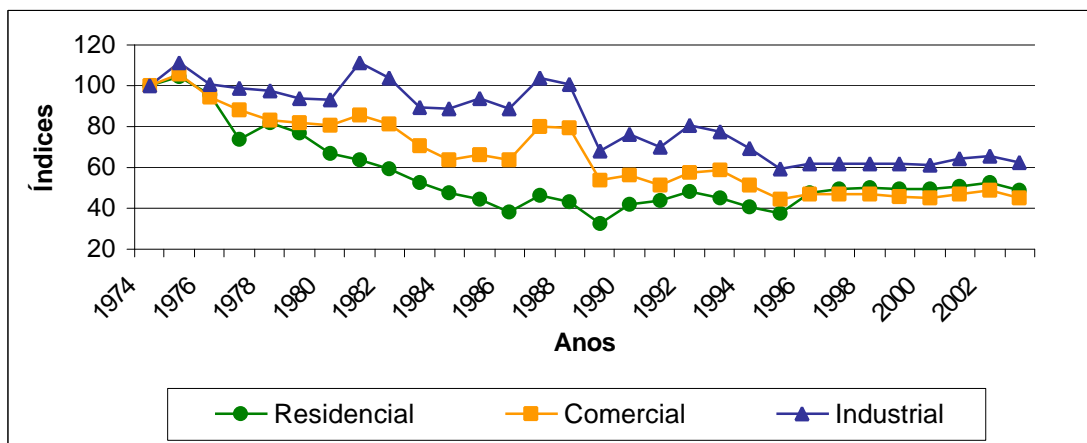
Entre os anos de 1980 e 1989, o consumo de energia elétrica voltou a registrar crescimento, embora a taxas inferiores às observadas na década passada. Nesse período, a taxa de crescimento foi de 7,3% ao ano, com o consumo saltando de 111.936 GWh, em 1980, para 198.274 GWh, em 1989. De maneira similar ao ocorrido no período anterior, a classe consumidora que apresentou maior crescimento foi a Industrial, crescendo, em média, 7,5% ao ano (ELETROBRAS, 2004).

Dentre as décadas analisadas, a de 1990 foi a que registrou o menor crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil. O consumo total cresceu apenas 4,7% ao ano, alcançando 291.604 GWh, em 1999. O fato de a classe Industrial ter sido, dentre as três maiores consumidoras, a que apresentou a menor taxa de crescimento, pode explicar esse resultado (ELETROBRAS, 2004).

Entretanto, apesar do consumo ter apresentado taxas significativas de crescimento ao longo do período 1970/2000, pode-se constatar que essas foram decrescentes. A exceção ocorreu nos anos 90, especificamente na classe Comercial. A partir de meados dessa década, o consumo dessa classe passou a liderar o crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil, como resposta aos avanços e à modernização ocorridos no setor de serviços (ELETROBRÁS, 2003a). Como exemplo, são destacados a expansão da indústria do turismo, a grande inserção dos *shopping centers*, além da informatização de vários segmentos, especialmente no setor financeiro.

Outro fator muito importante para explicar a dinâmica do consumo de energia elétrica, ao longo de todo período, é o comportamento das tarifas médias

de fornecimento, apresentado na Figura 1, em cada uma das principais classes consumidoras.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ELETROBRAS (2004).

Figura 1 – Evolução das tarifas médias reais de energia elétrica, por classe de consumo, no Brasil, 1974-2003³.

Conforme pode ser observado, as tarifas registraram tendências de quedas sucessivas, com algumas exceções, até início dos anos 90. Esse comportamento pode ser justificado principalmente pelo fato de que a redução das tarifas de energia elétrica era utilizada pelo governo como parte da estratégia de controle da inflação (ELETROBRAS, 2003a).

Entretanto, a partir de 1993, uma série de sucessivos aumentos nominais na estrutura tarifária, principalmente na classe Residencial, alterou esse comportamento. Junto com a privatização do setor elétrico, iniciada em 1995, houve uma recomposição tarifária que implicou em um rápido crescimento das tarifas médias de fornecimento. Este aumento se baseou principalmente em três elementos (ELETROBRAS, 2003a):

³ Os valores referentes a essas tarifas são indisponíveis para os anos anteriores a 1974.

a) Um elemento estrutural dado pela entrada de energia “nova” no mercado. Energia “nova” significa energia mais cara, devido ao o cronograma de financiamento típico das plantas do setor elétrico;

b) Com a entrada da iniciativa privada no setor, a tarifa da energia elétrica deixou de ser utilizada como elemento de controle da inflação pelo governo;

c) O Plano Real, implantado em 1994, teve um impacto inicial de aumento da renda real da população, ampliando a capacidade de absorção de um aumento de tarifa pelos consumidores.

Em 2001, as tarifas médias, influenciadas pelo programa de redução do consumo que havia sido criado como solução de curto prazo para a crise energética, tiveram um aumento significativo em termos reais, visando recuperar as receitas das empresas do setor.

Embora a dinâmica do consumo de energia elétrica não tivesse apresentado grandes divergências entre as diferentes classes, o mesmo não pode ser afirmado quando essa comparação é realizada entre as regiões geográficas do Brasil, como pode ser constatado na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxas geométricas de crescimento do consumo de energia elétrica, por região do Brasil (% ao ano)

Períodos	Regiões				
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
1970/1980	16,9	16,4	11,0	14,6	18,9
1980/1990	16,6	8,3	4,4	7,2	9,5
1990/2000	6,2	4,7	3,5	5,8	7,0
1970/2000	13,1	9,7	6,3	9,1	11,7

Fonte: ELETROBRAS (2003a).

As taxas de crescimento do consumo de energia elétrica apresentadas pelas regiões menos desenvolvidas economicamente se mostraram, em todos os períodos, superiores às registradas nas regiões mais desenvolvidas. Este quadro sugere a existência de um mercado potencial suficiente para sustentar taxas de crescimento relativamente elevadas. Assim, é de se esperar que a Região Sudeste, de maior desenvolvimento sócio-econômico, prossiga em uma trajetória de perda progressiva de sua participação relativa no consumo nacional de eletricidade (ELETROBRAS, 2003a).

Entretanto, o atendimento ao mercado potencial e até mesmo ao já existente, encontra-se fortemente condicionado à maneira com que se concretizarão as mudanças que estão sendo introduzidas no setor elétrico brasileiro, especialmente através do Novo Modelo Institucional (MME, 2003b).

Os dados mais recentes da ELETROBRAS (2004) indicam que, em 2003, foram consumidos 300.653 GWh em todo o Brasil. Desse total, 43,2% na classe Industrial, 25,3% na Residencial e 15,8% na classe Comercial. Naturalmente, como consequência dessa distribuição, o mercado consumidor se concentra na Região Sudeste, uma vez que esta é a região mais industrializada do País. A Região Sudeste, principal consumidora de energia elétrica, respondeu por 54,8% do consumo total. As regiões Sul e Nordeste possuem participação relativa similar, correspondendo a 17,4% e 16,3%, respectivamente. As regiões Norte e Centro-Oeste, num patamar consideravelmente inferior às demais regiões, consumiram 5,9% e 5,6% do total, respectivamente. Dentre os diversos estados, São Paulo é o principal consumidor, com 30,4% do total nacional, seguido por Minas Gerais, responsável por 12,7% de toda energia elétrica consumida no Brasil (ELETROBRAS, 2004).

O Novo Modelo visa, principalmente, suprir as deficiências do atual modelo, garantindo a oferta de energia elétrica em quantidade e qualidade requeridas pelo mercado consumidor; garantir a modicidade tarifária⁴, a partir da

⁴ O termo “modicidade tarifária” é amplamente utilizado na literatura referente ao setor elétrico e possui o significado de tarifas mais justas/moderadas para os consumidores.

contratação eficiente da energia elétrica; além de universalizar o acesso e o uso do serviço.

A busca pela modicidade tarifária parece confirmar a tendência de mudanças na estrutura das tarifas e procura reverter o rápido crescimento das tarifas médias de fornecimento, ocorrido paralelamente ao processo de privatização iniciado em 1995. Para tanto, o novo modelo se sustenta em quatro pontos principais: ampliação da competição na geração de energia, por meio de licitações pelo critério de menor tarifa; manutenção do equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia, de forma que o consumidor não seja onerado pela falta ou pelo excesso de energia; redução dos riscos associados aos investimentos, com a concessão de licença prévia ambiental e de contratos de compra de energia de longo prazo; garantia de que não sejam apropriados custos “estranhos” à prestação do serviço (MME, 2003c).

Todavia, apesar dos esforços governamentais estarem direcionados à modicidade tarifária, as evidências indicam que a expansão do setor ocorre a custos marginais crescentes e, portanto, tarifas também crescentes, uma vez que os grandes potenciais hidrelétricos, ainda a serem explorados, estão distantes do mercado consumidor. Adicionalmente, deve-se considerar que o custo da energia gerada em usinas termoeletricas, que é utilizada para suprir parcela cada vez maior do mercado, é significativamente superior ao custo da energia de origem hidráulica. Sendo assim, os patamares para os quais as tarifas de energia elétrica convergirão ainda não se constituem numa certeza para os agentes do setor.

Além do comportamento das tarifas, outro fator terá grande influência sobre o atendimento ao mercado consumidor. Após apresentar crescimento pouco significativo nas décadas de 80 e 90, a economia brasileira dá sinais de que se pode desenvolver a taxas superiores às observadas nessas duas décadas⁵. O início de um novo governo, em 2003, e alguns indicadores macroeconômicos fazem com que cresçam as expectativas de um novo ciclo de desenvolvimento no Brasil.

⁵ O crescimento do PIB nacional foi de 2,76 % a.a., no período 1980/1990, e de 2,90 % a.a., no período 1990/2000. Essas taxas foram calculadas a partir de dados do IPEA (2004b).

Segundo GIAMBIAGI (2002), o processo de crescimento econômico teria se esboçado já no ano de 2001, quando a economia, liderada pelo investimento e pelas exportações, cresceu acima de 4%, o saldo comercial apresentou melhora e a inflação diminuiu de intensidade, após sua alta em 1999. Entretanto, esse processo teria sido interrompido pela combinação da crise energética brasileira com os efeitos da crise na economia argentina e da recessão nos Estados Unidos, Europa e Japão.

Para esse autor, o Brasil tem pela frente perspectivas promissoras não vistas desde a década de 1970. O País teria definido um esquema de política econômica decisivo para que isso fosse possível. Fariam parte dessas políticas a mudança de regime cambial em 1999, um forte ajuste fiscal e o comprometimento com uma trajetória de inflação baixa.

A forma como se concretizarão as mudanças nas tarifas e/ou na renda dos consumidores terá influência sobre a evolução do consumo de energia elétrica, em proporções ainda a serem quantificadas.

1.2. O problema e sua importância

Diante da expectativa de um novo ciclo de crescimento econômico no Brasil e das atuais mudanças na estrutura tarifária do setor elétrico, este trabalho procurou prever, mediante estudo da demanda de energia elétrica, os efeitos das prováveis alterações nas tarifas e na renda dos consumidores sobre a evolução do consumo dessa energia.

O conhecimento prévio de tais relações é de grande importância para a condução da expansão do setor, permitindo um ajuste entre a oferta e a demanda de energia elétrica, e evitando situações como a ocorrida no ano de 2001, quando foi implantado o programa de racionamento.

De acordo com a ELETROBRAS (2003b), o estudo da demanda de energia elétrica tem importância estrutural e conjuntural no planejamento e no gerenciamento do setor elétrico brasileiro, por exercer impacto direto e/ou indireto sobre as seguintes decisões: programas decenais de expansão da geração,

transmissão e distribuição; planejamento da operação dos sistemas; programas de investimento das empresas; contratos de compra e venda de energia entre empresas; preço da energia no Mercado Atacadista de Energia (MAE); programa de licitação de obras do agente regulador, dentre outros.

Há ainda que se considerar o fato de que, no setor elétrico, os projetos de investimento são, geralmente, intensivos em capital, requerem elevados investimentos e demandam grandes prazos de maturação. Assim, os retornos são obtidos a longo prazo, o que tornam maiores as incertezas, principalmente as relacionadas à evolução do mercado consumidor. Dessa forma, o estudo da demanda de energia elétrica se torna ainda mais importante para os planos de investimentos.

No Brasil, alguns estudos sobre essa demanda já foram realizados. MODIANO (1984) estimou a demanda para as classes Comercial, Industrial e Residencial, utilizando dados anuais referentes ao período 1963/1981. ANDRADE e LOBÃO (1997) realizaram estimativas apenas para o setor Residencial, com dados anuais para os anos de 1963 a 1995. SILVA (2001) abordou apenas os setores Residencial-Urbano e Rural, para o período 1970/1999. SCHMIDT e LIMA (2004) estimaram a demanda para as três classes de consumo, a partir de dados anuais referentes ao período 1969/1999. Com exceção de BRAGA (2001), que analisou a demanda da classe Residencial das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, os demais trabalhos realizaram análises de demanda para o mercado nacional.

Este trabalho se propõe a analisar a demanda de energia elétrica no Estado de Minas Gerais, especificamente nas classes Comercial, Industrial e Residencial. Em 2003, essas três classes responderam por aproximadamente 87,5% do mercado consumidor de energia elétrica nesse Estado. Os 12,5% restantes foram distribuídos entre as classes Rural ($\pm 5,2\%$) e Outras⁶ ($\pm 7,3\%$). Minas Gerais é o segundo maior consumidor de energia elétrica, tanto na Região Sudeste quanto no mercado nacional. Ainda em 2003, foi responsável pelo

⁶ Inclui Poder público, iluminação pública, Serviço público, Consumo próprio e Suprimento a outras concessionárias.

consumo de 22,7% de toda energia elétrica consumida na Região Sudeste e por 12,2% do consumo desse tipo de energia no Brasil⁷.

A opção por uma análise estadual pode ser justificada pelo fato de o novo modelo institucional estabelecer que as distribuidoras de energia elétrica devam contratar o total do mercado por elas previsto, com antecedência de cinco anos, sendo estas os principais responsáveis pelas estimativas de demanda. De modo geral, o mercado de uma distribuidora se limita a parcelas de mercado de um único estado, ratificando a importância de análises regionalizadas. Soma-se ainda o fato de não haver estudos publicados que tenham abordado a demanda de energia elétrica no Estado de Minas Gerais.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Quantificar as relações entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes nas classes Comercial, Industrial e Residencial do Estado de Minas Gerais, no período de 1970 a 2002.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar os efeitos de alterações na renda, nas tarifas e no número de consumidores sobre o consumo de energia elétrica pelas classes Comercial, Industrial e Residencial;
- b) Realizar projeções da demanda de energia elétrica para as classes Comercial, Industrial e Residencial, bem como para o Estado de Minas Gerais; e
- c) Comparar os valores projetados com a capacidade de produção dessa energia para os próximos 5 anos.

⁷ Os percentuais referentes às parcelas de mercado foram calculados a partir dos dados obtidos em FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP, 2004a) e ELETROBRAS (2004).

2. O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO, CONSUMO DE ENERGIA E DE ENERGIA ELÉTRICA EM MINAS GERAIS

A elaboração desse Capítulo teve como objetivo apresentar um panorama histórico do setor elétrico brasileiro, contextualizando os principais acontecimentos nesse setor. Pretendeu-se, também, caracterizar o consumo das principais fontes de energia no Estado de Minas Gerais, com ênfase na energia elétrica. A seção 2.1. foi dedicada ao setor elétrico brasileiro. A seção 2.2. apresenta a demanda de energia em Minas Gerais, destacando-se a participação de cada uma das fontes de energia na matriz energética do Estado. A seção 2.2.1 foi dedicada ao setor elétrico mineiro, além de apresentar a evolução do consumo de energia elétrica no Estado de Minas Gerais, ao longo do período de 1970 a 2002. Nas seções de 2.2.2 a 2.2.4 descreve-se e analisa-se a evolução do consumo de energia elétrica em cada uma das três principais classes consumidoras no Estado.

2.1. O Setor Elétrico Brasileiro: desenvolvimento, crises e reformas

Quando comparado a outros países, o setor elétrico brasileiro, responsável por produzir e fornecer a energia elétrica às classes consumidoras, apresenta algumas particularidades. Destacam-se a presença de grandes

extensões de linhas de transmissão e, em decorrência de condições geográficas amplamente favoráveis, a predominância de usinas hidrelétricas no seu parque gerador. Aproximadamente 90% da capacidade de geração instalada são de origem hidráulica, sendo que, em termos de produção efetiva, essa proporção aproxima-se de 95% (MME, 2003a).

Segundo GOMES *et al.* (2002), a história desse setor pode ser contada a partir de meados do século XIX, com o fortalecimento do setor urbano, que começou a se diferenciar significativamente do rural. As expansões da indústria de construção civil e da oferta de infra-estrutura urbana, decorrentes do crescimento das cidades, foram os responsáveis pelas primeiras utilizações da energia elétrica no País, especificamente na iluminação e transporte públicos.

A primeira hidrelétrica brasileira foi construída em 1883, no município de Diamantina (MG), e tinha como objetivo gerar energia para o acionamento dos equipamentos utilizados na extração de diamantes. Dois outros projetos hidrelétricos, destinados à autoprodução, foram implantados nos anos de 1885 e 1887: o da Companhia Fiação e Tecidos São Silvestre, em Viçosa (MG), e o da *Compagnie des Mines d'Or du Faria* em Nova Lima (MG). Várias usinas de pequeno porte, principalmente termoelétricas, foram instaladas entre os anos de 1890 e 1900 para atender à demanda da iluminação pública, à mineração, ao beneficiamento de produtos agrícolas e às indústrias têxteis e serrarias (GOMES *et al.*, 2002).

Segundo BRANCO (1996), esta foi a primeira de um total de quatro etapas que teriam caracterizado o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro. Essa primeira etapa se estendeu até o início da década de 1930, época em que o setor começava a concentrar capital através de uma série de fusões e aquisições de empresas.

A segunda fase de desenvolvimento do setor, compreendida entre o início da década de 1930 e o final da II Guerra Mundial, foi marcada por uma maior concentração de capital e predomínio de empresas estrangeiras, além do descompasso entre o crescimento da oferta e o da demanda.

MORITZ (2001) lembrou ainda que o marco regulatório do setor surgiu nessa etapa, com o Código de Águas em 1934. Entretanto, seu caráter nacionalista provocou incertezas regulatórias que desencorajaram investimentos dos grandes grupos estrangeiros instalados no Brasil. Como consequência, não houve sintonia entre a expansão da capacidade instalada e o crescimento do consumo. BRANCO (1996) complementou ao afirmar que, enquanto o consumo conjunto das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro cresceu 250% entre 1930 e 1945, a capacidade de geração de energia foi acrescida em apenas 74%, em São Paulo, e 64% no Rio de Janeiro.

A terceira fase, iniciada no pós-guerra e que se estendeu até o fim dos anos 70, apresentou como característica principal a crescente participação do Estado no setor, que passou a investir diretamente na produção de energia elétrica. Nesse período, ainda foram criadas a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), em 1945, as Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), em 1952, o Ministério das Minas e Energia e o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), no ano de 1960, e a Eletrobrás, em 1962 (BRANCO, 1996). Entre os anos de 1962 e 1967, foi consolidada a estrutura organizacional que iria planejar, regular, fiscalizar e expandir os serviços de energia elétrica até o início da década de 1990.

A quarta e última etapa, iniciada na década de 1980, trouxe consigo a crise econômico-financeira do setor. De acordo com PIRES *et al.* (2002), o agravamento da crise fiscal do Estado reduziu o aporte de recursos da União para investimentos no setor, tornando os investimentos das empresas estatais incapazes de acompanhar o crescimento da demanda no País. Complementando, ARAÚJO (2001) lembrou que a falta de recursos financeiros ainda resultou no atraso e/ou suspensão de projetos de expansão dos segmentos de geração e transmissão.

Segundo BRANCO (1996), foi também presenciada uma profunda deterioração da situação econômico-financeira das empresas. Tal situação seria decorrente de três fatores principais: redução artificial das tarifas de energia com o intuito de conter o processo inflacionário; queda nas taxas de crescimento do

mercado, que passaram de 12% a.a., na década de 70, para 6% a.a., na década seguinte; elevados juros externos que, em termos nominais, ultrapassaram os 17% em 1982.

A situação de falência do modelo de financiamento do setor e a ameaça iminente de uma crise de fornecimento de energia por todo o País deram origem a uma série de mudanças institucionais, implementadas a partir de 1993, através da Lei 8.631 e, posteriormente, com as Leis 8.987/95 e 9.074/95, em 1995.

De acordo com PIRES *et al.* (2001), a Lei 9.074/95 constituiu os pilares do funcionamento do novo modelo e do início do processo de privatização de ativos públicos, iniciado pela venda das distribuidoras federais e, posteriormente, acompanhado pela venda das empresas estaduais.

PIRES (1999) citou ainda que duas outras leis foram de grande importância para o novo modelo do setor. A Lei 9.427/96 que, por ter criado a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), representou um marco na reforma regulatória do setor elétrico brasileiro, e a Lei 9.648/98 que, dentre outras coisas, definiu as regras de entrada de novas empresas, as tarifas e a estrutura de mercado. Essa Lei ainda criou o Mercado Atacadista de Energia (MAE), que foi uma importante medida na direção de estimular a competição na geração e comercialização da energia elétrica (MME, 2003a).

Todas essas mudanças foram implementadas com os objetivos de diminuir o risco de déficit energético; aumentar a competição e garantir a eficiência do sistema; incentivar novos investimentos, sobretudo privados; assegurar a melhoria da qualidade dos serviços com preços mais justos ao consumidor e implementar a diversificação da matriz geradora de energia (ENERGIABRASIL, 2002). PIRES (1999) citou ainda que, dentre as mudanças ocorridas, mereceu destaque o redesenho do papel do Estado, cuja intervenção passou a ter caráter regulatório em detrimento da provisão direta dos serviços.

Entretanto, os objetivos principais dessas mudanças não foram alcançados na íntegra. Dentre outros pontos que também não obtiveram êxito, podem ser citados a tarifa de fornecimento, que se mostrou além do nível geral de preços da economia, e o comprometimento da expansão do sistema que, ao

gerar uma nova crise financeira no setor, reintroduziu a questão da inadimplência nos fluxos financeiros intra-setoriais, influenciando negativamente a geração de recursos das empresas para a manutenção adequada da prestação dos serviços (MME, 2003a).

ARAÚJO (2001) considerou que várias foram as causas do insucesso dessas mudanças. De acordo com esse autor, as propostas de reformas teriam subestimado as particularidades do sistema brasileiro de geração, de base preponderantemente hidrelétrica, ao se iniciar a privatização das empresas distribuidoras antes mesmo da definição de regras claras para o setor. As incertezas criadas, que seriam um forte desestímulo à iniciativa privada por si só, foram agravadas por outros equívocos. O Governo Federal, na tentativa de tornar as empresas estatais atraentes para os investidores, promoveu uma série de cortes nos custos dessas empresas, mas, juntamente com despesas supérfluas, teria cortado muitos investimentos fundamentais para essas empresas.

Esse quadro ainda foi agravado em decorrência dos acordos firmados entre o Governo e o Fundo Monetário Internacional (FMI), que exigiam grandes superávits primários e não faziam qualquer distinção entre os valores que deveriam ser computados como despesas daqueles que deveriam ser registrados como investimentos. O resultado foi uma brusca contenção de investimentos no setor elétrico, impedindo a expansão da capacidade de grandes geradoras e também a construção de uma enorme linha de transmissão, esta que ligaria Itaipu ao Sudeste do País. ARAÚJO (2001) considerou, entretanto, que dentre todos os equívocos cometidos, o maior foi priorizar a competição entre os agentes quando, na verdade, deveriam ter sido priorizados os investimentos.

Diante da insuficiência dos investimentos na expansão dos segmentos de Geração e Transmissão e da ocorrência de um dos piores regimes pluviométricos das últimas décadas, observou-se o contínuo esvaziamento dos reservatórios nas regiões Sudeste e Nordeste, o que trouxe séria ameaça de “apagões” na maior parte do País. O Governo não viu outra alternativa senão a implantação de um programa de racionamento do consumo de energia elétrica, que vigorou entre junho de 2001 e fevereiro de 2002. O programa foi implantado nas regiões

Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Na região Norte, teve menor duração, estando presente entre agosto de 2001 e janeiro de 2002⁸.

A resposta da sociedade brasileira ao desafio de reduzir o consumo de energia elétrica foi imediata, afastando a necessidade de corte generalizado no suprimento desse tipo de energia (ARAÚJO *et al.*, 2003). A partir da Tabela 3, pode-se verificar em que magnitude o consumo de energia elétrica foi reduzido em cada região do País, por cada uma das três principais classes consumidoras.

Tabela 3 – Redução percentual do consumo de energia elétrica no Brasil, em suas Regiões e em Minas Gerais, por classes de consumo, no período 06/2001-03/2002

Classes	Regiões					
	Brasil	MG	N	NE	SE	CO
Residencial	22,4	24,6	7,5	22,1	27,7	24,1
Comercial	16,3	19,8	3,6	22,5	19,0	18,1
Industrial	11,8	13,9	9,5	15,4	15,0	4,2
Total	15,4	16,8	7,3	17,5	19,2	17,4

Fonte: BANCO CENTRAL DO BRASIL, citado em ARAÚJO *et al.* (2003).

Apesar de bem-sucedido, tal programa trouxe resultados negativos para a economia brasileira. As estimativas da SECRETARIA DE POLÍTICA ECONÔMICA (2001) indicam que o impacto do racionamento de energia elétrica sobre o crescimento previsto (4,4%) do PIB brasileiro, no ano de 2001, foi de dois pontos percentuais.

Visando suprir as deficiências do modelo então em vigor, foi publicado, em dezembro de 2003, um novo Modelo Institucional para o setor (MME, 2003b). O novo projeto regulatório do setor de energia elétrica pretende criar um ambiente propício à retomada de investimentos. Seu ponto de partida é a garantia

⁸ Para detalhes, ver PIRES *et al.* (2002).

da justa remuneração para os investidores, de modo a fornecer incentivos à expansão da geração, respeitando a modicidade tarifária, continuidade, qualidade e universalização do acesso e do uso para os consumidores do serviço de energia elétrica.

2.2. Energia em Minas Gerais⁹

O Estado de Minas Gerais configura-se como um dos mais importantes consumidores de energia do País. Em 2002, praticamente manteve inalterada sua participação na demanda nacional em relação ao ano anterior, consumindo um total de 27,48 milhões de tEP¹⁰, o que representou 13,9% da energia consumida no Brasil. No período de 1970 a 2002, a demanda de energia em Minas Gerais apresentou crescimento médio de 2,4% ao ano, enquanto esse crescimento foi de 2,7% ao ano para o País como um todo.

As fontes energéticas renováveis, dentre as quais se destacam a Energia Hidráulica e a fonte Lenha e derivados, diferentemente da média nacional de 39,8%, respondem por 51,7% da matriz energética do Estado, como resultado da sua carência em fontes de energia de origem fóssil e de seu expressivo potencial hidráulico. A Tabela 4 apresenta a participação das diversas fontes na demanda de energia do Estado.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, a fonte de maior participação na matriz energética de Minas Gerais é a Petróleo, gás natural e derivados, que ocupa esta posição desde 1997. No período de 1978 a 2002, o consumo dos tipos de energia que têm origem nessa fonte apresentou crescimento médio de 2,15% a.a.. Esse crescimento seria maior se não fosse a redução do consumo nos primeiros anos desse período, como resultado da elevação dos preços internacionais do petróleo a partir de meados da década de 1970.

⁹ Exceto especificação contrária, todas as informações e dados apresentados nesse tópico foram obtidos junto ao 18º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais, elaborado pela CEMIG (2003).

¹⁰ A unidade de medida tEP, que significa tonelada Equivalente de Petróleo, é utilizada para permitir agregações e comparações entre os diversos tipos de energéticos, uma vez que existem várias unidades de medida para esses, tais como: quilo calorias (kcal), Joule (J), *British Thermal Unity* (BTU), quilowatt-hora (kWh), etc.

Tabela 4 – Demanda de energia em Minas Gerais, por fonte (em %) – 2002

FONTES ENERGÉTICAS	% DO TOTAL
Petróleo, gás natural e derivados	33,2
Lenha e derivados	30,9
Carvão mineral e derivados	15,1
Energia hidráulica	13,3
Outras fontes	7,5

Fonte: CEMIG (2003).

A fonte Lenha e derivados, que até o ano de 1996 se constituía na principal fonte do Estado, tem seu comportamento melhor analisado ao se dividir o período de 1978 a 2002 em dois segmentos. Entre 1978 e 1985, essa fonte manteve em torno de 48% sua participação na matriz energética de Minas Gerais. A partir de 1986, verifica-se uma redução contínua dessa participação, principalmente em resposta ao declínio da siderurgia a carvão vegetal.

Apesar de grande produtor, historicamente Minas Gerais se caracterizou como um importador de energia de outros estados. A demanda crescente dos energéticos importados fez com que, ao longo do tempo, a dependência relativa aumentasse, ultrapassando os 50% a partir de 2001. Entre as importações, merecem destaque o petróleo que, em 2002, respondeu por 37,7% do total importado pelo Estado, e o carvão metalúrgico que, nesse mesmo ano, representou 18,9%.

Ao contrário dos demais tipos de energia, a energia elétrica, o querosene e o urânio (U_3O_8) sempre apresentaram exportações líquidas ao longo do período 1978-2000. Entretanto, quando se analisa a participação da energia elétrica nas exportações do Estado, nota-se uma inversão desse comportamento a partir de 2001 quando, pela primeira vez, Minas Gerais importou quantidade superior às suas exportações. Em 2002, pelo segundo ano consecutivo, o Estado foi importador líquido de energia elétrica, em decorrência da crise nacional de geração hidrelétrica. Nesse ano, a importação líquida desse tipo de energia foi de

7.015 GWh, correspondendo a 17,8% de toda a energia elétrica produzida em Minas Gerais.

Ao se analisar setorialmente a matriz energética de Minas Gerais, percebe-se que, basicamente, quatro setores respondem pela energia consumida no Estado. A Tabela 5 apresenta a composição setorial da demanda de energia.

Tabela 5 – Demanda de energia em Minas Gerais, por setor (em %) – 2002

SETORES	% DO TOTAL
Industrial	61,5
Transportes	18,6
Residencial	13,4
Agropecuário	2,4
Outros setores e Perdas	4,1

Fonte: CEMIG (2003).

A partir da Tabela 5, pode-se concluir que o setor Industrial é o maior consumidor de energia no Estado, com participação superior a 60%. Cabe ressaltar que a importância desse setor no consumo de energia tem sido historicamente mantida. Entre 1978 e 2002, apenas no período 1996-2001 esta participação foi inferior a 60%, atingindo índice mínimo em 1999, com 57,8% do consumo estadual de energia. Nesse setor, o Carvão vegetal é a principal fonte de energia, tendo respondido por 23,5% do consumo total em 2002, porém, com o declínio da siderurgia a carvão vegetal, seu consumo vem sendo reduzido desde 1989.

Ainda de acordo com a Tabela 5, constata-se que o setor de Transportes ocupa o posto de segundo maior consumidor de energia, consumindo 18,6% do total estadual. Nesse setor, o Óleo Diesel constitui a fonte de energia mais consumida, representando, em 2002, aproximadamente 61% do seu consumo

total. A partir de uma análise do período 1978-2002, verifica-se todavia que, até o ano de 1995, o posto de segundo maior consumidor foi ocupado pelo setor Residencial, que tem a Lenha como a fonte mais consumida.

2.2.1 Energia Elétrica em Minas Gerais

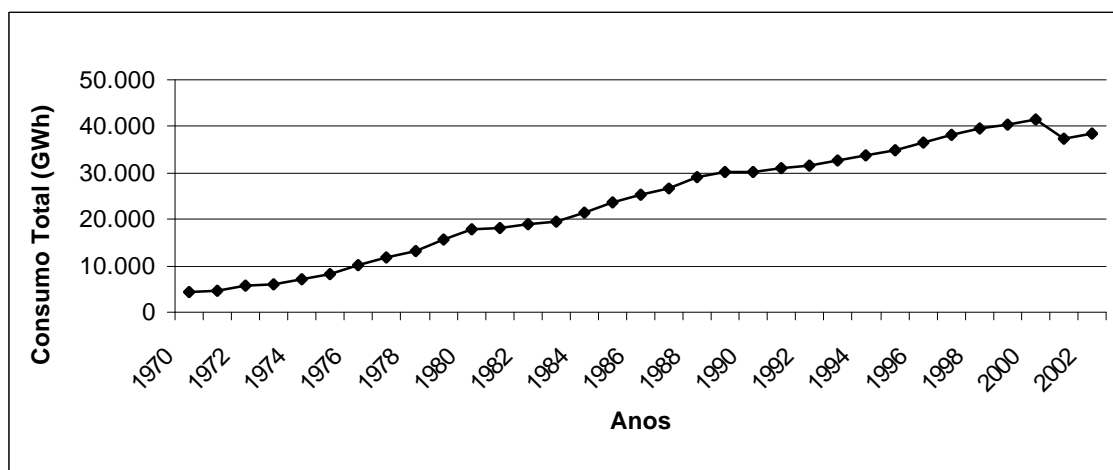
A energia elétrica é um dos tipos de energia mais consumido em Minas Gerais, tendo representado, em 2002, 12,8% do consumo total. A produção dessa energia no Estado é quase que totalmente de origem hidráulica. Em 2002, foi equivalente a 89,5% da quantidade produzida. Uma pequena parcela é de origem térmica, sendo gerada por empresas autoprodutoras e pelas Usinas Térmicas de Igarapé e Formoso, ambas pertencentes à CEMIG. Há ainda energia elétrica de origem eólica, produzida na Usina Eólio-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho, também de propriedade da CEMIG.

A localização do parque gerador do Estado é definida pela posição geográfica de seus potenciais hidrelétricos. Com exceção do Rio São Francisco, situado na área central e que corta o Estado na direção sul/norte, os principais potenciais hidrelétricos se localizam a oeste, mais precisamente nos Rios Paranaíba e Grande. Por outro lado, o mercado consumidor está localizado na parte central e no leste do Estado, particularmente no Vale do Aço, criando um fluxo de energia elétrica na direção oeste-leste, através de um pesado sistema de transmissão (TORRES e ALMEIDA, 2002).

O atendimento à demanda de energia elétrica é feito principalmente pela CEMIG, que em 2002 atendeu a aproximadamente 92% da demanda no Estado, pelas Companhias Força e Luz Cataguazes-Leopoldina (CFLCL) e Luz e Força de Mococa (CLFM), e pelo Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas (DEMPC) (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2004a).

De 1970 a 2002, o consumo de energia elétrica em Minas Gerais apresentou crescimento significativo. O consumo, que em 1970 foi de 4.408,1 GWh, alcançou valor máximo no ano 2000, com 41.413,6 GWh consumidos. Em 2001, em decorrência do programa de racionamento implantado em junho desse

ano, a quantidade consumida foi reduzida, voltando a crescer em 2002, embora em níveis inferiores ao observado em 2000. A Figura 2 apresenta o comportamento do consumo total de energia elétrica em Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2002a) e (2004a).

Figura 2 – Evolução do consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais, no período 1970-2002.

O crescimento mais significativo do consumo de energia elétrica ocorreu durante a década de 70, quando foi registrado crescimento médio de 15,8% a.a.. Na década seguinte, houve mudança significativa na dinâmica dessa variável, e a taxa de crescimento médio foi reduzida para 6,6% a.a.. Entretanto, nova redução ocorreria na década de 90, quando essa taxa atingiu 3,5% a.a..

O mercado mineiro de energia elétrica tem como principal característica um intenso consumo industrial, justificando sua concentração na parte central do Estado e no Vale do Aço. Segundo FIGUEIREDO e DINIZ (2000), a Microrregião de Belo Horizonte, composta por 51 municípios, constitui-se na maior concentração industrial de Minas Gerais. Por outro lado, de acordo com DINIZ (1996), no Vale do Aço estão localizadas as grandes usinas siderúrgicas

(a Belgo Mineira, em João Monlevade, a Usiminas, em Ipatinga, e a Acesita, no município de Timóteo), cuja diversificação poderá permitir maior integração com a indústria da região central.

A elevada participação relativa do consumo industrial de energia elétrica é decorrente da presença de indústrias eletro-intensivas no Estado. Como resultado, a participação de Minas Gerais no consumo industrial do País, que em 2002 foi de 17%, é superior à sua participação no consumo total que, nesse mesmo ano, atingiu 12,7% (TORRES e ALMEIDA, 2002). Seguindo a análise apresentada em TORRES e ALMEIDA (2002), pode-se confirmar, através da Tabela 6, que a classe Industrial possui maior participação relativa no cenário estadual que no nacional.

Tabela 6 – Consumo de energia elétrica, em Minas Gerais e no Brasil, por classe de consumo (em %), em 2002

CLASSE DE CONSUMO	MINAS GERAIS	BRASIL
Industrial	59	43,9
Comercial	9,4	15,6
Residencial	18,4	25
Outros	13,2	15,5

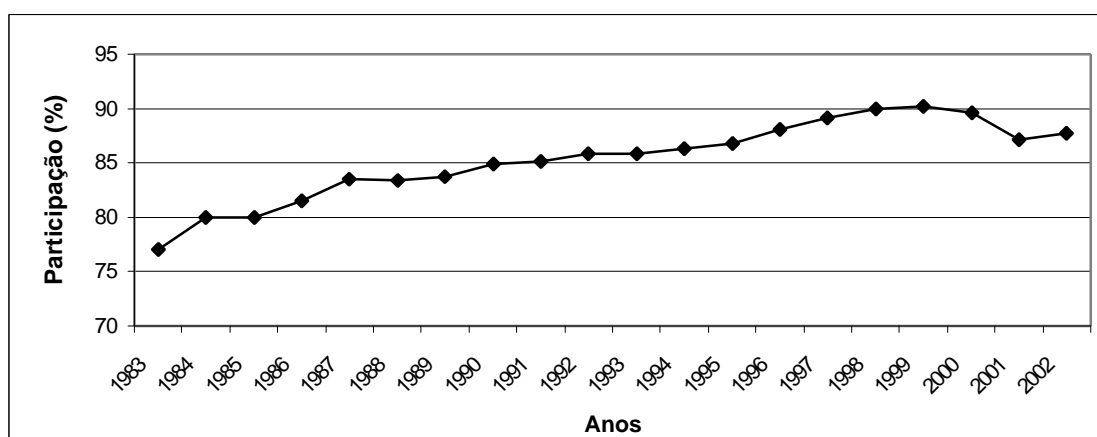
Fonte: ELETROBRAS (2002a).

De acordo com a Tabela 6, enquanto a classe Industrial representa 59% do consumo estadual de energia elétrica, essa classe tem menor participação relativa quando se considera o mercado nacional. Uma comparação entre os demais estados mostra que apenas o Pará e o Maranhão apresentam participações relativas do consumo industrial superiores ao Estado de Minas Gerais. Em 2002, de acordo com dados da ELETROBRAS (2002a), o consumo industrial no Pará representou 70,6% do consumo total nesse Estado, enquanto no Maranhão esse índice foi de 76,4%. Além desses estados registrarem um consumo total inferior

ao mineiro, apresentam poucas indústrias, mas com alto consumo. Destacam-se a Alumar, de alumínio, no Maranhão, e a mineração Carajás, no Pará (TORRES e ALMEIDA, 2002).

2.2.2. Consumo Comercial de Energia Elétrica em Minas Gerais

A energia elétrica tem se mostrado, historicamente, a mais importante fonte de energia consumida pela classe Comercial em Minas Gerais. No período de 1983 a 2002, foi a única fonte a ter aumentada sua participação no consumo total do Estado. A Figura 3 apresenta a evolução da participação desse tipo de energia no consumo total da classe Comercial, no período 1983/2002.

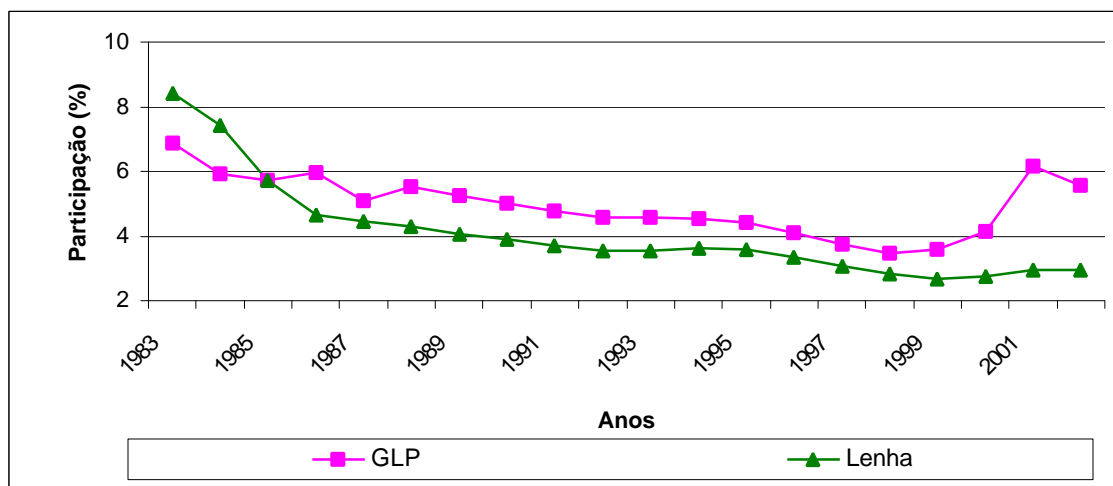


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CEMIG (2003).

Figura 3 – Evolução da participação relativa da energia elétrica no consumo total de energia pela classe Comercial em Minas Gerais – 1983/2002.

A energia elétrica teve participação média no consumo total de energia superior a 85%, atingindo seu máximo em 1999, quando correspondeu a 90,2% do consumo total de energia do Estado. Em média, o crescimento de sua participação foi de 0,8% a.a..

As outras duas fontes de energia mais consumida são o gás liquefeito de petróleo (GLP) e a lenha. Entretanto, conforme pode ser constatado a partir da Figura 4, essas fontes são pouco significativas no consumo total da classe Comercial, quando comparadas à energia elétrica.



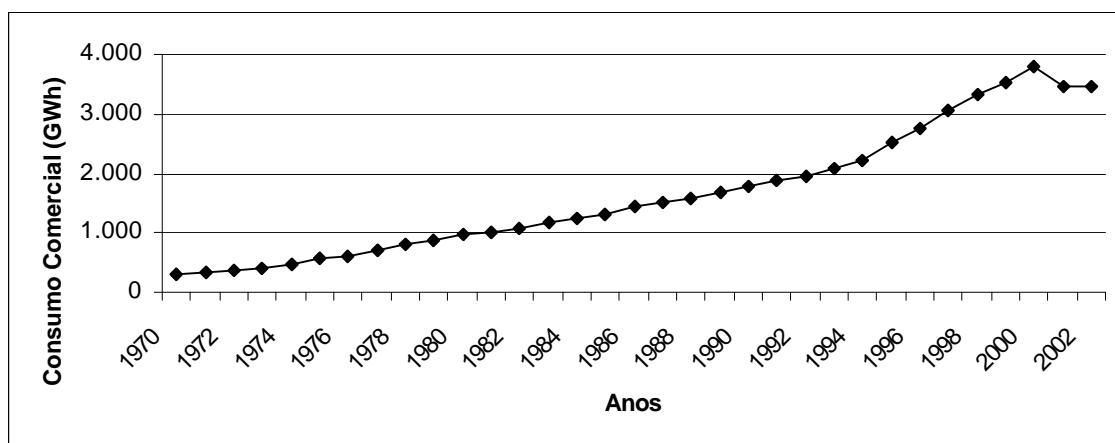
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CEMIG (2003).

Figura 4 – Evolução das participações relativas do GLP e da lenha no consumo total de energia pela classe Comercial em Minas Gerais – 1983/2002.

A partir da Figura 4, pode-se observar que o consumo relativo de lenha decresceu ao longo de quase todo o período analisado. Em 1983, essa fonte representava 8,4% da energia consumida em Minas, enquanto que em 2002, sua participação já havia sido reduzida para apenas 2,9%. O mesmo pode ser dito sobre o comportamento GLP, segunda fonte mais consumida de energia. Em 1983, respondia por 6,9% do consumo, já em 2002, por 5,6%. Em 2001, ano em que ocorreu o racionamento do consumo de energia elétrica, esse índice se elevou para 6,2%.

No período de 1970 a 2002, o consumo absoluto da energia elétrica pela classe Comercial cresceu a uma taxa média de 7,9% a.a.. Dentre as três principais

classes consumidoras, foi a que apresentou a segunda maior taxa de crescimento, tendo sido superada apenas pela classe Residencial (FJP, 2004a). A Figura 5 apresenta a evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Comercial, em Minas Gerais, no período 1970/2004.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2002a) e (2004a).

Figura 5 – Evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Comercial, em Minas Gerais, no período 1970/2002.

O crescimento mais significativo do consumo de energia elétrica ocorreu durante a década de 70, sendo este quase triplicado. Em 1970, foram consumidos 313,3 GWh, enquanto que em 1979, esse total alcançou 877 GWh. O menor crescimento do consumo de energia elétrica na classe Comercial foi observado na década de 80. Sua trajetória de crescimento foi mantida, porém em um ritmo consideravelmente inferior ao da década anterior, sendo elevado de 966,3 GWh, em 1980, para 1.666,5 GWh em 1989. No decorrer da década de 90, o consumo de energia elétrica cresceu num ritmo superior em relação à década anterior. A quantidade consumida passou de 1.770,2 GWh, em 1990, para 3.528,2 GWh em 1999.

Após atingir seu nível máximo no ano 2000, um total de 3.794 GWh, o que representou aproximadamente 9,2% de toda energia elétrica consumida em Minas Gerais, o consumo de energia elétrica foi reduzido no ano seguinte, como resultado do programa de racionamento. Em 2002, a quantidade consumida voltou a crescer, porém esteve abaixo dos níveis observados no final da década de 90. Nesse ano, foram consumidos 3.475 GWh pela classe Comercial.

Ao longo dessas três décadas, o comportamento do consumo de energia elétrica na classe Comercial provavelmente esteve relacionado à dinâmica de outras variáveis. Passa-se, a seguir, a descrever e analisar a forma com que essas variáveis se relacionaram ao longo do tempo. A Tabela 7 apresenta as taxas geométricas de crescimento dessas variáveis, inclusive do consumo em cada uma das décadas.

Tabela 7 – Taxas geométricas de crescimento¹¹ do PIB Comercial, Consumo Comercial, número de consumidores, Consumo médio por consumidor e das Tarifas Comerciais de energia elétrica, em Minas Gerais (em % ao ano)

	1970-1979	1980-1989	1990-1999	1970-2002
PIB Comercial	10,7 ***	1,9 **	1,2 **	2,6 ***
Consumo Comercial	12,6 ***	6,4 ***	8,4 ***	7,9 ***
Número de consumidores	8,6 ***	5,4 ***	4,8 ***	5,9 ***
Consumo médio por consumidor	3,7 ***	1,0 ***	3,5 ***	1,8 ***
Tarifas	-3,7 ***	-1,9 *	-2,9 ***	-3,0 ***

Fonte: Dados da pesquisa¹².

Notas: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%.

¹¹ A taxa geométrica de crescimento (TGC) foi estimada a partir da regressão $\ln Y = a + \beta t + e_t$, em que a $TGC = [\text{antilog}(\beta) - 1] \times 100$.

¹² As fontes dos dados básicos são citadas na seção 3.5 (Fontes e operacionalização dos dados).

A classe Comercial apresentou um crescimento bastante significativo do PIB durante a década de 70 que, somado ao aumento do número de estabelecimentos comerciais eletrificados, foi decisivo para a elevação expressiva do consumo total de energia elétrica nessa classe. De acordo com DINIZ (2002), o bom desempenho dos setores industriais e agrícolas gerou efeitos que foram transbordados para os demais setores da economia, especialmente para a construção civil e as atividades urbanas em geral, onde estão concentradas as atividades comerciais. Tais efeitos ainda provocariam expansão do nível de emprego e, conseqüentemente, o aumento da demanda corrente, realimentando o dinamismo da economia.

Outro fator que provavelmente influenciou a dinâmica do consumo de energia elétrica, pela classe Comercial mineira, foi o comportamento das tarifas reais médias de fornecimento. Essas, apesar de apresentarem alta nos anos de 1972 e 1973, decresceram ao longo da década.

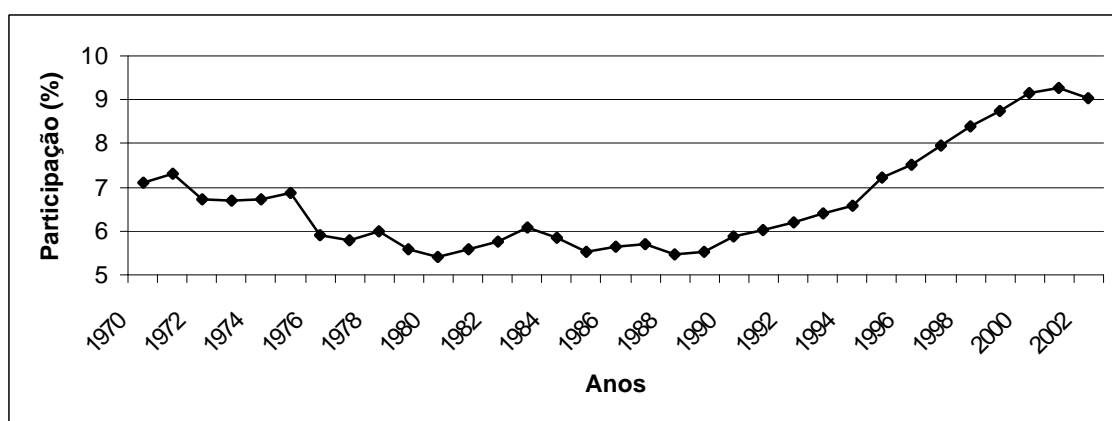
O número de consumidores comerciais cresceu, em média, 8,6 % a.a. e, por ter sido inferior ao crescimento do consumo de energia, resultou na elevação do consumo médio por consumidor que passou de 3.620 KWh/ano, em 1970, para 5.020,3 KWh/ano em 1979.

Após ter apresentado crescimento significativo nos anos 70, o PIB Comercial apresentou duas trajetórias distintas na década seguinte. Até 1984, sua trajetória foi descendente, com redução média de 1,4% a.a.. A partir de 1985, o crescimento foi positivo, em média, 2,4% a.a.. O consumo de energia elétrica pela classe Comercial, assim como o PIB, apresentou crescimento muito inferior em relação à década anterior, praticamente acompanhando o aumento do número de consumidores, o que justificou o pequeno acréscimo no consumo médio por consumidor. As tarifas reais de energia elétrica dessa classe apresentaram comportamento instável durante o período, mas estiveram abaixo dos níveis praticados na década de 70.

Nos anos 90, o consumo de energia elétrica pela classe Comercial cresceu a taxas superiores à década anterior. Observava-se alternância no comportamento do PIB Comercial que registrava incrementos positivos por dois

anos consecutivos, e incrementos negativos no terceiro ano. O resultado final foi um crescimento positivo dessa variável ao final da década. Na primeira metade da década (1990/1994), as tarifas reais decresceram em média 3,8% a.a. e o consumo médio por consumidor cresceu em média 2% a.a.. Na segunda metade (1995/1999), as tarifas reais de energia elétrica se mantiveram estáveis e o consumo médio por consumidor cresceu 0,7% a.a..

Apesar da classe Comercial ter elevado significativamente seu consumo de energia elétrica ao longo do período 1970/2002, sua participação, no total consumido no Estado, registrou três comportamentos distintos, conforme pode ser observado na Figura 6.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2004a).

Figura 6 – Evolução da participação do Consumo Comercial no consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais – 1970/2002.

Durante a década de 1970, a classe Comercial teve sua participação no consumo total de energia elétrica reduzida, passando de 7,1%, em 1970, para 5,6% em 1979. A partir de 1980, quando esse índice atingiu seu valor mínimo, de 5,4%, iniciou-se uma trajetória com pequenas oscilações em torno do valor médio de 5,7%.

Durante a década de 90, a classe Comercial aumentou de forma expressiva sua participação no consumo do Estado. Registrou um crescimento inferior apenas ao da classe Residencial e atingiu 8,7% do total em 1999. Em 2001, essa classe obteve a maior participação em todo o período 1979/2002, com 9,3% do consumo de energia elétrica em Minas Gerais.

Vale lembrar que o mesmo ocorreu no mercado nacional. A partir de meados dessa década, o consumo da referida classe passou a liderar o crescimento da demanda de energia elétrica, como resposta aos avanços e à modernização ocorridos no setor de serviços. Como exemplo, a expansão da indústria do turismo, a grande inserção dos *shopping centers*, além da informatização de vários segmentos, especialmente no setor financeiro (ELETROBRÁS, 2003a).

2.2.3. Consumo Industrial de Energia Elétrica em Minas Gerais

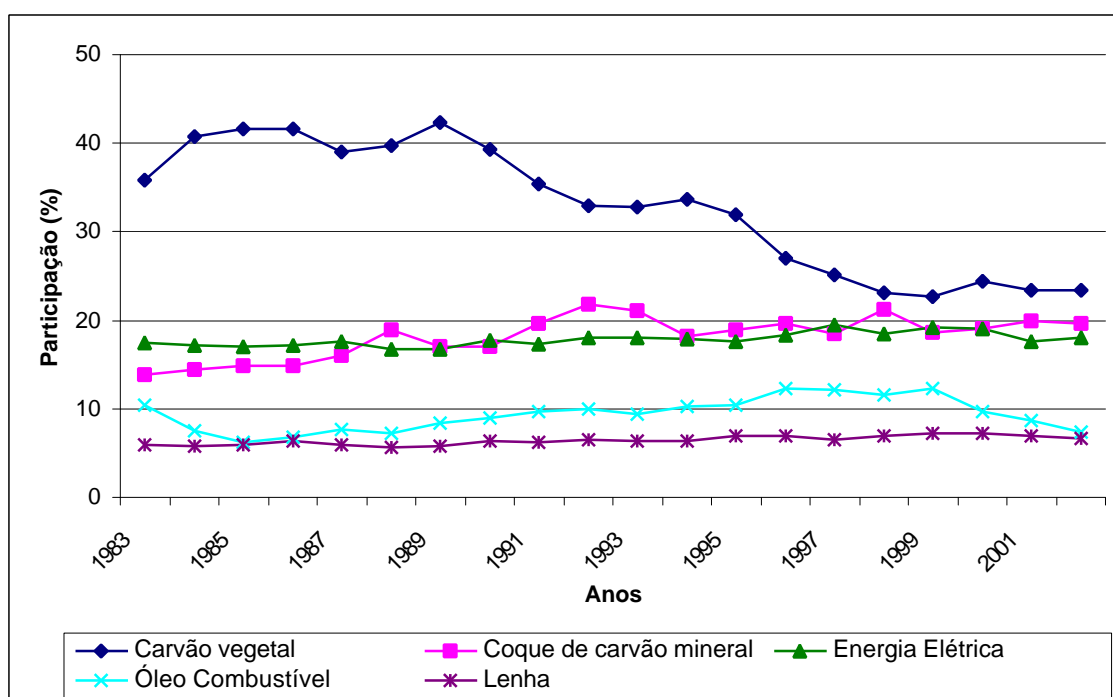
A energia elétrica tem ocupado posição de destaque dentre as diversas fontes de energia consumidas pela classe Industrial. No período de 1983 a 2002¹³, dividiu com o coque de carvão mineral o posto de segunda fonte mais consumida, sendo superada apenas pelo carvão vegetal. A evolução das participações das cinco fontes de energia mais consumidas na classe Industrial está apresentada na Figura 7.

O carvão vegetal, ao longo do período, sempre foi a fonte de maior peso na matriz energética da classe Industrial e apresentou duas trajetórias distintas. Num primeiro momento, de 1983 a 1989, apresentou crescimento médio de 2,81% a.a., enquanto que a partir de 1990, perdeu, continuamente, participação no consumo total de energia (CEMIG, 2003).

A fonte coque de carvão mineral foi a que apresentou maior crescimento, com taxa média de 1,83% a.a.. O crescimento do óleo combustível tornou-se relevante se desconsiderado o período em que esta fonte perdeu participação no

¹³ Apesar da análise proposta por este trabalho se referir ao período 1970/2002, os dados de consumo de energia por fonte são indisponíveis para os anos anteriores a 1983.

consumo de energia, ou seja, até o ano de 1985 (CEMIG, 2003). Essa redução seria resultado de uma política de substituição energética, ocorrida em Minas Gerais e no Brasil, em função dos denominados choques do petróleo e dos aumentos das taxas de juros internacionais, decorrentes da crise do sistema financeiro mundial (MINAS GERAIS, 1984).

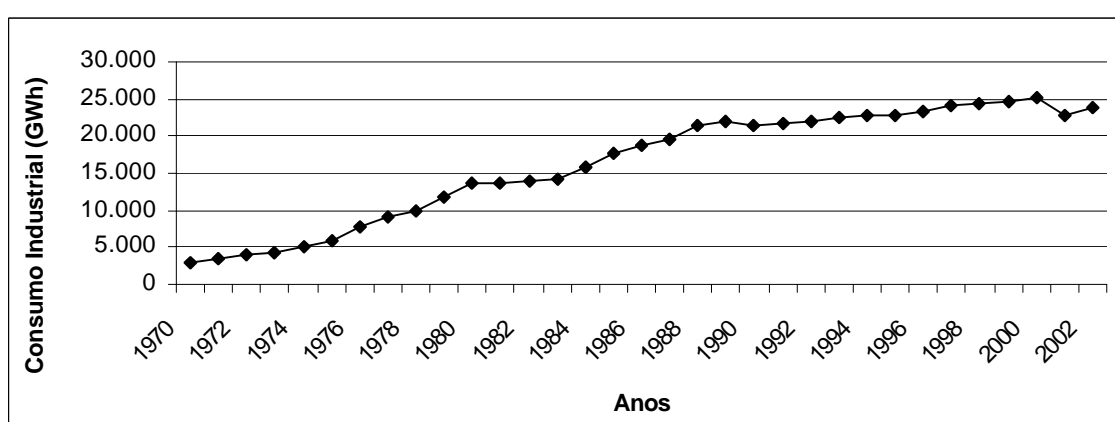


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CEMIG (2003).

Figura 7 – Evolução das participações relativas das cinco fontes de energia mais consumidas pela classe Industrial, em Minas Gerais – 1983/2002.

Dentre as fontes apresentadas na Figura 7, a energia elétrica foi, juntamente com a lenha, a que se mostrou mais estável ao longo do tempo. Sua participação se manteve praticamente inalterada, com taxa de crescimento médio de apenas 0,65% a.a.. Em média, a energia elétrica representou 17,9% do consumo total de energia, atingindo valor máximo de 19,5% em 1997.

Embora o crescimento do consumo de energia elétrica, em relação às demais fontes, tenha sido pouco expressivo, em termos absolutos o mesmo não ocorreu. No período de 1970 a 2002, o consumo de energia elétrica da classe Industrial cresceu à taxa média de 6,3% a.a.. Entretanto, das três principais classes consumidoras, a Industrial foi a que apresentou a menor taxa de crescimento. A Figura 8 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica pela classe Industrial, em Minas Gerais, no período 1970-2002.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2002a) e (2004a).

Figura 8 – Evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Industrial, em Minas Gerais, no período 1970/2002.

O crescimento mais expressivo ocorreu durante a década de 70, quando o consumo de energia elétrica por essa classe foi praticamente quadruplicado. Em 1970, foram consumidos 2.975,7 GWh, enquanto que em 1979 esse total já alcançava 11.915 GWh. A trajetória de crescimento do consumo foi mantida nos anos 80, porém a um ritmo consideravelmente inferior ao da década anterior. O consumo foi elevado de 13.733 GWh em 1980 para 22.079 GWh em 1989. Esse crescimento se deveu, principalmente, à expansão da indústria eletrointensiva, como as de ferro gusa e alumínio (MME, 2000). Entretanto, o menor crescimento

do consumo de energia elétrica ocorreu na década de 90. A quantidade consumida passou de 21.404 GWh em 1990 para 24.622 GWh em 1999.

Após atingir seu nível máximo no ano 2000 com um total de 25.093,4 GWh, o que representou aproximadamente 60,6% de toda energia elétrica consumida em Minas Gerais, o consumo pela classe Industrial foi reduzido no ano de 2001, como resultado do racionamento. Em 2002, a quantidade consumida voltou a crescer, porém ainda abaixo dos níveis observados no final da década de 90.

Ao longo dessas três décadas, o comportamento do consumo Industrial de energia elétrica provavelmente esteve relacionado à dinâmica de outras variáveis. Passa-se, a seguir, a descrever e analisar a forma com que essas variáveis se relacionaram ao longo do tempo. A Tabela 8 apresenta as taxas geométricas de crescimento dessas variáveis, inclusive do consumo em cada uma das décadas.

Tabela 8 – Taxas geométricas de crescimento do PIB Industrial, Consumo Industrial, nº de consumidores, Consumo médio por consumidor e das Tarifas Industriais de energia elétrica, em Minas Gerais (em % ao ano)

	1970-1979	1980-1989	1990-1999	1970-2002
PIB Industrial	14,8 ***	1,6 ***	3,3 ***	4,0 ***
Consumo Industrial	16,8 ***	6,2 ***	1,6 ***	6,3 ***
Número de consumidores	6,9 ***	4,9 ***	4,6 ***	5,5 ***
Consumo médio por consumidor	9,3 ***	1,2 **	-2,8 ***	0,8 *
Tarifas	-0,7 *	-0,9 ^{NS}	-1,6 **	-1,6 ***

Fonte: Dados da pesquisa¹⁴.

Notas: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; (^{NS}) não significativo.

¹⁴ As fontes dos dados básicos são citadas na seção 3.5 (Fontes e operacionalização dos dados).

Na década de 70, o consumo total Industrial acompanhou a trajetória de crescimento do PIB Industrial do Estado. Segundo HADDAD (1995), Minas Gerais foi a economia regional mais dinâmica do País, quando o Estado consolidou um sistema industrial competitivo e moderno, desenvolvendo aqueles setores que apresentavam maiores vantagens comparativas, de acordo com a política industrial nacional. Segundo DINIZ (2002), no período 1970/74, foram realizados investimentos industriais da ordem de US\$ 10 bilhões¹⁵, o que correspondeu a uma taxa de investimentos (investimento industrial/produto industrial) próxima de 100%.

O período 1970/74 representou o auge das decisões de investimentos para o Estado, sendo quatro os motivadores principais. a) o esgotamento da capacidade ociosa, em decorrência da euforia do “milagre”; b) a existência de vantagens locais para novos projetos, dada a disponibilidade de recursos naturais, posição geográfica, infra-estrutura, mão-de-obra especializada, base industrial já existente, etc.; c) grandes investimentos públicos em função da expansão do setor produtivo estatal; d) grande expansão do comércio e do movimento internacional de capitais favorecido pelo “boom” da economia mundial e pelo excesso de liquidez internacional (MINAS GERAIS, 1978).

Outro aspecto presente na indústria mineira na década de 70 foi a maior ocupação da mão-de-obra. FIGUEIREDO e DINIZ (2000) destacaram que essa década compreendeu o período áureo do crescimento do emprego, quando a indústria mineira aumentou em 132% o número de pessoas ocupadas.

As tarifas reais de energia elétrica da classe Industrial, embora em pequena magnitude, decresceram ao longo da década. O número de consumidores industriais cresceu em média 6,9 % a.a. e, por ter sido inferior ao crescimento do consumo de energia, resultou na elevação do consumo médio por consumidor que passou de 186,9 MWh/ano em 1970, para 468,5 MWh/ano em 1979.

¹⁵ Dólar a preços de 1975. Nesse ano, a taxa de câmbio real foi de 2,9382E-012 R\$/US\$ (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2005).

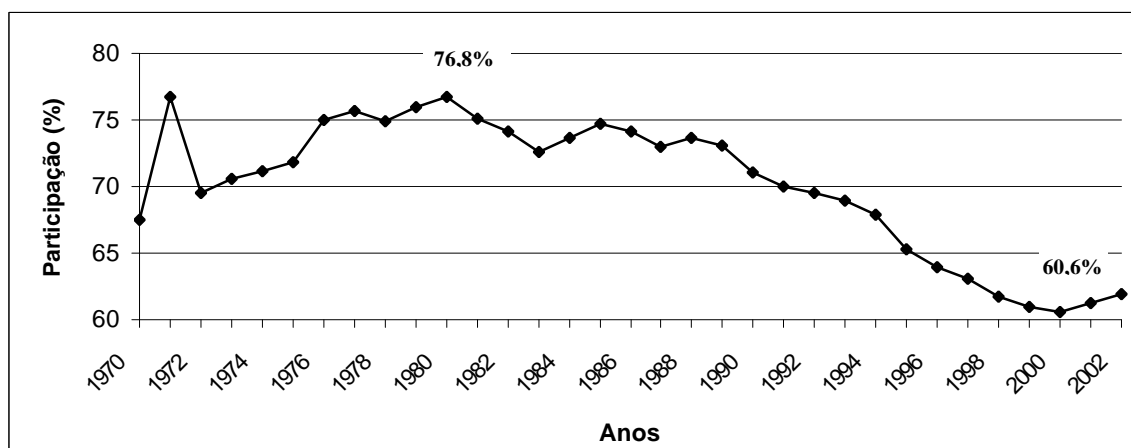
Durante a década de 80, conhecida como a “década perdida”, o PIB Industrial se manteve quase que inalterado com crescimento pouco expressivo. Segundo TOYOSHIMA e SILVA (2000), na segunda metade dessa década, a participação da indústria mineira na indústria nacional apresentou um declínio, embora pouco significativo, o que, segundo esses autores, mostra que o desempenho global da economia mineira foi marcado pela instabilidade e estagnação. Esses autores ressaltam que o desempenho da indústria mineira teria sido ainda pior se não fosse a notável expansão das exportações de produtos industriais. De acordo com HADDAD (1995), a economia mineira ainda registrou queda nas taxas de investimento, refletindo uma tendência geral da economia brasileira.

Nessa década, o consumo Industrial de energia elétrica apresentou crescimento muito inferior à década anterior, praticamente acompanhando o aumento do número de consumidores, o que justifica o pequeno acréscimo no consumo médio por consumidor. Entretanto, embora inferior à década de 70, o crescimento do consumo se mostrou superior ao do PIB Industrial. No mercado nacional de energia elétrica, o mesmo ocorreu como resultado da maturação de projetos industriais estruturados no II PND, já no final dos anos 70 (ELETROBRAS, 2003a). As tarifas reais de energia elétrica também apresentaram comportamento estável durante a década.

Apesar do PIB Industrial ter apresentado crescimento superior à década anterior e das tarifas de energia elétrica terem decrescido no período, o consumo de energia elétrica pela classe Industrial pouco cresceu na década de 90. LEÃO (1996), ao analisar o desempenho econômico das maiores empresas da indústria mineira, afirmou ter havido, no ano de 1995, acentuada redução nos lucros acumulados destas, sinalizando queda na capacidade de investimento da economia mineira a curto e médio prazo. Nessa década, o número de consumidores cresceu em média 4,6% a.a., provocando redução do consumo médio por consumidor.

Ao longo do período de 1970 a 2002, embora o consumo de energia elétrica tenha apresentado crescimento significativo em termos absolutos, a

participação da classe Industrial no consumo total de energia elétrica no Estado foi reduzida conforme apresentado na Figura 9.



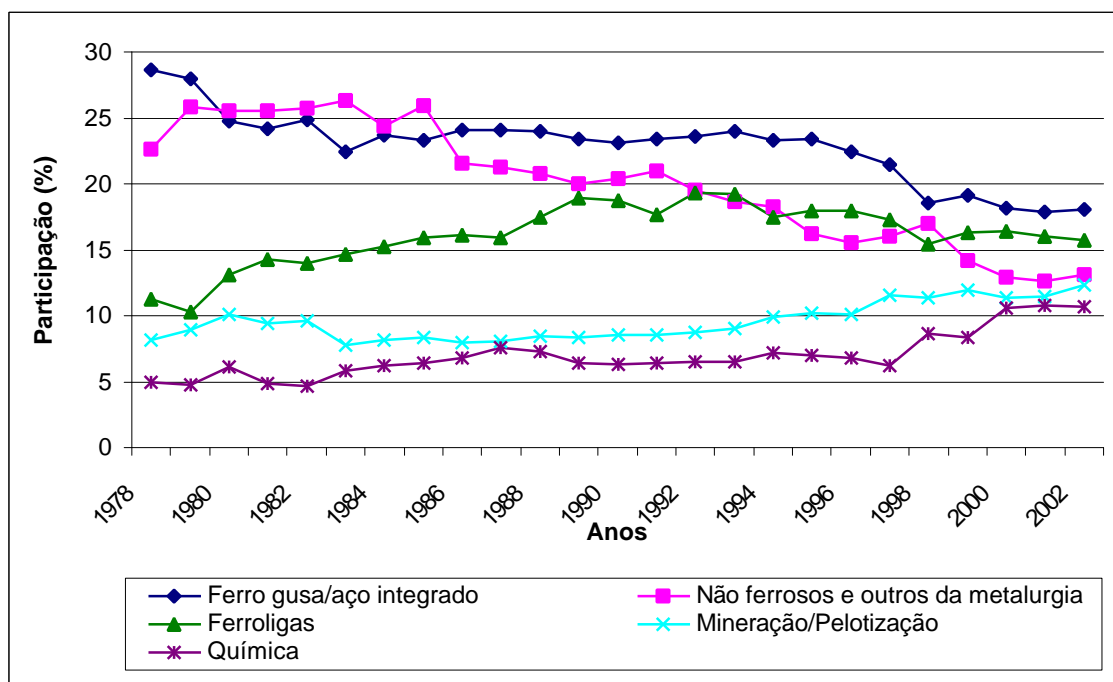
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2004a).

Figura 9 – Evolução da participação do consumo Industrial no consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais – 1970/2002.

De acordo com a Figura 9, o crescimento da participação relativa da classe Industrial só ocorreu na década de 70. A partir de 1980, quando tal participação atingiu seu valor máximo, 76,8%, iniciou-se um período em que a parcela da classe Industrial no consumo de energia elétrica do Estado foi cada vez menor. Na década de 90, essa classe permaneceu perdendo participação, atingindo 60,9% em 1999. Em 2000, obteve o menor índice de todo o período 1979/2002 com 60,6%. Tal participação voltou a registrar crescimento, embora pouco significativo nos anos de 2001 e 2002.

Dentre as indústrias que compõem a classe Industrial, podem ser destacadas cinco principais: Ferro gusa/aço integrado, Ferroligas, Mineração/Pelotização, Não-ferrosos e outros da metalurgia, e a indústria Química. A evolução da participação de cada um desses segmentos, no consumo

total de energia elétrica da classe Industrial, está apresentada na Figura 10. Ainda fazem parte da classe Industrial as indústrias de Alimentos e bebidas, Cimento, Cal, Têxtil, Papel e celulose, Cerâmica e Outros (CEMIG, 2003).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CEMIG (2003).

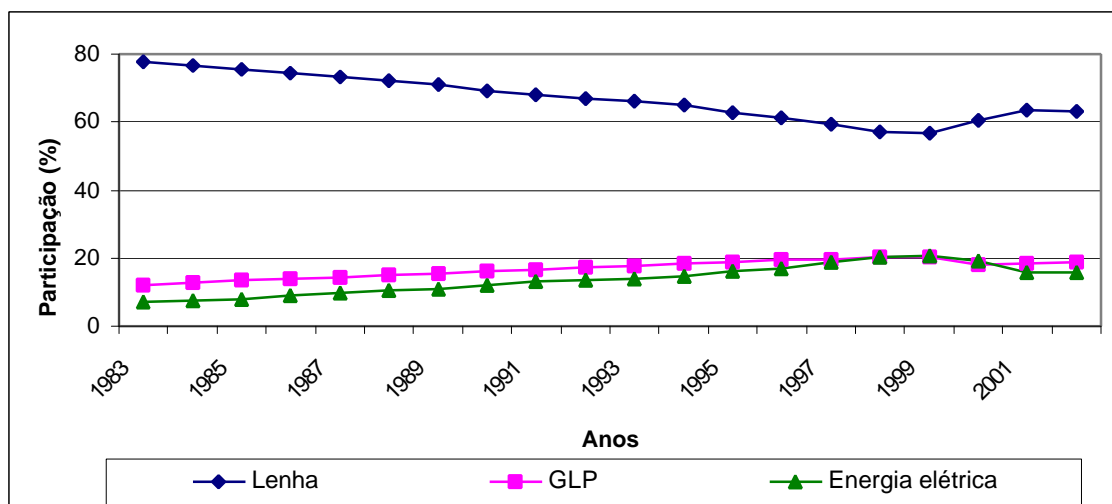
Figura 10 – Evolução da participação dos cinco principais consumidores da classe Industrial no Consumo Total Industrial de energia elétrica, em Minas Gerais – 1978/2002.

Conforme pode ser verificado na Figura 10, com exceção do período 1980/1985, o segmento Ferro gusa/aço integrado foi o responsável pela maior parcela de consumo de energia elétrica na classe Industrial. Entretanto, ao longo de todo o período, apresentou perda de participação no consumo total. Em 1978, esse segmento respondia por 28,6% do consumo Industrial, enquanto que em 2002, esse índice já havia sido reduzido para 18%. O segmento Não-ferrosos e outros da metalurgia, que até o ano de 1992 esteve entre os dois maiores

consumidores, também teve sua participação reduzida e, em 2002, já havia sido superado pela indústria de Ferroligas. Destaca-se ainda o crescimento contínuo das participações das indústrias Química e Mineração/Pelotização no consumo Industrial de energia elétrica.

2.2.4. Consumo Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais

A energia elétrica, embora amplamente utilizada nas residências, não se constitui no principal tipo de energia consumida no setor Residencial de Minas Gerais. No período de 1983 a 2002, exceto nos anos de 1998 a 2000, ocupou o posto de terceira fonte mais consumida, sendo superada pela lenha e pelo gás liquefeito de petróleo (GLP) (CEMIG, 2003). A evolução das participações das três fontes de energia mais consumidas na classe Residencial está apresentada na Figura 11.



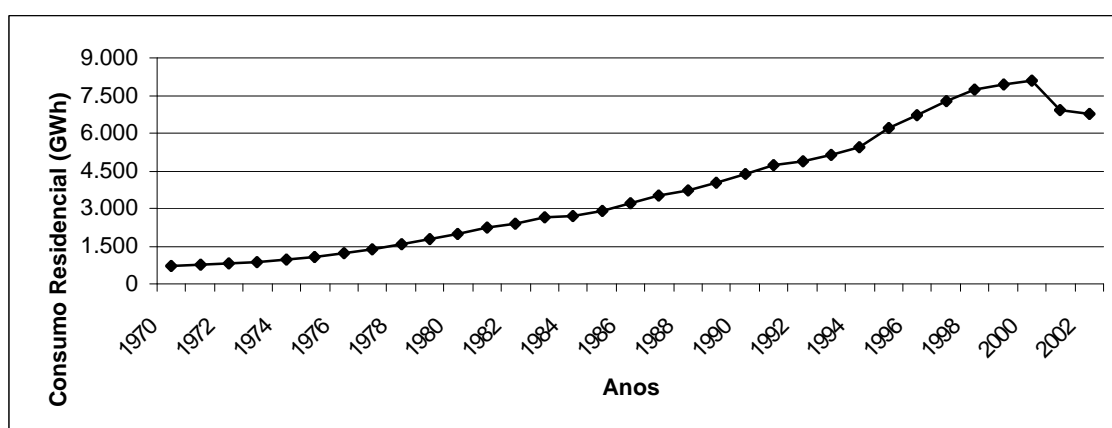
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CEMIG (2003).

Figura 11 – Evolução das participações relativas das três fontes de energia mais consumidas pela classe Residencial, em Minas Gerais – 1983/2002.

A partir da Figura 11, pode-se observar que a lenha, utilizada principalmente no cozimento de alimentos, sempre foi a fonte de maior peso na matriz energética da classe Residencial, embora tivesse sua participação continuamente reduzida em média 1,9% a.a..

A fonte GLP, que ao longo de quase todo o período, foi a segunda mais consumida e teve sua participação na matriz energética elevada em média 2,5% a.a., um crescimento inferior apenas ao da energia elétrica.

Dentre todas as fontes de energia, a elétrica foi a que mais aumentou sua participação no consumo total da classe Residencial. Em média, representou 13,7% do total, atingindo valor máximo de 20,6% em 1999. Segundo ANDRADE e LOBÃO (1997), esta ampliação no consumo de energia elétrica nas residências é decorrente da entrada de aparelhos eletroeletrônicos no ambiente doméstico, aumentando o estoque dos mesmos e do maior uso dos equipamentos já existentes. No período de 1970 a 2002, o consumo da classe Residencial mineira cresceu numa taxa média de 8,3% a.a.. Dentre as classes consumidoras, foi a que apresentou a maior taxa de crescimento. A Figura 12 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica pela classe Residencial em Minas Gerais, no período 1970/2002.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2002a) e (2004a).

Figura 12 – Evolução do consumo total de energia elétrica pela classe Residencial, no período 1970-2002.

Durante a década de 70, houve um crescimento significativo do consumo de energia elétrica, sendo este mais que duplicado ao longo dos dez anos. Em 1970, foram consumidos 702,4 GWh enquanto que em 1979 esse total alcançou 1.801,2 GWh. Na década seguinte, o consumo manteve sua trajetória de crescimento, porém em um ritmo inferior ao da década anterior, tendo sido elevado de 2.005,2 GWh em 1980 para 4.009,1 GWh em 1989. Ao longo dos anos 90, a dinâmica do consumo de energia elétrica se mostrou muito próxima à apresentada na década anterior. A quantidade consumida passou de 4.373,2 GWh em 1990 para 7.931,9 GWh em 1999. O baixo crescimento do consumo no ano de 1999 se deveu ao baixo desempenho da economia, que continuou com a desvalorização da moeda nacional nesse ano, afetando significativamente o consumo de energia relacionado ao uso particular (MME, 2000).

Após atingir seu nível máximo no ano 2000, um total de 8.072,6 GWh, o que representou aproximadamente 19,5% de toda energia elétrica consumida em Minas Gerais, o consumo de energia foi reduzido nos anos de 2001 e 2002 como resultado do programa de racionamento.

Ao longo dessas três décadas, o comportamento do consumo de energia elétrica na classe Residencial provavelmente esteve relacionado à dinâmica de outras variáveis. Passa-se, a seguir, a descrever e analisar a forma com que essas variáveis se relacionaram ao longo do tempo. A Tabela 9 apresenta as taxas geométricas de crescimento dessas variáveis, inclusive do consumo em cada uma das décadas.

Conforme pode ser verificado na Tabela 9, durante a década de 70, o consumo residencial total acompanhou a trajetória de crescimento do PIB *per capita* do Estado. Entretanto, tal crescimento não foi uniforme ao longo do tempo. Na primeira metade da década (1970/1975), o consumo cresceu a taxas inferiores ao crescimento do PIB *per capita*, 8,4% a.a. e 10,9%, respectivamente. Nesse mesmo período, o número de residências eletrificadas e o consumo residencial cresceram no mesmo ritmo, em média 7,8% a.a., mantendo o consumo médio por residência praticamente inalterado o que também ocorreu com as tarifas médias residenciais que permaneceram constantes.

Tabela 9 – Taxas geométricas de crescimento do PIB *per capita*, Consumo Residencial, nº de consumidores, Consumo médio por residência e das Tarifas Residenciais de energia elétrica, em Minas Gerais (em % ao ano)

	1970-1979	1980-1989	1990-1999	1970-2002
PIB <i>per capita</i>	9,8 ***	1,1 **	2,0 ***	2,2 ***
Consumo residencial total	11,2 ***	7,8 ***	7,4 ***	8,3 ***
Número de consumidores	9,4 ***	6,2 ***	4,9 ***	6,6 ***
Consumo por residência	1,7 ***	1,5 ***	2,4 ***	1,6 ***
Tarifas	-3,3 ***	-7,8 ***	1,1 ^{NS}	-3,3 ***

Fonte: Dados da pesquisa¹⁶.

Notas: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (^{NS}) não significativo.

Na segunda metade da década (1975/1979), o consumo total apresentou crescimento médio superior ao do PIB *per capita*, 14,2% a.a. e 6,8% a.a., respectivamente. O crescimento do número de residências eletrificadas, 11% a.a., foi inferior ao do consumo total, resultando em aumento do consumo médio por residência que passou de 1.136 KWh/ano em 1975 para 1.283,2 KWh/ano em 1979. Nesses últimos anos da década, as tarifas médias residenciais foram reduzidas em média 8,1% a.a..

Durante a década de 1980, podem ser identificados dois momentos distintos na relação do consumo de energia elétrica e seus determinantes. No período de 1980 a 1985, apesar do PIB *per capita* ter decrescido, o consumo total e o número de consumidores residenciais registraram crescimento próximo de 7,5% a.a., mantendo inalterado o consumo médio por residência. Nesses anos, as tarifas médias residenciais foram reduzidas em 9,3% a.a..

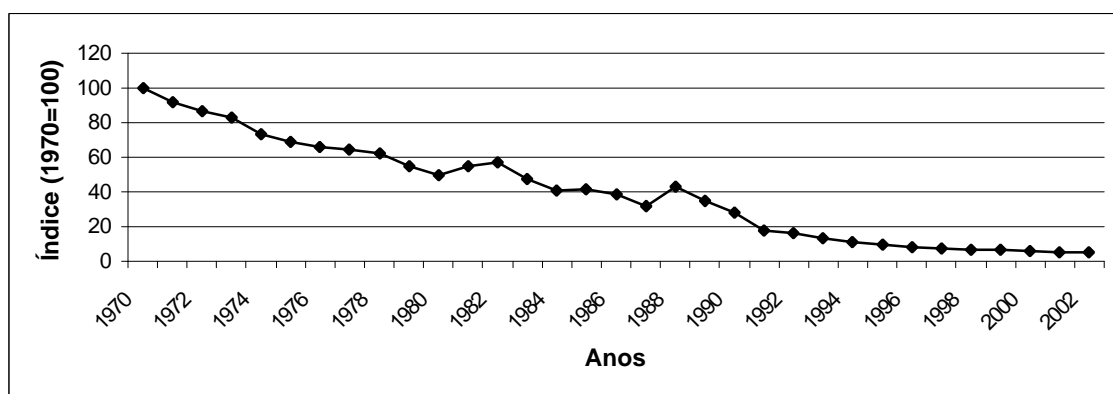
Na segunda metade da década (1985/1989), o PIB *per capita* se manteve constante, situando-se pouco acima do crescimento da população do Estado, configurando um quadro de estagnação (BDMG, 1989). O consumo total, por sua

¹⁶ As fontes dos dados básicos são citadas na seção 3.5 (Fontes e operacionalização dos dados).

vez, registrou crescimento superior ao aumento do número de consumidores, resultando em maior consumo médio por residência que, em 1989, atingiu 1.480 KWh/ano. Nesse mesmo período, as tarifas sofreram reduções médias de 6% a.a..

Foi na década de 90 que a classe Residencial menos elevou seu consumo de energia elétrica, apesar do PIB *per capita* ter apresentado crescimento superior à década anterior. Ao contrário do ocorrido nos anos 80, as tarifas de energia elétrica, após alternarem crescimento e queda nos primeiros anos da década, passaram a crescer a partir de 1995. O número de consumidores cresceu em média 4,9% a.a..

Outro fator que provavelmente favoreceu a expansão do consumo residencial de energia elétrica foi o comportamento dos preços reais dos eletrodomésticos ao longo do período analisado. A Figura 13 exhibe a evolução do índice de preço médio real dos eletrodomésticos no período 1970/2002.



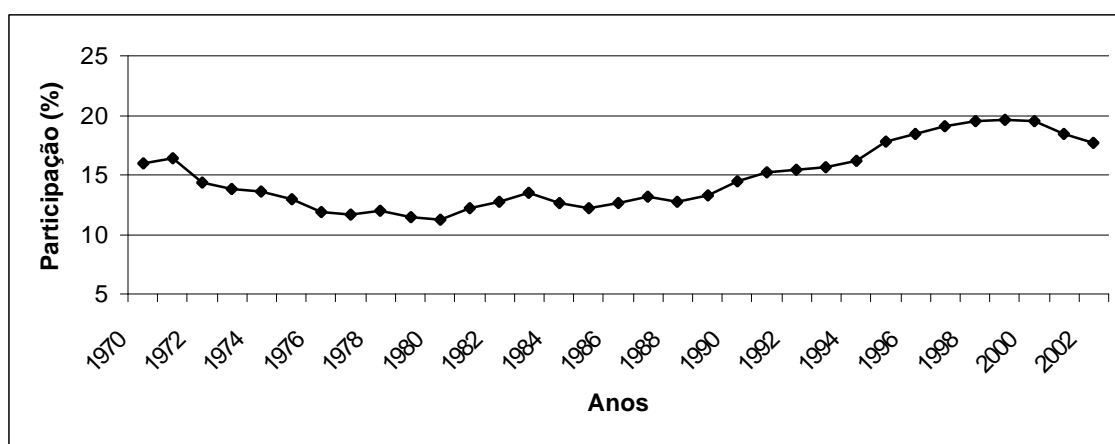
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FGV (2004).

Figura 13 – Índice de preço médio real dos eletrodomésticos no Brasil – 1970/2002.

Conforme pode ser verificado a partir da Figura 13, houve queda acentuada no preço médio real dos aparelhos eletrodomésticos o que, segundo SILVA (2001), permitiu que as famílias aumentassem o estoque domiciliar

desses bens, contribuindo para o aumento do consumo de energia elétrica nas residências.

Embora a classe Residencial tivesse elevado continuamente seu consumo de energia elétrica ao longo do período de 1970 a 2002, sua participação no consumo total dessa energia em Minas Gerais registrou dois comportamentos distintos conforme pode ser observado na Figura 14.

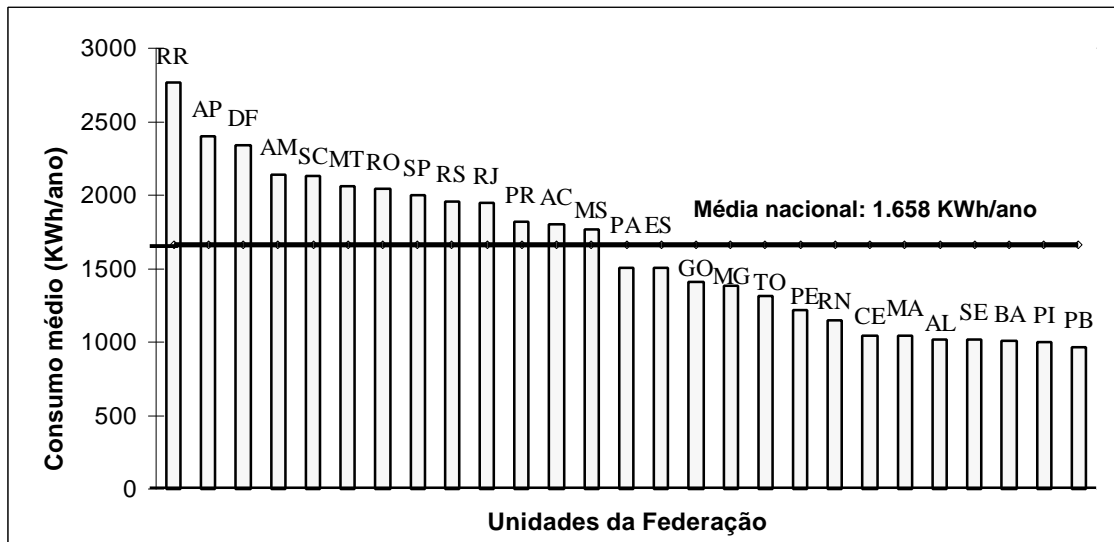


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2004a).

Figura 14 – Evolução da participação do Consumo Residencial no consumo total de energia elétrica em Minas Gerais – 1970/2002.

Durante a década de 70, a classe Residencial reduziu sua parcela no consumo total de energia elétrica quando caiu de 15,9% em 1970 para 11,5% em 1979. A partir de 1980, quando esse índice atingiu seu valor mínimo de 11,2%, iniciou-se uma trajetória de crescimento que foi mantida até o ano de 1999, quando atingiu participação máxima, respondendo por 19,6% de toda energia elétrica consumida no Estado. Após apresentar ligeira redução em 2000, a classe Residencial voltou a ter sua participação reduzida nos anos seguintes.

Quando comparada a outros estados, a classe Residencial de Minas Gerais registrou consumo médio por residência inferior à média nacional, conforme pode ser observado na Figura 15.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ELETROBRAS (2002a).

Figura 15 – Consumo médio de energia elétrica por residência, por Unidade da Federação, em 2002.

Enquanto a média nacional de consumo de energia elétrica por residência foi de 1.658 KWh/ano em 2002, nesse mesmo ano, a média de consumo por residência eletrificada no Estado de Minas Gerais foi de 1.379 KWh/ano, apenas a 17ª maior média estadual. Nota-se, de acordo com a Figura 15, que apenas dez estados possuem consumo médio inferior ao de Minas Gerais e, com exceção de Tocantins, todos estão localizados na Região Nordeste do País.

3. METODOLOGIA

3.1. Referencial Teórico

Este trabalho teve na Teoria Microeconômica, especificamente nas Teorias do Consumidor e da Firma, o referencial teórico para o estudo da demanda de energia elétrica. Há uma diferença conceitual entre a demanda do setor Residencial e dos setores Comercial e Industrial, o que justifica a necessidade dessas duas teorias.

A Teoria do Consumidor foi utilizada no estudo da demanda do setor Residencial. Nesse setor, a energia elétrica é um bem de consumo que, ao ser consumida, produz satisfação ao consumidor. Nos setores Comercial e Industrial, foi utilizada a Teoria da Firma, uma vez que a energia não mais é um bem de consumo, mas um fator de produção que participa de atividades e processos produtivos. Optou-se por apresentar essas duas Teorias sob a pressuposição de concorrência perfeita no mercado de energia elétrica, mesmo reconhecendo as imperfeições existentes nesse mercado¹⁷.

¹⁷ Ressalta-se que o Modelo Institucional do Setor Elétrico (MME, 2003b) tem como um de seus objetivos centrais a implantação de concorrência perfeita, sobretudo nos segmentos de Geração e Comercialização, visando reduzir e, até mesmo, eliminar as imperfeições existentes nesse mercado.

3.1.1. Teoria do Consumidor¹⁸

A Teoria do Consumidor, ao abordar a demanda por bens e/ou serviços, baseia-se na maximização da utilidade do consumidor, sujeita à sua restrição orçamentária. Segundo BINGER e HOFFMAN (1998), a utilidade é uma medida do nível de satisfação obtida pelo consumidor quando esse consome um bem. A restrição orçamentária à qual o consumidor está sujeito implica que a soma de todas as despesas com os vários bens por ele consumido tem que ser menor ou igual à renda de que este dispõe. Sendo assim, a demanda de um bem i pode ser vista como resultado do seguinte problema microeconômico:

$$\text{Maximizar: } U(X_i) \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } P_i X_i + P_n X_n \leq R \quad (2)$$

em que $U(X_i)$ é a função de utilidade do consumidor; P_i é o preço do bem i ; P_n é o preço de todos os n bens consumidos; X_i é a quantidade consumida do bem i , X_n é a quantidade consumida dos n bens; R é a renda do consumidor; e (2) é a restrição orçamentária.

A solução do problema anterior é dada por:

$$X_i = f(P_i, P_n, R) \quad (3)$$

em que a quantidade demandada X_i é função das variáveis P_i , P_n e R , definidas anteriormente.

As diversas combinações entre a quantidade demandada do bem i e o seu preço P_i , mantendo-se constante as variáveis P_n e R , dão origem à curva de demanda individual desse bem, que pode ser indicada da seguinte forma:

¹⁸ Baseado principalmente em BINGER e HOFFMAN (1998).

$$X_i = f(P_i, \bar{P}_n, \bar{R}) \quad (4)$$

Essa curva mostra a quantidade deste bem que o consumidor está disposto a retirar do mercado, a cada nível de preço.

Para se obter a demanda de mercado pelo bem i , é necessário somar todas as demandas individuais. Dessa forma, a demanda de mercado depende, além das variáveis que determinam a demanda individual, do número de consumidores desse bem, e é dada por:

$$X_i^m = \sum_{i=1}^{nc} X_i = \sum_{i=1}^{nc} f(P_i, \bar{P}_n, \bar{R}) = f(P_i, \bar{P}_n, \bar{R}, nc) \quad (5)$$

em que X_i^m é a quantidade demanda pelo mercado; nc é o número de consumidores e as demais variáveis seguem conforme definido anteriormente.

A expressão (5) mostra a quantidade deste bem que o mercado está disposto a adquirir, num determinado período, a cada nível de preço, *ceteris paribus*. Normalmente, tem-se uma relação inversa entre a quantidade demandada do bem e seu preço. Alterações nos fatores que influenciam a demanda, exceto o preço do bem, deslocam a curva de demanda para a esquerda ou para a direita. Alterações no preço do bem provocam deslocamentos ao longo da curva de demanda.

Uma maneira alternativa de se visualizar o mesmo problema microeconômico enunciado em (1) e (2) é através das curvas de indiferença. Considerando, por simplificação, a existência de apenas dois bens, Y e X , diversas cestas de consumo podem ser formadas. Cada cesta é composta por quantidades diferentes desses bens. Uma curva de indiferença é o conjunto de cestas de consumo que fornecem a mesma utilidade ao consumidor, deixando-o indiferente entre elas.

O agrupamento de diversas curvas de indiferenças, num plano $Y \times X$, é conhecido como mapa de indiferença. Quanto mais distante da origem estiver

uma curva de indiferença, maior é a utilidade do consumidor a ela associada e, por isso, as cestas pertencentes a essa curva são preferidas às cestas sobre curvas mais próximas da origem¹⁹.

A maximização da utilidade do consumidor, ou sua escolha ótima, ocorre no ponto de tangência da curva de indiferença com a sua linha orçamentária, que é a representação gráfica da restrição apresentada em (2). Neste ponto, a inclinação da linha orçamentária, dada pela razão entre os preços dos dois bens, se iguala à inclinação da curva de indiferença. Em outras palavras, a taxa à qual o consumidor está disposto a trocar um bem pelo outro (taxa marginal de substituição), mantendo o mesmo nível de satisfação, se iguala a taxa à qual o mercado se dispõe a trocar um bem pelo outro.

Variando-se o preço do bem X , mantendo-se as demais variáveis constantes, obtêm-se as diversas escolhas ótimas do consumidor. Quando transportadas para um gráfico no qual a quantidade do bem X é apresentada como função de seu preço, são encontradas as quantidades demandadas a cada nível de preço, dando origem à curva de demanda do bem X . O mesmo procedimento pode ser adotado para se obter a curva de demanda do bem Y .

3.1.2. Teoria da Firma²⁰

Conforme já antecipado, nos setores Comercial e Industrial a energia elétrica não mais é um bem de consumo, mas um fator de produção. Não se trata, portanto, de um problema de maximização da utilidade do consumidor mas, sim, de uma escolha a ser feita pela firma, ou seja, qual a quantidade desse fator deve ser por ela utilizada.

Para responder a questões como essa, a Teoria da Firma parte do pressuposto de que toda empresa tem como objetivo principal a maximização do seu lucro. Segundo VARIAN (2003), o lucro de uma empresa pode ser definido

¹⁹ As representações gráficas de curvas e mapas de indiferença podem ser encontradas, por exemplo, em VARIAN (2003).

²⁰ Baseado principalmente em DEBERTIN (1986) e VARIAN (2003).

como a diferença entre suas receitas e seus custos. Assim, se forem produzidos n produtos (y_1, \dots, y_n) , com preços (p_1, \dots, p_n) , sendo utilizados m insumos (x_1, \dots, x_m) , com preços (w_1, \dots, w_m) , o lucro desta empresa, comumente indicado por \mathbf{p} , pode ser expresso como:

$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^n p_i y_i - \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (6)$$

em que $\sum_{i=1}^n p_i y_i$ é a receita e $\sum_{i=1}^m w_i x_i$ é o custo de produção desta firma.

Para demonstrar como a firma deve proceder para maximizar seu lucro, supõe-se, por simplificação, que existem apenas dois insumos disponíveis, 1 e 2, sendo x_1 e x_2 as respectivas quantidades e w_1 e w_2 os respectivos preços. Supõe-se também que a função de produção da empresa seja dada por $f(x_1, x_2)$, e ainda que apenas um produto y , de preço p , será produzido.

Uma outra consideração que necessita ser feita diz respeito à diferenciação entre o curto e o longo prazo. O curto prazo pode ser definido como aquele em que pelo menos um dos fatores é fixo, enquanto, no longo prazo, a firma pode variar a quantidade de todos os fatores, até mesmo optar por utilizar zero unidade de cada um, ou seja, sair do mercado.

Iniciando pelo problema de maximização do lucro no curto prazo, supõe-se a quantidade x_2 mantida constante (\bar{x}_2), devendo a firma definir apenas a quantidade x_1 a ser utilizada. Assim, o problema em questão pode ser apresentado da seguinte forma:

$$\text{Max } pf(x_1, \bar{x}_2) - w_1 x_1 - w_2 \bar{x}_2 \quad (7)$$

Diferenciando (7) em relação a x_1 e igualando o resultado a zero, tem-se a condição de primeira ordem que deve ser respeitada para a maximização do lucro. A expressão (8) apresenta tal solução.

$$p \cdot PM_1(x_1^*, \bar{x}_2) = w_1 \quad (8)$$

em que PM_1 é o produto marginal do fator 1 e x_1^* é definido como a quantidade desse fator que torna máximo o lucro da firma.

A solução apresentada em (8) indica que, no curto prazo, a firma deve utilizar a quantidade x_1 do fator até que o valor de seu produto marginal se iguale ao seu preço. Caso o valor do produto marginal do fator supere o seu preço ($p \cdot PM_1 > w_1$), a firma pode aumentar seu lucro utilizando um pouco mais desse fator. Se o contrário ocorrer ($p \cdot PM_1 < w_1$), a firma deve reduzir a quantidade x_1 para incrementar seu lucro. Assim, fica claro que apenas na condição dada por (8) o lucro da firma não pode ser acrescido, ou seja, é máximo.

Para mostrar como o problema de maximização enunciado em (7) é resolvido para o longo prazo, faz-se necessário apenas permitir que x_2 , até então considerada fixa, possa variar. Dessa forma, o problema (7) deve ser reescrito da seguinte forma:

$$\underset{x_1, x_2}{Max} \quad pf(x_1, x_2) - w_1 x_1 - w_2 x_2 \quad (9)$$

O resultado de (9) é basicamente o mesmo descrito em (8). Entretanto, deve ser respeitado para todos os fatores de produção, nesse caso, 1 e 2. Portanto, para que ocorra a maximização do lucro, os fatores devem ser empregados de maneira que:

$$p \cdot PM_1(x_1^*, x_2^*) = w_1 \quad (10)$$

$$p \cdot PM_2(x_1^*, x_2^*) = w_2 \quad (11)$$

Ou seja, cada um dos fatores de produção deve ser escolhido de forma que o valor auferido pela firma com a venda de seu produto marginal se iguale ao preço desse fator.

As escolhas ótimas de cada fator como função do seu respectivo preço dão origem às curvas de demanda de fatores. Segundo VARIAN (2003), as curvas de demanda de fatores de uma empresa medem a relação entre o preço de um fator e a escolha maximizadora de lucros daquele fator.

Uma outra curva que pode ser derivada dessa relação é a curva de demanda inversa de fatores, que mede quais devem ser os preços dos fatores para que se demande determinada quantidade dos mesmos. No exemplo apresentado anteriormente, a mesma mede qual deve ser o preço w_1 para que sejam demandadas x_1 unidades, mantendo-se x_2 constante. Em função do pressuposto do produto marginal decrescente, essa curva possui inclinação negativa.

Uma maneira alternativa de se abordar a demanda por fatores de produção é através da ótica da Minimização dos Custos. Para exemplificar como essa demanda pode ser obtida, supõe-se novamente que há dois fatores disponíveis (1 e 2), de preços w_1 e w_2 , quantidades x_1 e x_2 , e que a função de produção da empresa pode ser representada por $f(x_1, x_2)$. Para determinar a forma mais barata de se obter o nível de produção y , o problema de minimização deve ser escrito como:

$$\underset{x_1, x_2}{Min} C = w_1 x_1 + w_2 x_2 \quad (12)$$

$$\text{tal que } f(x_1, x_2) = y$$

em que C representa os custos de produção.

A solução do problema de minimização de custos enunciado em (12) é tal que dependerá dos preços dos fatores e do nível de produto, podendo ser dada por:

$$\frac{PM_1(x_1^*, x_2^*)}{PM_2(x_1^*, x_2^*)} = \frac{w_1}{w_2} \quad (13)$$

A relação apresentada em (13) mostra que x_1 e x_2 devem ser combinados de forma que a razão entre o produto marginal dos dois fatores deve ser igual à razão dos preços w_1 e w_2 .

Segundo VARIAN (2003), as escolhas que geram custos mínimos para a empresa dependerão, em geral, dos preços dos insumos e do nível de produção que a empresa deseja ter, de modo que essas escolhas podem ser escritas como:

$$x_1 = f(w_1, w_2, y) \quad (14)$$

$$x_2 = f(w_1, w_2, y) \quad (15)$$

DEBERTIN (1986) complementou afirmando que a demanda por um fator de produção depende ainda dos parâmetros da função de produção, que descreve a transformação técnica do fator em um produto e, em algumas situações, da disponibilidade de recursos financeiros para a aquisição dos fatores.

As expressões que relacionam a quantidade demandada de um fator em função das variáveis que a determinam, como (14) e (15), por exemplo, são denominadas funções demanda de fatores condicionadas ou demandas de fatores derivadas.

3.1.3. Elasticidade da Demanda

Um conceito muito utilizado em estudos de demanda é o de elasticidade. Muitas vezes tem-se interesse em determinar a maneira como a quantidade demandada, seja de um bem, de um serviço ou de um fator de produção, responde a alterações nas variáveis relacionadas a essa demanda. O dono de uma padaria, por exemplo, pode desejar antecipar os efeitos que uma redução no preço do pão teria sobre a quantidade consumida desse produto.

Um indicador de tal medida seria a inclinação da curva de demanda de pão. Entretanto, as unidades em que são medidos o preço e a quantidade exercem influência sobre a inclinação da curva de demanda. Por exemplo, se o preço do pão for medido em Reais, a inclinação dessa curva seria cem vezes menor que se a medida fosse realizada em centavos.

Uma medida que foi desenvolvida para resolver problemas como esse, e que independe da unidade em que preço e quantidade são medidos, é a elasticidade. A elasticidade é, portanto, uma medida da sensibilidade da quantidade demandada em relação a uma determinada variável e é dada pela variação percentual da quantidade demandada dividida pela variação percentual da variável para a qual se deseja medir a sensibilidade da demanda. Segundo BINGER e HOFFMAN (1998), a elasticidade, normalmente representada por e , pode ser calculada da seguinte maneira:

$$e_x = \frac{\Delta\% q}{\Delta\% x} = \frac{\Delta q / q}{\Delta x / x} = \frac{\Delta q}{\Delta x} \cdot \frac{x}{q} = \frac{dq}{dx} \cdot \frac{x}{q} \quad (16)$$

em que e_x é a elasticidade da demanda em relação à variável x , q é a quantidade demandada do bem em questão, e x é uma variável que exerce influência sobre a demanda do bem, podendo ser o preço do próprio bem, o preço de um bem complementar ou substituto, a renda do consumidor, etc.

O procedimento usual consiste em analisar o resultado obtido no cálculo de (16) em valor absoluto, ou seja, interpreta-se $|e_x|$ em vez de e_x . Se $|e_x| > 1$, o bem em questão possui demanda elástica. Se $|e_x| < 1$, diz-se que a demanda é inelástica. E se $|e_x|$ for exatamente igual a 1, tem-se o que é denominado demanda de elasticidade unitária.

É importante notar que, para o cálculo da elasticidade-preço da demanda a partir de (16), devem-se atribuir valores para p e q , que dependerão da posição, ou ponto, sobre a curva de demanda para o qual se deseja calcular a elasticidade. Portanto, essa elasticidade é conhecida como elasticidade no ponto

e, em se tratando de uma função de demanda linear, varia de zero ($|e_x| = 0$), no ponto em que a curva de demanda toca o eixo horizontal, a infinito ($|e_x| = \infty$), no ponto em que a curva toca o eixo vertical.

Entretanto, é possível que seja de interesse determinar a elasticidade-preço da demanda não exatamente em um ponto, mas em um intervalo, ou arco, entre dois pontos. Por exemplo, entre os pontos A , onde a quantidade demandada é q_1 , quando a variável p (preço) é p_1 , e o ponto B , onde a quantidade demandada é q_2 , quando p assume o valor p_2 . Para solucionar essa questão, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$e_p^{AB} = \frac{\Delta q}{\Delta p} \cdot \frac{\frac{p_2 + p_1}{2}}{\frac{q_2 + q_1}{2}} = \frac{q_2 - q_1}{p_2 - p_1} \cdot \frac{p_2 + p_1}{q_2 + q_1} \quad (17)$$

Ou seja, utiliza-se a média das variáveis q e p , entre os pontos A e B , para determinar a elasticidade-preço da demanda no arco AB . Por isso, esse processo dá origem ao que é conhecido como elasticidade no arco.

3.1.4. Homogeneidade de uma Função de Demanda

Uma propriedade muito importante de uma função de demanda é a homogeneidade de grau zero. Segundo BINGER e HOFFMAN (1998), uma função é dita homogênea de grau k se, ao multiplicar cada variável da função por uma constante \mathbf{a} , a função é multiplicada por \mathbf{a}^k . Em termos matemáticos, essa definição pode ser representada da seguinte forma:

$$f(\mathbf{ax}, \mathbf{ay}) = \mathbf{a}^k f(x, y) \quad (18)$$

Portanto, no caso de uma função homogênea de grau zero:

$$f(\mathbf{ax}, \mathbf{ay}) = \mathbf{a}^0 f(x, y) = f(x, y) \quad (19)$$

Essa propriedade permite verificar se uma função de demanda estimada é resultante de um problema de maximização. Conforme demonstrado por BINGGER e HOFFMAN (1998), se no problema de maximização da utilidade do consumidor, que resulta numa determinada função de demanda, todos os preços e renda forem multiplicados por \mathbf{a} , então, se a função é homogênea de grau zero, a escolha do consumidor não deve ser alterada, já que os preços e renda foram alterados na mesma proporção. Entretanto, se a função não é homogênea de grau zero, um aumento proporcional nos preços e renda altera a escolha ótima do consumidor, concluindo, portanto, que essa demanda não é derivada de um problema de maximização.

O mesmo raciocínio pode ser utilizado, conforme mostrado por VARIAN (1992), para mostrar que a função de demanda por fator de uma firma maximizadora de lucro também deve ser homogênea de grau zero para garantir que a quantidade ótima de cada fator não se altera quando todos os preços são alterados na mesma proporção.

3.1.5. Considerações sobre a Demanda de Energia Elétrica

Há alguns bens, como a água e a energia elétrica, que apresentam algumas particularidades na relação entre preço e quantidade demandada. Esses bens são ofertados e demandados segundo tarifas que variam por blocos de consumo. Portanto, esses bens não possuem apenas um preço de equilíbrio, mas uma lista de preços, o que dificulta a especificação de suas demandas.

Como resultado dessa especificidade, um dos pontos mais discutidos na literatura econômica, que aborda a demanda de energia elétrica, é a especificação da variável preço. Há autores que defendem a utilização do preço marginal, enquanto outros, o uso de preços médios. O preço marginal é o preço cobrado por unidade de consumo referente ao bloco onde recai a quantidade total

consumida, enquanto o preço médio é obtido pela divisão do valor total pago pela quantidade total consumida (SILVA, 2001).

TAYLOR (1975), após realizar uma revisão sobre onze estudos de demanda de energia elétrica, concluiu que a especificação mais correta de uma função de demanda de um bem, que possui preço em bloco, é aquela em que há tanto o preço médio quanto o preço marginal.

BJORNER *et al.* (2001) defenderam que, em geral, a utilização de preços marginais deve ser preferida ao uso de preços médios. Isto porque, quando os preços médio e marginal são diferentes, o primeiro é função da quantidade consumida e, portanto, dos fatores que influenciam a demanda, tornando o preço médio uma variável endógena em vez de exógena. Porém, os autores consideram que a tendenciosidade das estimativas, decorrente da presença da endogeneidade, parece ser limitada. KAMERSCHEN e PORTER (2004) também preferiram o preço marginal, mas consideram que a endogeneidade dos preços faz com que a elasticidade-preço da demanda se torne positiva.

Os estudos que foram realizados para o Brasil utilizaram a tarifa média nas estimativas da função de demanda²¹. Os autores acreditaram que essa variável é uma boa escolha para responder a alterações na quantidade demandada de energia elétrica. ANDRADE e LOBÃO (1997) lembraram ainda que informações referentes às tarifas marginais não são disponíveis, ratificando o uso da tarifa média.

Em concordância com esses autores, neste estudo foi utilizada a tarifa média de energia na estimação da demanda. Acreditou-se também que essa é a variável de conhecimento do consumidor quando esse define ou altera seu padrão de consumo de energia elétrica.

De modo geral, a demanda de energia elétrica é abordada como função de fatores econômicos e do estoque dos equipamentos que necessitam de energia elétrica para seu funcionamento, podendo ser representada da seguinte forma:

²¹ Alguns desses estudos são: MODIANO (1984), ANDRADE e LOBÃO (1997), BRAGA (2001), SILVA (2001), SCHMIDT e LIMA (2004).

$$Q_t = f(T_t, R_t, NC_t, EE_t) \quad (20)$$

em que Q_t é a quantidade demandada; T_t é a tarifa de energia; R_t é a renda do consumidor (ou nível do produto); NC_t é o número de consumidores de energia elétrica; EE_t é o estoque de equipamentos que necessitam de energia elétrica para seu funcionamento²²; e t é o tempo.

De acordo com a teoria, aumentos (reduções) na tarifa de energia, *ceteris paribus*, provocam redução (aumento) na quantidade consumida, indicando relação inversa entre as duas variáveis. Tais alterações fazem com que os consumidores procedam de duas formas: alteram a utilização dos equipamentos já existentes, ou adquirem novos e mais eficientes equipamentos. Assim, a demanda é um resultado indireto do uso dos equipamentos elétricos (BERNDT, 1991; KAMERSCHEN e PORTER, 2004).

A renda dos consumidores influencia a demanda de energia elétrica positivamente, de forma direta e indireta. Quando há aumento nessa variável, mantendo-se as demais variáveis constantes, ocorre mudança na restrição orçamentária à qual o consumidor está sujeito, permitindo-lhe maior consumo dos bens, dentre os quais, está a energia elétrica. Esse primeiro efeito depende do estoque de equipamentos já existente, sendo alterada apenas sua taxa de utilização. O consumidor pode também decidir pela aquisição de novos equipamentos, aumentando o estoque e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica.

O estoque dos equipamentos elétricos, assim como a renda do consumidor, influencia positivamente a demanda de energia elétrica. No curto prazo, esse estoque é considerado fixo, e a demanda restrita a alterações na sua taxa de utilização. No longo prazo, o estoque é flexível, podendo variar de acordo com alterações na renda, no preço dos equipamentos, no número de consumidores e em outros fatores. De modo geral, pode ser indicado por:

²² Para simplificação, estes equipamentos serão abordados apenas como equipamentos elétricos.

$$EE_t = f(R_t, \dots, R_{t-n}, PE_t, \dots, PE_{t-n}, \dots, NC_t, \dots, NC_{t-n}) \quad (21)$$

em que EE_t é o estoque de equipamentos elétricos; R_t é a renda do consumidor; PE_t é o preço dos equipamentos; NC_t é o número de consumidores; t é o tempo; e n é o número de períodos passados.

Como pode ser observado a partir de (21), o estoque dos equipamentos elétricos possui relação contemporânea com as variáveis que o determinam, mas também é influenciado pelos valores passados dessas variáveis.

Substituindo-se (21) em (20), obtém-se uma expressão para a demanda de energia elétrica, sendo apresentadas as relações diretas e indiretas dessa demanda com as variáveis que a influenciam.

$$Q_t = f[T_t, R_t, NC_t, EE_t(R_t, \dots, R_{t-n}, PE_t, \dots, PE_{t-n}, \dots, NC_t, \dots, NC_{t-n})] \quad (22)$$

Segundo BJORNER *et al.* (2001), em se tratando da demanda industrial, a energia elétrica pode ser considerada um fator de produção, assim como os fatores trabalho e capital. Assumindo os preços da energia e de outros fatores como exógenos, e ainda que cada empresa minimize o custo de produção, a demanda pode ser expressa em função do valor adicionado pela empresa e do preço da energia em relação aos fatores trabalho e capital. De acordo com essa especificação, a demanda não é influenciada pelo preço de outros tipos de energia. SILK e JOUTZ (1997) não concordaram, por considerarem a dependência em relação aos preços de seus substitutos, mesmo reconhecendo as restrições ao uso desses substitutos.

Apesar de não haver consenso sobre o fato da demanda de energia elétrica ser influenciada pelo preço de um substituto, neste trabalho foi considerada essa possibilidade. Há de se considerar que apenas parte dos equipamentos elétricos pode funcionar com a utilização de um substituto da energia elétrica, enquanto outros, como os motores de indução, não possuem substitutos para esse tipo de energia. A disponibilidade de um substituto e os custos envolvidos na adaptação dos processos produtivos a outros tipos de

energia, que venham a substituir a elétrica, são elementos que provavelmente exercem influência sobre a decisão do consumidor.

Neste caso, ao se abordar a demanda industrial, a relação entre a demanda de energia elétrica e seus determinantes, dada por (22), deve ser alterada, acrescentando-se a variável preço do substituto, como se segue:

$$Q_t = f[T_t, R_t, PS_t, NC_t, EE_t(R_t, \dots, R_{t-n}, PE_t, \dots, PE_{t-n}, \dots, NC_t, \dots, NC_{t-n})] \quad (23)$$

em que PS_t é o preço do fator substituto²³ à energia elétrica e as demais variáveis conforme definido anteriormente.

3.2. Modelo Econométrico

Para o estudo da demanda de energia elétrica das classes Comercial, Industrial e Residencial do Estado de Minas Gerais, foram especificadas três diferentes funções de demanda, com cada uma sendo representada por uma função do tipo Cobb-Douglas. Essa forma funcional tem sido muito utilizada em economia, principalmente em estudos de demanda. Uma das suas principais propriedades é que as elasticidades são constantes e iguais aos coeficientes das variáveis na sua forma logarítmica²⁴.

Para a definição das variáveis incluídas em cada um dos modelos de demanda, foram utilizadas as relações estabelecidas na seção 3.1.5, mais precisamente nas equações (22) e (23), entre a quantidade demandada de energia elétrica e seus principais determinantes. De modo geral, essa demanda é influenciada principalmente pelo nível da renda, das tarifas, do número de consumidores e do estoque dos equipamentos que utilizam a energia elétrica para seu funcionamento (equipamentos elétricos), em cada uma das classes de consumo analisadas. Assim, foram definidas as três funções de demanda de

²³ Neste trabalho foi considerado apenas o óleo combustível como substituto da energia elétrica.

²⁴ A função de demanda do tipo Cobb-Douglas também foi utilizada por MODIANO (1984), ANDRADE e LOBÃO (1997), SILVA (2001), HOLTEDAHL e JOUTZ (2004) e SCHMIDT e LIMA (2004).

energia elétrica a serem estimadas posteriormente. As equações (25), (26) e (27) representam as funções das classes Comercial, Industrial e Residencial, respectivamente.

$$QC_t = I \cdot RC_t^{f_1} \cdot TC_t^{f_2} \cdot EC_t^{f_3} \cdot e^{e_{Ct}} \quad (25)$$

$$QI_t = k \cdot RI_t^{b_1} \cdot TI_t^{b_2} \cdot NI_t^{b_3} \cdot PS_t^{b_4} \cdot EI_t^{b_5} \cdot e^{e_{It}} \quad (26)$$

$$QR_t = g \cdot RR_t^{a_1} \cdot TR_t^{a_2} \cdot MO_t^{a_3} \cdot ER_t^{a_4} \cdot e^{e_{Rt}} \quad (27)$$

em que:

QC_t e QI_t são as quantidades total de energia elétrica consumidas pelas classes Comercial e Industrial, respectivamente, em Megawatt-hora (MWh);

QR_t é a quantidade média de energia elétrica consumida por residência eletrificada, em quilowatt-hora (KWh);

RC_t é a renda média da classe Comercial, em R\$ mil/consumidor;

RR_t é a renda média da classe Residencial, em R\$/residência;

RI_t é a renda total da classe Industrial, em R\$ milhões;

TC_t , TI_t e TR_t representam as tarifas médias de energia elétrica, em R\$/MWh;

NI_t o número de consumidores eletrificados na classe Industrial, em mil unidades;

EC_t , EI_t e ER_t referem-se ao estoque dos equipamentos elétricos em cada classe;

PS_t é o preço de um substituto da energia elétrica na classe Industrial;

MO_t é o número médio de moradores por residência eletrificada;

e_{Ct} , e_{It} e e_{Rt} são os termos de erros aleatórios das classes Comercial, Industrial e Residencial, respectivamente;

t é a unidade de tempo, medida em anos.

Contudo percebe-se, na literatura que aborda a demanda de energia elétrica, que uma das maiores dificuldades enfrentadas pelos estudos de natureza

empírica, que procuraram obter estimativas para essa demanda, tem sido encontrar uma medida adequada para o estoque dos equipamentos elétricos²⁵. Neste trabalho, optou-se por não definir uma variável específica como *proxy* para esse estoque.

Para a demanda Industrial, foi considerado que o estoque dos equipamentos elétricos cresce com o aumento da renda do setor e com o número de consumidores industriais. Poder-se-ia ter considerado, assim como fizeram SCHMIDT e LIMA (2004), que esse estoque é também influenciado pelo preço dos equipamentos industriais, o que implicaria a inclusão de uma outra variável no modelo.

Em função do método de estimação escolhido para a realização das estimativas das demandas ter, como uma de suas características principais, o consumo de grande número de graus de liberdade²⁶, e das séries temporais das variáveis serem anuais, limitando o número de observações disponíveis, optou-se por considerar que o estoque de equipamentos elétricos é mais fortemente influenciado pelo número de consumidores industriais que pelo preço dos seus equipamentos. Soma-se ainda que, para a classe Industrial, foi incluída no modelo uma variável representativa do preço de um substituto da energia elétrica, restringindo ainda mais a adição do preço dos equipamentos industriais. Vale informar que, apesar de SCHMIDT e LIMA (2004) terem optado pelo preço dos equipamentos industriais, não utilizaram a variável “número de consumidores”.

Para a demanda das classes Comercial e Residencial, considerou-se que o estoque responde positivamente a aumentos da renda dos consumidores e negativamente ao preço dos equipamentos elétricos. Essa consideração foi igualmente feita por ANDRADE e LOBÃO (1997), SILVA (2001) e ainda SCHMIDT e LIMA (2004).

Ressalta-se ainda que, para as classes Comercial e Residencial, a variável “número de consumidores”, por ter se apresentado fortemente correlacionada

²⁵ Este fato pode ser constatado, por exemplo, em BERNDT (1991) e HOLTEDAHL e JOUTZ (2004).

²⁶ Esse assunto será abordado na seção 3.3, a seguir.

com a quantidade consumida em cada classe, foi incluída nos respectivos modelos de forma implícita. Na classe Comercial, ao ser utilizada no cálculo da renda média dos estabelecimentos comerciais eletrificados, enquanto na Residencial, no cálculo do consumo médio, da renda média e do número médio de moradores por residência. Evitou-se, ao assim proceder, a presença de multicolinearidade nos modelos²⁷.

A partir dessas considerações, foi possível apresentar três expressões que especificam a relação do estoque dos equipamentos elétricos com seus principais determinantes em cada classe consumidora. As equações (28), (29) e (30) apresentam essas relações para as classes Comercial, Industrial e Residencial, respectivamente.

$$EC_t = m RC_t^{h_1} ME_t^{h_2} \quad (28)$$

$$m > 0, \quad h_1 > 0 \quad e \quad h_2 < 0$$

$$EI_t = w RI_t^{d_1} NI_t^{d_2} \quad (29)$$

$$w > 0, \quad d_1 > 0 \quad e \quad d_2 > 0$$

$$ER_t = y RR_t^{q_1} MO_t^{q_2} EL_t^{q_3} \quad (30)$$

$$y > 0, \quad q_1 > 0, \quad q_2 > 0 \quad e \quad q_3 < 0$$

em que: ME_t e EL_t são os preços dos equipamentos elétricos nas classes Comercial e Residencial, respectivamente, e as demais variáveis permanecem conforme definido anteriormente.

Substituindo-se (28), (29) e (30) em (25), (26) e (27), respectivamente, e tomando-se o logaritmo natural, essas últimas equações podem ser apresentadas em uma forma linear, respectivamente, conforme equações (31), (32) e (33):

²⁷ O coeficiente de correlação parcial entre as variáveis “número de consumidores” e “quantidade consumida” foi de 0,997, na classe Comercial, e 0,995, na classe Residencial.

$$LQC_t = \mathbf{x}_1 + \mathbf{x}_2 LRC_t + \mathbf{x}_3 LTC_t + \mathbf{x}_4 LME_t + \mathbf{e}_{Ct} \quad (31)$$

$$LQI_t = \mathbf{z}_1 + \mathbf{z}_2 LRI_t + \mathbf{z}_3 LTI_t + \mathbf{z}_4 LNI_t + \mathbf{z}_5 LPS_t + \mathbf{e}_{It} \quad (32)$$

$$LQR_t = \mathbf{j}_1 + \mathbf{j}_2 LRR_t + \mathbf{j}_3 LTR_t + \mathbf{j}_4 LMO_t + \mathbf{j}_5 LEL_t + \mathbf{e}_{Rt} \quad (33)$$

em que: na equação (31), $\mathbf{x}_1 = \ln(\mathbf{l} \mathbf{m}^{f_3})$, $\mathbf{x}_2 = (\mathbf{f}_1 + \mathbf{h}_1 \mathbf{f}_3)$, $\mathbf{x}_3 = \mathbf{f}_2$ e $\mathbf{x}_4 = (\mathbf{h}_2 \mathbf{f}_3)$; na equação (32), $\mathbf{z}_1 = \ln(\mathbf{k} \mathbf{w}^{b_5})$, $\mathbf{z}_2 = (\mathbf{b}_1 + \mathbf{d}_1 \mathbf{b}_5)$, $\mathbf{z}_3 = \mathbf{b}_2$, $\mathbf{z}_4 = (\mathbf{b}_3 + \mathbf{d}_2 \mathbf{b}_5)$ e $\mathbf{z}_5 = \mathbf{b}_4$; e, na equação (33), $\mathbf{j}_1 = \ln(\mathbf{g} \mathbf{y}^{a_4})$, $\mathbf{j}_2 = (\mathbf{a}_1 + \mathbf{q}_1 \mathbf{a}_4)$, $\mathbf{j}_3 = \mathbf{a}_2$, $\mathbf{j}_4 = (\mathbf{a}_3 + \mathbf{q}_2 \mathbf{a}_4)$ e $\mathbf{j}_5 = (\mathbf{q}_3 \mathbf{a}_4)$; L indica que foi obtido o logaritmo natural da variável à qual precede; e as demais variáveis seguem conforme definido anteriormente.

Das equações (31), (32) e (33), esperou-se que o consumo de energia elétrica respondesse positivamente a aumentos na renda, no número de consumidores e no preço do fator substituto da energia elétrica, de forma que:

$$\mathbf{x}_2 > 0, \quad \mathbf{z}_2 > 0, \quad \mathbf{j}_2 > 0, \quad \mathbf{j}_4 > 0, \quad \mathbf{z}_4 > 0 \quad \text{e} \quad \mathbf{z}_5 > 0$$

Esperou-se também que o consumo dessa energia respondesse negativamente a aumentos no preço da energia elétrica e no preço dos equipamentos elétricos das classes Comercial e Residencial, de maneira que:

$$\mathbf{x}_3 < 0, \quad \mathbf{z}_3 < 0, \quad \mathbf{j}_3 < 0, \quad \mathbf{x}_4 < 0 \quad \text{e} \quad \mathbf{j}_5 < 0$$

Os parâmetros \mathbf{x}_i , \mathbf{z}_i e \mathbf{j}_i podem ser interpretados como as elasticidades da demanda de energia elétrica em relação à variável à qual se referem. Deve-se notar que, no caso das elasticidades-renda, preço dos equipamentos elétricos e número de consumidores, esses parâmetros indicam os efeitos direto e indireto

que essas variáveis exercem sobre o consumo de energia elétrica. No caso da renda e número de consumidores, as elasticidades estimadas medem o efeito direto dessas variáveis sobre a quantidade demandada de energia elétrica mais o efeito indireto resultante de variações do estoque dos equipamentos elétricos em função de alterações na renda e no número de consumidores. Assim, essa elasticidade mede o efeito uso e o efeito variação desse estoque. No caso da elasticidade preço dos equipamentos elétricos, a elasticidade estimada indica o efeito dessa variável sobre o estoque e o efeito desse estoque sobre a quantidade demandada de energia elétrica.

Pressupôs-se que apenas os consumidores da classe Industrial têm a opção de substituir a energia elétrica por outro tipo de energia, o que justifica a inclusão da variável PS_i , apenas nas equações (26) e (32). Essa consideração também foi feita por ANDRADE e LOBÃO (1997), SILVA (2001) e SCHMIDT e LIMA (2004).

Em cada uma das funções de demanda, foi incluída uma variável *Dummy*, tendo como objetivo captar uma possível mudança estrutural da demanda de energia elétrica durante o programa de racionamento do consumo. Essas variáveis assumiram o valor 1, para os anos de 2001 e 2002, e o valor 0 (zero) para os demais anos. DC , DI e DR representam as variáveis *Dummy* das classes Comercial, Industrial e Residencial, respectivamente. Considerando-se a possibilidade de que algumas mudanças ocorridas durante o racionamento, e que tenham reduzido o consumo de energia elétrica, ainda tivessem permanecido no ano de 2002, esperou-se que seus coeficientes apresentassem sinais negativos²⁸.

3.3. Método de Estimação

A utilização da tarifa média de energia como *proxy* para o preço da energia elétrica traz algumas implicações sobre as estimativas das funções de demanda. Uma vez que há dependência recíproca entre a tarifa média e a

²⁸ Algumas dessas mudanças são: maior conscientização dos consumidores quanto ao uso desse tipo de energia, utilização de lâmpadas fluorescentes em substituição às incandescentes, substituição de equipamentos elétricos por equipamentos que utilizam outro tipo de energia, etc.

quantidade consumida de energia elétrica, têm-se duas variáveis determinadas endogenamente no modelo, sendo que uma delas é um regressor. Assim, a provável simultaneidade entre as variáveis pode violar a hipótese de ausência de correlação entre o termo de erro e o regressor, o que pode inviabilizar o uso do Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)²⁹.

Segundo MAIA (2001), em análise de regressão múltipla, as inter-relações entre variáveis econômicas geralmente exigem que os modelos sejam tratados pela técnica de equações simultâneas. Nesses modelos, as variáveis são referidas como endógenas, exógenas ou predeterminadas, e sua estimação exige algumas restrições, que foram amplamente discutidas por SIMS (1980).

A discussão abordava as questões de identificação do modelo. A forma usual para a identificação é a incorporação de variáveis predeterminadas em algumas equações e em outras não. Considerando tal questão como subjetiva, SIMS (1980) defendeu a premissa de que todas as variáveis devem ser tratadas de maneira simultânea e simétrica, não concordando com a solução que permite a determinação de causalidade *ad hoc*. Essa discussão levou à introdução de um novo método de abordagem de séries multivariadas, dando início à discussão do modelo de Vetores Auto-Regressivos (VAR) (MAIA, 2001).

Os modelos VAR têm sido freqüentemente utilizados nos estudos mais recentes de demanda de energia elétrica. A maior parte dos trabalhos que têm utilizado essa técnica tem feito opção pelo uso de modelos VAR sob a representação de um Modelo de Correção de Erros com Vetor de Co-integração (VECM)³⁰.

A opção pelos modelos VEC pode ser justificada principalmente pelas propriedades estatísticas das séries temporais das variáveis analisadas que,

²⁹ Sobre esse assunto, NORDIN (1976), citado por SILVA (2001), já havia constatado que tanto nos modelos que utilizaram o preço em bloco, como naqueles que usaram o preço médio, há o problema de simultaneidade.

³⁰ Além de ANDRADE e LOBÃO (1997), SILVA (2001), e SCHMIDT e LIMA (2004), já citados na seção 3.1.5, os modelos VEC também foram utilizados, em estudos de demanda de energia elétrica, por SILK e JOUTZ (1997), HOLTEDAHL e JOUTZ (2004) e NARAYAN e SMYTH (2003).

geralmente, são séries não-estacionárias³¹. A utilização de séries não estacionárias num contexto de regressão linear muitas vezes dá origem ao que GRANGER e NEWBOLD (1974) denominaram de regressões espúrias. Em situações como essas, é comum encontrar um R^2 alto, estatísticas de Durbin-Watson (DW) baixas e parâmetros altamente significativos, apesar de não haver relação significativa entre as variáveis econômicas. Na verdade, segundo GUJARATI (2000), se as variáveis exibirem fortes tendências, o R^2 alto se deve à presença de tais tendências, e não à verdadeira relação entre as variáveis.

Durante muito tempo, a recomendação usual para se trabalhar com séries não-estacionárias era que essas deveriam ser diferenciadas. Isso porque muitas séries econômicas são integradas de ordem 1 [I(1)], ou seja, possuem uma raiz unitária e, portanto, tornam-se estacionárias na diferença³² (COELHO, 2002).

Entretanto, segundo ENDERS (1995), esse procedimento restringe a análise a um contexto de curto prazo e, conforme ressaltado por GUJARATI (2000), a maior parte da teoria econômica é enunciada como uma relação de longo prazo entre as variáveis na forma de nível e não na forma de primeira diferença. Para a análise de longo prazo entre variáveis não-estacionárias, o procedimento mais adequado, quando aplicável, é o de co-integração. Passa-se, a seguir, a discutir tal conceito.

3.3.1. Análise de Co-Integração

O conceito de co-integração foi introduzido por ENGLE e GRANGER (1987) e tem sido amplamente empregado na análise de séries temporais. Diferentemente da recomendação padrão de que as séries não-estacionárias devem ser utilizadas em primeira diferença, a co-integração, quando aplicável, permite que regressões envolvendo esse tipo de variável sejam realizadas sobre

³¹ Segundo GUJARATI (2000), uma série é estacionária se suas média e variância forem constantes ao longo do tempo e o valor da covariância entre dois períodos de tempo depender apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos, e não do período de tempo efetivo em que a variância é calculada.

³² Uma série é integrada de ordem d ($Y_t \sim I(d)$) se ela precisa ser diferenciada d vezes para se tornar estacionária (Y_t é estacionária). Assim, uma série estacionária em nível é uma série I(0).

seus níveis, sem que se incorra no problema da regressão espúria, além de não se perder informação de longo prazo, o que ocorre quando são utilizadas séries diferenciadas.

ENGLE e GRANGER (1987) procuraram mostrar que, apesar de duas (ou mais) variáveis serem não-estacionárias, é possível haver uma (ou mais) combinação linear entre elas que seja estacionária. Segundo ENDERS (1995), o conceito de co-integração pode ser definido da seguinte forma:

Os componentes do vetor $X_t = (X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt})'$ são ditos co-integrados de ordem d, b , indicado por $X_t \sim CI(d, b)$ se:

- 1) Todos componentes de X_t são integrados de ordem d ($X_t \sim I(d)$).
- 2) Existe um vetor $\mathbf{b} = (\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_n)$ tal que a combinação linear $\mathbf{b}X_t = \mathbf{b}_1 X_{1t} + \mathbf{b}_2 X_{2t} + \dots + \mathbf{b}_n X_{nt}$ é integrada de ordem $(d - b)$, sendo $b > 0$. O vetor \mathbf{b} é chamado de vetor de co-integração³³.

O sistema de variáveis econômicas encontrar-se-á em equilíbrio de longo prazo quando $\mathbf{b}_1 X_{1t} + \mathbf{b}_2 X_{2t} + \dots + \mathbf{b}_n X_{nt} = 0$. De modo geral, se X_t possui n variáveis, é possível determinar $r \leq n - 1$ vetores de co-integração³⁴. O número de vetores de co-integração (r) é igual ao número de vetores linearmente independentes e é conhecido como *rank* de co-integração. Entretanto, para qualquer escalar I , tal que $I \neq 0$, a multiplicação $I \times \mathbf{b}$ dará origem a um “novo” vetor. De maneira similar, segundo ENDERS (1995), é comum utilizar uma das variáveis (X_i) para normalizar o vetor \mathbf{b} , fazendo seu coeficiente (\mathbf{b}_i) igual a 1. Para tanto, é necessário apenas definir $I = 1/\mathbf{b}_i$.

ENGLE e GRANGER (1987) mostraram ainda que mesmo havendo uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis não-estacionárias, é possível que ocorra algum desequilíbrio no curto prazo. Nesse caso, a dinâmica de curto prazo é influenciada pela magnitude do desvio em relação ao equilíbrio

³³ Contudo, para os trabalhos de natureza empírica, interessa apenas o caso particular em que $d=b$, tal que $\mathbf{b}X_t \sim I(0)$.

³⁴ O agrupamento desses vetores em uma matriz dá origem a uma matriz β , de dimensão $(r \times n)$, denominada matriz de co-integração (VERBEEK, 2000).

de longo prazo, e deve haver algum mecanismo que conduza as variáveis para o equilíbrio. Esse mecanismo é conhecido como Mecanismo de Correção de Erros (MCE)³⁵ e, através do termo de erro (erro de equilíbrio), liga o comportamento de curto prazo das variáveis ao seu comportamento de longo prazo.

Segundo ENDERS (1995), o vetor $X_t = (X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt})'$ possui um mecanismo de correção de erros se puder ser expresso da seguinte forma:

$$\Delta X_t = \mathbf{p}_0 + \mathbf{p}X_{t-1} + \mathbf{p}_1 \Delta X_{t-1} + \mathbf{p}_2 \Delta X_{t-2} + \dots + \mathbf{p}_p \Delta X_{t-p} + \mathbf{e}_t \quad (34)$$

em que: \mathbf{p}_0 é um vetor ($n \times 1$) de termos de interceptos com elementos \mathbf{p}_{i0} ; \mathbf{p}_i é uma matriz ($n \times n$) de coeficientes com elementos $\mathbf{p}_{jk}(i)$; \mathbf{p} é uma matriz com elementos \mathbf{p}_{jk} , sendo um ou mais elementos $\neq 0$; e \mathbf{e}_t é um vetor ($n \times 1$) com elementos \mathbf{e}_{it} .

Observando-se (34), é fácil perceber que se todos os \mathbf{p}_{jk} elementos da matriz \mathbf{p} forem iguais a zero, tal que $\mathbf{p}X_{t-1} = 0$, (34) é um VAR em primeiras diferenças e não há um MCE. Entretanto, se um ou mais elementos de \mathbf{p} for diferente de zero, ΔX_t responde aos desvios em relação ao equilíbrio de longo prazo e o MCE é válido. Dessa forma, HILL *et al.* (1999) argumentaram que:

“Num modelo VAR, se estão sendo utilizadas variáveis co-integradas I(1) na especificação do modelo VAR, o estabelecimento de um modelo exclusivamente em termos de primeiras diferenças e defasagens de primeiras diferenças, é um erro de especificação. A especificação correta é aquela que inclui um mecanismo de correção de erro.” (HILL et al., 1999, p. 383).

Assim, todos os pontos discutidos até o presente momento levam a acreditar que a opção por modelos VAR sob a representação de um Modelo de Correção de Erros com Vetor de Co-integração (VECM), em estudos de demanda de energia elétrica, é realmente a mais indicada e ratifica a crescente utilização de tais modelos em estudos dessa natureza. LIMA (1997) ainda

³⁵ Segundo GUJARATI (2000), apesar do MCE ter sido popularizado por ENGLE e GRANGER (1987), foi usado inicialmente por SARGAN (1984).

acrescentou que, se pelo menos dois elementos de um vetor X_t de variáveis endógenas são $I(1)$, sendo as demais variáveis $I(0)$, e se existe co-integração entre as variáveis $I(1)$, o modelo é mais facilmente estimado na representação VEC, utilizando-se o procedimento proposto por JOHANSEN (1988), que é apresentado a seguir.

3.3.2. O procedimento de Johansen

O procedimento para realização do teste de co-integração proposto por JOHANSEN (1988) tem sido amplamente empregado em estudos de séries temporais, uma vez que supera grande parte das fragilidades do procedimento alternativo de ENGLE e GRANGER (1987)³⁶.

Tal procedimento utiliza Máxima Verossimilhança para estimação dos vetores de co-integração e permite testar e estimar a presença de vários vetores de co-integração e não de apenas um único vetor. Segundo ENDERS (1995), o procedimento de JOHANSEN (1988) está baseado na relação entre o posto³⁷ de uma matriz e suas raízes características, e pode ser visto como uma generalização do teste de raiz unitária de Dickey-Fuller para o caso de múltiplas variáveis.

Para demonstrar como esse procedimento pode ser aplicado em um teste de co-integração entre as n variáveis de um vetor X_t , é necessário inicialmente especificar o processo gerador de X_t como um VAR contendo p defasagens:

$$X_t = \Theta_1 X_{t-1} + \Theta_2 X_{t-2} + \Theta_3 X_{t-3} + \dots + \Theta_p X_{t-p} + a_0 + a_1 t + e_t \quad (35)$$

³⁶ Uma crítica ao procedimento de ENGLE e GRANGER (1987) pode ser encontrada em ENDERS (1995) e VERBEEK (2000).

³⁷ O posto ou *rank* de uma matriz é o número máximo de linhas independentes linearmente que pode ser encontrado em uma matriz e é, necessariamente, igual ao número máximo de colunas linearmente independentes na mesma matriz. Numa matriz $m \times n$, o posto pode ser, no máximo, igual ao menor dos números m ou n (CHIANG, 1982).

em que: Θ_i é uma matriz $(n \times n)$ de parâmetros; a_0 e a_1 são vetores $(n \times 1)$ e e_t é um vetor $(n \times 1)$ de termos de erro com $e_t \sim IN(0, \Omega)$.

A equação (35) pode ser modificada, conforme descrito em VERBEEK (2000), até que a expressão (36) seja obtida:

$$\Delta X_t = \Pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \Gamma_i \Delta X_{t-i} + a_0 + a_1 t + e_t \quad (36)$$

em que: $\Pi = -I + \sum_{i=1}^p \Theta_i$; $\Gamma_i = - \sum_{j=i+1}^p \Theta_j$; $i = 1, \dots, p-1$ e I é uma matriz identidade.

A determinação do número de vetores de co-integração é feita a partir da análise do posto (r) da matriz Π . Se o posto é igual a zero ($r = 0$), a matriz Π é nula e (36) é um modelo VAR em primeira diferença. Não há, portanto, nenhuma combinação linear estacionária entre as variáveis. Em outras palavras, as variáveis não são co-integradas. Se Π tem posto completo, ou seja, se $r = n$, as variáveis de X_t são, na verdade, estacionárias, não cabendo qualquer análise de co-integração. Nas situações intermediárias em que $1 \leq r < n$, existem r vetores de co-integração que determinam as relações de longo prazo entre as variáveis. Nesse caso, ΠX_{t-1} é o termo de correção de erros, responsável por forçar a dinâmica de curto prazo das variáveis para o equilíbrio de longo prazo. A expressão (36) é conhecida como um Modelo de Correção de Erros Vetorial (VECM) e pode ser representada de uma forma diferente se a matriz Π for definida conforme a equação (37):

$$\Pi = \mathbf{a} \mathbf{b}' \quad (37)$$

em que: a matriz \mathbf{b} é a matriz de parâmetros de co-integração e \mathbf{a} é a matriz dos coeficientes de ajustamento, com seus elementos indicando a velocidade de

ajustamento de cada variável a desequilíbrios no curto prazo. Tanto \mathbf{b} como \mathbf{a} possuem dimensão $n \times r$. Assim, a equação (36) pode ser reescrita como:

$$\Delta X_t = \mathbf{a} \mathbf{b}' X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \Gamma_i \Delta X_{t-i} + a_0 + a_1 t + \mathbf{e}_t \quad (38)$$

Considerando que o posto de uma matriz é igual ao número de suas raízes características (autovalores ou ainda *eigenvalues*) que são diferentes de zero, a determinação do número de vetores de co-integração pode ser feita a partir da análise de significância das raízes estimadas de Π . Se as variáveis em X_t não são co-integradas, o posto de Π é zero e todas as suas raízes características são iguais a zero. Se as n raízes características de Π são ordenadas tal que $I_1 > I_2 > \dots > I_n$, então, se o posto de Π é igual a 1, a primeira raiz característica estimada (\hat{I}_1) necessariamente será diferente de zero, com as demais $n-1$ raízes iguais a zero. De maneira similar, se o posto de $\Pi = 2$, as duas primeiras raízes estimadas (\hat{I}_1 e \hat{I}_2) serão diferentes de zero, o que não ocorrerá com as demais $n-2$ raízes.

Dessa forma, JOHANSEN e JUSELIUS (1990) desenvolveram dois testes capazes de determinar o posto Π da matriz e, conseqüentemente, o número de vetores de co-integração. O primeiro teste, conhecido como Teste do Traço e comumente indicado por I_{trace} , testa a hipótese nula de que o número de vetores de co-integração é menor ou igual a r . Segundo ENDERS (1995, p.391), a estatística do teste é assim apresentada:

$$I_{trace}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{I}_i) \quad (39)$$

em que: \hat{I}_i = valores estimados das raízes características (autovalores) obtidos da matriz Π e T é o número de observações. Quanto mais distante de zero são as

raízes características estimadas, mais negativo será $\ln(1-\hat{I}_i)$ e, conseqüentemente, maior a estatística I_{trace} .

O segundo teste desenvolvido por JOHANSEN e JUSELIUS (1990) é o Teste do Máximo Autovalor que, indicado por I_{max} , testa a existência de r vetores de co-integração contra a hipótese alternativa de $r+1$ vetores. Segundo ENDERS (1995, p.391), a estatística desse teste é dada por:

$$I_{max}(r, r+1) = -T \ln(1 - \hat{I}_{r+1}) \quad (40)$$

em que: \hat{I}_i = valores estimados das raízes características (autovalores) obtidos da matriz Π e T é o número de observações. Quanto mais próximas de zero são as raízes características estimadas, menor a estatística I_{max} .

Apesar da disponibilidade desses dois testes para a determinação do número de vetores de co-integração, há de se ressaltar que, segundo PESARAN e SMITH (1999), a identificação do número desses vetores apresenta certa sensibilidade em relação a algumas decisões que devem ser tomadas durante a operacionalização dos testes. Como exemplo, podem ser citados: o número de variáveis do VAR, o número de defasagens (p) dessas variáveis a serem incluídas no modelo, e a inclusão ou não de termos determinísticos, como constante e tendência e ainda alguma variável do tipo *Dummy*. Esses autores argumentam que a combinação das diversas escolhas possíveis permite a possibilidade de resultados distintos. Soma-se ainda o fato de que não há uma regra que condicione a escolha de p em função do número de variáveis do VAR, da presença ou não dos termos determinísticos, e vice-versa.

Portanto, assim como acontece no teste de raiz unitária de Dickey-Fuller, a correta especificação do número de defasagens e dos termos determinísticos a serem incluídos ou não no VAR é essencial para implementação da análise de co-integração proposta por JOHANSEN (1988).

A determinação do número de defasagens a serem incluídas em (36) pode ser feita por vários métodos. Neste trabalho foram utilizados dois métodos principais. O primeiro deles, a definição pelos Critérios de Informação de Schwarz (SIC), Akaike (AIC) e Hannan-Quinn (HQ), sendo escolhido o número de defasagens que minimiza tais Critérios. O outro método utilizado foi o teste de significância da mais alta defasagem³⁸. Segundo COELHO (2002), a implementação desse teste se dá pela construção da seguinte razão de verossimilhança:

$$LR = 2[\ln L_{UR} - \ln L_R] \sim \chi^2 \text{ com } N^2 \text{ graus de liberdade} \quad (41)$$

em que: L_{UR} = valor da verossimilhança do modelo irrestrito; L_R = valor da verossimilhança do modelo restrito; N = é o número de parâmetros.

Sob a hipótese nula $H_0: \Gamma_i = 0$, com $i = p_{max}, p_{max} - 1, \dots$, se $LR > \chi^2$ crítico, o modelo deve conter p defasagens. Caso contrário, a hipótese nula não pode ser rejeitada e o teste deve ser repetido para $p - 1$ defasagens, continuando este processo até que H_0 seja rejeitada e determinada a mais alta defasagem estatisticamente significativa.

Já a opção pela inclusão ou não de constante e tendência foi feita a partir da análise gráfica das séries envolvidas bem como do teste de significância estatística desses termos.

3.3.3. Métodos econométricos utilizados em outros estudos de demanda de energia elétrica

No Brasil, alguns estudos sobre essa demanda já foram realizados. MODIANO (1984) estimou a demanda para as classes Comercial, Industrial e Residencial utilizando dados anuais referentes ao período 1963/1981. ANDRADE e LOBÃO (1997) realizaram estimativas apenas para o setor

³⁸ Para implementação deste método ver, por exemplo, COELHO (2002).

Residencial, com dados anuais para os anos de 1963 a 1995. SILVA (2001) abordou apenas os setores Residencial-Urbano e Rural, para o período de 1970/1999. SCHMIDT e LIMA (2004) estimaram a demanda para as três classes de consumo, a partir de dados anuais referentes ao período de 1969/1999. Cita-se ainda BRAGA (2001), que analisou a demanda da classe Residencial das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil.

Para a realização dos estudos anteriormente citados, os autores optaram por metodologias econométricas diversas. MODIANO (1984) utilizou um modelo de ajustamento parcial. ANDRADE e LOBÃO (1997) e SILVA (2001) utilizaram três métodos econométricos distintos: Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Variáveis Instrumentais (VI) e ainda a modelagem de um vetor autorregressivo (VAR) sob a representação de um modelo de correção de erro vetorial (VEC). SCHMIDT e LIMA (2004) optaram pela utilização de um VEC, enquanto BRAGA (2001), pelo método da função de transferência de Box-Jenkins.

De modo geral, os resultados obtidos por esses autores indicam que a demanda de energia elétrica é preço-inelástica, tanto no curto quanto no longo prazo. Entretanto, as elasticidades obtidas se mostraram maiores no longo prazo. Em relação à renda dos consumidores, ou nível de produção, as elasticidades se mostraram inferiores à unidade no curto prazo, mas, na maior parte dos casos, maiores que a unidade no longo prazo.

3.4. Teste de raiz unitária e teste para autocorrelação

3.4.1. Teste de raiz unitária de Dickey-Fuller (DF) e Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

O teste de raiz unitária, desenvolvido por DICKEY e FULLER (1979), é um procedimento alternativo para testar se uma série temporal é estacionária. Segundo GUJARATI (2000), a maneira mais fácil de apresentar este teste é a partir do seguinte modelo:

$$Y_t = rY_{t-1} + u_t \quad (42)$$

em que: u_t é o termo de erro estocástico supostamente um ruído branco, ou seja, possui média zero, variância σ^2 constante e é não-autocorrelacionado. A partir da equação (42), testa-se a seguinte hipótese nula:

$$H_0: r = 1$$

contra a hipótese alternativa:

$$H_1: r < 1$$

Se a hipótese nula não for rejeitada, ou seja, se de fato o coeficiente de Y_{t-1} for igual a 1 ($r = 1$), diz-se então que a variável estocástica Y tem uma raiz unitária, isto é, defronta-se com uma situação de não-estacionariedade. Uma série temporal que possui uma raiz unitária é conhecida como uma série de caminho aleatório, que é um exemplo de uma série temporal não-estacionária (GUJARATI, 2000).

A equação (42) tem sido frequentemente apresentada em uma forma alternativa, subtraindo-se Y_{t-1} em ambos os lados e aplicando o operador de primeira diferença Δ :

$$\begin{aligned} \Delta Y_t &= (r - 1)Y_{t-1} + u_t \\ \Delta Y_t &= dY_{t-1} + u_t \end{aligned} \quad (43)$$

em que: Δ é o operador de primeira diferença e $d = (r - 1)$. Assim, a hipótese nula deve ser modificada para $d = 0$.

Se a hipótese de que $d = 0$ não for rejeitada, tem-se que $r = 1$, ou seja, há uma raiz unitária e (43) pode ser reescrita como:

$$\Delta Y_t = u_t \quad (44)$$

o que mostra que a série Y_t é estacionária em primeira diferença já que, por definição, u_t é estacionário (ruído branco)³⁹.

Entretanto, ao se testar a hipótese de $\mathbf{d} = 0$, o valor de t obtido não segue uma distribuição de *student*, nem mesmo para grandes amostras. A estatística t calculada de modo convencional é conhecida como estatística t (tau) e ainda como teste de Dickey-Fuller (DF), cujos valores críticos foram tabulados por Dickey e Fuller e, posteriormente, ampliados por MacKinnon através de simulações de Monte Carlo.

De acordo com GUJARATI (2000), por razões teóricas e práticas, o teste de Dickey-Fuller (DF) é aplicado em regressões especificadas das seguintes formas:

$$\Delta Y_t = \mathbf{d} Y_{t-1} + u_t \quad (43)$$

$$\Delta Y_t = \mathbf{b}_1 + \mathbf{d} Y_{t-1} + u_t \quad (45)$$

$$\Delta Y_t = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 t + \mathbf{d} Y_{t-1} + u_t \quad (46)$$

em que: \mathbf{b}_1 é o termo de intercepto e t é a variável tempo ou tendência. Em todas essas equações, a hipótese nula é de que $\mathbf{d} = 0$ (há uma raiz unitária). Se o termo de erro (u_t) for autocorrelacionado, são incluídos termos suficientes da variável dependente (ΔY_t) defasada, até que se obtenha um outro termo de erro (\mathbf{e}_t) serialmente independente. Assim, as equações (43), (45) e (46) são modificadas, como se segue:

$$\Delta Y_t = \mathbf{d} Y_{t-1} + \mathbf{a}_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \mathbf{e}_t \quad (47)$$

$$\Delta Y_t = \mathbf{b}_1 + \mathbf{d} Y_{t-1} + \mathbf{a}_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \mathbf{e}_t \quad (48)$$

³⁹ Ver, por exemplo, MADDALA e KIM (1998).

$$\Delta Y_t = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 t + \mathbf{d} Y_{t-1} + \mathbf{a}_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \mathbf{e}_t \quad (49)$$

em que a hipótese nula é ainda a de que $\mathbf{d} = 0$ ou $\mathbf{r} = 1$. Quando o teste DF é realizado utilizando-se equações conforme (47), (48) ou (49), é chamado de teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e sua estatística de teste tem a mesma distribuição assintótica que a estatística DF, podendo ser usados os mesmos valores críticos.

Assim, os testes de DF e ADF são feitos da seguinte forma:

Se $|t|$ calculado $>$ $|t|$ crítico: rejeita-se $H_0: \mathbf{d} = 0$ \therefore série é estacionária

Se $|t|$ calculado $<$ $|t|$ crítico: não se rejeita $H_0: \mathbf{d} = 0$ \therefore série é não estacionária.

3.4.2. Teste do Multiplicador de Lagrange (*LM Test*) de Breusch-Godfrey para autocorrelação

Trata-se de um procedimento alternativo para se testar a presença de autocorrelação de ordem superior. Segundo GUJARATI (2000), a realização do teste se dá a partir da suposição de que o resíduo u_i seja gerado pelo seguinte esquema auto-regressivo de p -ésima ordem:

$$u_t = \mathbf{r}_1 u_{t-1} + \mathbf{r}_2 u_{t-2} + \dots + \mathbf{r}_p u_{t-p} + \mathbf{e}_t \quad (50)$$

sendo \mathbf{e}_t um termo de erro puramente aleatório, com média zero e variância constante.

A hipótese nula (H_0) é: $\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_2 = \dots = \mathbf{r}_p = 0$, de que todos os coeficientes auto-regressivos são simultaneamente iguais a zero, ou seja, não há autocorrelação de ordem alguma.

A partir de uma regressão auxiliar, na qual os resíduos estimados (\hat{u}_t) são regredidos contra todos os regressores do modelo e contra p valores defasados dos próprios resíduos ($\hat{u}_{t-1}, \hat{u}_{t-2}, \dots, \hat{u}_{t-p}$), o produto $(n-p) \cdot R^2$ segue distribuição de qui-quadrado com p graus de liberdade.

Se $(n-p) \cdot R^2$ exceder o valor crítico de qui-quadrado, a determinado nível de significância estatística, pode-se rejeitar a hipótese nula, sendo pelo menos um dos coeficientes r estatisticamente diferente de zero. Nesse caso, conclui-se pela presença de autocorrelação no modelo. Caso contrário, se $(n-p) \cdot R^2$ não exceder o valor crítico, não se rejeita a hipótese nula, concluindo pela ausência de autocorrelação.

Ainda segundo GUJARATI (2000), um ponto a ser destacado em relação a esse teste é que os regressores incluídos no modelo de regressão podem conter valores defasados do regressando Y , ou seja, Y_{t-1}, Y_{t-2} , podem aparecer como variáveis explicativas, o que ocorre nos modelos VAR utilizados neste trabalho.

3.5. Fontes e operacionalização dos dados

Neste trabalho foram utilizados dados anuais referentes ao consumo de energia elétrica, tarifa média de energia elétrica, renda das classes consumidoras, número de consumidores, preços dos equipamentos elétricos e preço do fator substituto à energia elétrica. Os dados cobrem o período de 1970 a 2002.

Como *proxy* para a renda da classe Residencial, foi utilizado o PIB total de Minas Gerais. Para as classes Industrial e Comercial, optou-se pelo PIB das respectivas classes como *proxy* para o nível de produção/atividade das mesmas. As três séries foram utilizadas a preços constantes de 2003, deflacionadas pelo deflator implícito do PIB. Os valores nominais dessas séries, referentes ao período 1970/79, foram coletados em MINAS GERAIS (1990); referentes ao período 1980/93, em FJP (1994); e, para o período 1994/2002, em FJP (2002a). Os valores referentes ao PIB Total e *per capita* de Minas Gerais, coletados

nessas fontes, foram ainda utilizados para se obter uma estimativa para a população do Estado.

Os dados referentes às tarifas correspondem às séries históricas das tarifas médias de fornecimento de energia elétrica, por classe consumidora, a preços constantes de 2003. Os valores referentes a essa variável, referentes aos anos de 1970 e 197, foram coletados junto à ANEEL (199X), sendo os demais fornecidos pela CEMIG (2004a). Como medida da quantidade demandada de energia elétrica, foi utilizada a quantidade dessa energia consumida em cada classe, em MWh, cuja fonte dos dados foi a FJP (2004a). Essa também foi a fonte dos dados referentes ao número de consumidores eletrificados, por classe de consumo.

Para o fator substituto, foi utilizado o índice real de preços dos combustíveis e lubrificantes, cuja fonte é a FGV (2004a). Para o preço dos equipamentos elétricos das classes Comercial e Residencial, foram utilizados, respectivamente, o índice real de preços do material elétrico e o índice real de preços dos eletrodomésticos, sendo estes coletados em FGV (2004c) e FGV (2004b), respectivamente. Todas essas séries tiveram o ano de 2003 como base (2003 = 100).

Para realização dos testes econométricos e das estimativas dos modelos de demanda, foi utilizado o *software* EViews 4. As projeções para o consumo de energia elétrica, em cada uma das classes de consumo, foram feitas utilizando-se o *software* Microsoft Excel 2000.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração desse Capítulo teve como finalidade apresentar e discutir os resultados obtidos com a pesquisa, tendo em vista atender aos objetivos deste trabalho já mencionados no Capítulo 1. A seção 4.1 apresenta o resultado dos testes econométricos. A seção 4.2 foi reservada para a apresentação das estimativas das equações de demanda. A seção 4.3 foi dedicada à avaliação da capacidade preditiva dos modelos estimados. Na seção 4.4 foram apresentadas as projeções para o consumo de energia elétrica em Minas Gerais, enquanto a seção 4.5 finaliza o Capítulo 4, apresentando a relação capacidade de produção/demanda de energia elétrica, em Minas Gerais, para o período 2004/2008.

4.1. Relações de longo prazo entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes

Conforme discutido anteriormente na seção 3.3, a presença de co-integração entre as variáveis de um modelo traz importantes implicações para sua estimação. Sendo assim, essa propriedade das variáveis utilizadas neste estudo foi testada através dos procedimentos e testes desenvolvidos por JOHANSEN (1988) e JOHANSEN e JUSELIUS (1990). O resultado dos testes de co-integração para a demanda da classe Comercial está apresentado no item 4.2.1,

enquanto que os resultados referentes às classes Industrial e Residencial nos itens 4.2.2 e 4.2.3, respectivamente.

4.1.1. Classe Comercial

A utilização do conceito de co-integração só se justifica se as séries analisadas são não-estacionárias. Portanto, o primeiro procedimento para estimação da função de demanda de energia elétrica da classe Comercial foi a realização dos Testes de Raiz Unitária de Dickey-Fuller (DF) e de Dickey-Fuller Aumentado (ADF). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Testes de Raiz Unitária DF e ADF, realizados para as séries LQC_t , LTC_t , LRC_t e LME_t , para o período de 1970 a 2002

Série	Equação de teste	Número de defasagens	Estatística de teste	Valor Crítico	
				5%	1%
LQC_t	constante e tendência	0	-0,797	-3,558	-4,273
? LQC_t	constante e tendência	0	-4,389	-3,563	-4,285
LTC_t	constante e tendência	0	-2,547	-3,558	-4,273
? LTC_t	sem const. e sem tend.	0	-5,527	-1,952	-2,642
LRC_t	constante e tendência	0	-2,984	-3,558	-4,273
? LRC_t	constante	0	-5,946	-2,960	-3,662
LME_t	constante e tendência	0	-1,401	-3,558	-4,273
? LME_t	constante	0	-5,677	-2,960	-3,662

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: Foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz.

Os resultados apresentados na Tabela 10 indicam que, aos níveis de significância estatística de 1% e 5% não se pode rejeitar a presença de raiz unitária para nenhuma das séries, tratando-se, portanto, de séries não-estacionárias. O teste realizado para todas as séries em primeira diferença indicou que, a esses mesmos níveis de significância, pode-se rejeitar a presença de raiz

unitária para todas as variáveis. Portanto, todas as séries possuem a mesma ordem de integração, ou seja, são todas I(1) e é possível que sejam co-integradas.

Analisada a ordem de integração das variáveis, o passo seguinte foi testar a existência de co-integração entre elas, utilizando o procedimento de JOHANSEN (1988) e JOHANSEN e JUSELIUS (1990) a partir da especificação de um modelo VAR.

Com a finalidade de determinar o número de defasagens (p) do modelo VAR, optou-se por utilizar o número de defasagens que minimizou os Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e de Hannan-Quinn, além do teste de significância estatística das defasagens. Por se tratar de séries anuais, considerou-se suficiente a inclusão de, no máximo, duas defasagens de cada variável no modelo a ser estimado⁴⁰. Os resultados, segundo cada um dos critérios, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Definição do número de defasagens do modelo VAR a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, e do teste de significância das defasagens (estatística χ^2)

Defasagens	Akaike	Schwarz	Hannan-Quinn	Estatística c^2
0	-2.796240	-2.426178	-2.675609	—
1	-11.33109*	-10.22090*	-10.96919*	239.1776*
2	-11.20867	-9.358368	-10.60552	19.10676

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (*) indica o número de defasagens escolhido por cada teste.

De acordo com todos os resultados apresentados na Tabela 11, o modelo deveria incluir apenas uma defasagem de cada variável. Entretanto, o modelo estimado com essa especificação apresentou autocorrelação entre os resíduos.

⁴⁰ MOREIRA *et al.* (1996) citaram ainda que o modelo a ser estimado deve necessariamente ser parcimonioso quanto ao número de variáveis, sob pena de perda excessiva de graus de liberdade na estimação dos seus parâmetros.

Em situações como essa, o procedimento padrão consiste em aumentar o número de defasagens até que não mais seja observada a autocorrelação. Ao realizar esse procedimento, constatou-se que a inclusão da segunda defasagem foi suficiente para eliminar a autocorrelação⁴¹. Logo, o VAR a ser estimado é de segunda ordem, ou seja, VAR (2).

Definido a ordem do VAR, o passo seguinte foi determinar a inclusão ou não de termos determinísticos tais como constante, tendência e variáveis do tipo *Dummy*. Após análise gráfica das séries e o posterior teste de significância estatística⁴², a conclusão foi de que o modelo deveria conter tanto uma constante quanto uma tendência. Foi ainda incluída uma *Dummy*, indicada por *DC*, com o objetivo de captar uma possível mudança estrutural da demanda de energia elétrica em função do programa de racionamento do consumo dessa energia.

Determinada a especificação do modelo VAR, foram realizados os Testes do Traço e do Máximo Autovalor, com o objetivo de encontrar, caso exista relação de longo prazo entre as variáveis, o (s) vetor (es) de co-integração. A Tabela 12 e a Tabela 13 apresentam os resultados.

Tabela 12 – Teste do Traço para co-integração entre as variáveis LQC_t , LTC_t , LRC_t e LME_t

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r > 0$	82,0424**	62,99	70,05
$r = 1$	$r > 1$	41,0602	42,44	48,45
$r = 2$	$r > 2$	17,3857	25,32	30,45
$r = 3$	$r > 3$	5,9903	12,25	16,26

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (**) a hipótese nula é rejeitada a 1% de significância estatística.

⁴¹ O resultado do teste para autocorrelação está apresentado na Tabela 25.

⁴² Os testes de significância estatística da constante e da tendência, realizados para especificação do modelo VAR das três classes consumidoras, foram feitos com base na estatística “t”, ao nível de significância estatística de 5%.

Segundo o Teste do Traço, a hipótese nula de que o posto da matriz de co-integração é nulo ($r = 0$) é rejeitada tanto a 5% quanto a 1% de significância estatística. Portanto, há no mínimo 1 vetor de co-integração que estabelece as relações de equilíbrio longo prazo entre as variáveis. A esses mesmos níveis de significância, a hipótese $r \leq 1$ não pode ser rejeitada. Logo, com base no Teste do Traço, conclui-se que existe um único vetor de co-integração tanto a 1% quanto a 5% de significância estatística.

Tabela 13 – Teste do Máximo Autovalor para co-integração entre as variáveis LQC_t , LTC_t , LRC_t e LME_t

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r = 1$	40,9822**	31,46	36,65
$r = 1$	$r = 2$	23,6745	25,54	30,34
$r = 2$	$r = 3$	11,3954	18,96	23,65
$r = 3$	$r = 4$	5,9903	12,25	16,26

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (**) a hipótese nula é rejeitada a 1% de significância estatística.

De acordo com o teste do Máximo Autovalor, a hipótese nula de que o posto da matriz de co-integração é nulo ($r = 0$) é rejeitada tanto a 5% quanto a 1% de significância estatística. Portanto, há no mínimo 1 vetor de co-integração que estabelece as relações de equilíbrio longo prazo entre as variáveis. Aos níveis de 1% e 5%, a hipótese $r = 1$ não pode ser rejeitada. Portanto, assim como no Teste do Traço, há um único vetor de co-integração entre as variáveis.

Assim, pode-se dizer que as variáveis são co-integradas, havendo relação de equilíbrio de longo prazo entre elas. Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é o de estabelecer as relações entre o consumo de energia elétrica e

seus principais determinantes, decidiu-se por apresentar apenas o vetor de co-integração normalizado para a variável LQC_t . A Tabela 14 apresenta esse vetor.

Tabela 14 – Vetor de co-integração normalizado para a variável LQC_t

LQC_t	constante	LTC_t	LRC_t	LME_t	tendência
1,0000	-21,18266	0,7717 (0,3705)	-0,7779 (0,2520)	1,1157 (0,2170)	-0,0068 (0,0017)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: A estatística entre parênteses refere-se ao desvio padrão do parâmetro estimado.

A partir do vetor de co-integração estimado, pode-se escrever a relação de equilíbrio de longo prazo entre o consumo comercial de energia elétrica e seus determinantes e interpretar cada um dos parâmetros b_i como a elasticidade de longo prazo da demanda de energia elétrica em relação a cada variável explicativa. A equação (51) apresenta essa relação.

$$LQC_t = 21,18266 - 0,7717LTC_t + 0,7779LRC_t - 1,1157LME_t + 0,0068t \quad (51)$$

Com base nesses resultados, pode-se afirmar que os sinais de todos os parâmetros da equação (51) estão de acordo com o sugerido pela teoria econômica.

A elasticidade-renda estimada indica que, mantidas as demais variáveis constantes, um acréscimo (decrécimo) de 10% na renda do setor Comercial mineiro induz uma elevação (redução) de aproximadamente 7,78% na quantidade demandada de energia elétrica por essa classe consumidora. Quando comparado ao valor de 6,36% obtido por SCHMIDT e LIMA (2004), esse se mostrou superior, embora esses autores tivessem analisado a demanda da classe Comercial do Brasil.

Em relação à elasticidade-preço da demanda, pode-se dizer que, *ceteris paribus*, um acréscimo (decréscimo) de 10% nas tarifas de energia da classe Comercial, em Minas Gerais, provoca uma redução (elevação) de aproximadamente 7,72% na quantidade demandada de energia elétrica por essa classe consumidora. O valor de 0,77 se aproxima mais da elasticidade-preço obtida para a classe Residencial ($|e_p|=1,00$) que o valor obtido para a Industrial ($|e_p|=0,25$)⁴³. Esse resultado é coerente com a existência de um padrão de consumo similar entre as classes Comercial e Residencial, resultando numa forte correlação entre o consumo dessas duas classes, conforme pode ser verificado em ELETROBRAS (2003b).

Comparando-se com o valor de 0,17 encontrado por SCHMIDT e LIMA (2004), esse se mostrou consideravelmente superior, indicando que a demanda de energia elétrica da classe Comercial, em Minas Gerais, é mais sensível às variações das tarifas do que a demanda dessa classe no Brasil.

Chama-se a atenção para o coeficiente da elasticidade-preço do equipamento elétrico da classe Comercial. Apesar de apresentar sinal correto, o módulo desse coeficiente pode ser considerado elevado. Não parece razoável que a demanda de energia elétrica seja mais sensível às variações no preço dos equipamentos elétricos que às variações no seu próprio preço. Vale informar que o mesmo foi verificado por SCHMIDT e LIMA (2004).

Este resultado ratifica a dificuldade de se obter uma estimativa adequada para o estoque dos equipamentos elétricos, conforme já discutido na seção 3.2. Ressalta-se ainda que tal dificuldade é maior para o caso da classe Comercial em função de uma maior variedade dos equipamentos elétricos que, em algumas circunstâncias se assemelham aos equipamentos utilizados pela classe Industrial e, em outras situações, aos equipamentos utilizados pela classe Residencial (eletrodomésticos). Deve-se, portanto, considerar esse resultado como uma das limitações desse trabalho.

⁴³ Os resultados referentes às classes Industrial e Residencial serão apresentados nas seções 4.2.2 e 4.2.3, respectivamente.

4.1.2. Classe Industrial

Inicialmente, seguindo o mesmo procedimento adotado no caso da classe Comercial, realizaram-se os Testes de Raiz Unitária de Dickey-Fuller (DF) e de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) a fim de se testar a estacionariedade das séries estudadas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Testes de Raiz Unitária DF e ADF, realizados para as séries LQI_t , LTI_t , LRI_t , LNI_t e LPS_t , para o período de 1970 a 2002

Série	Equação de teste	Número de defasagens	Estatística de teste	Valor Crítico	
				5%	1%
LQI_t	constante e tendência	0	-1,398	-3,558	-4,273
? LQI_t	constante e tendência	0	-4,262	-3,563	-4,285
LTI_t	constante e tendência	0	-2,543	-3,558	-4,273
? LTI_t	sem const. e sem tend.	0	-6,123	-1,952	-2,642
LRI_t	constante e tendência	0	-2,361	-3,558	-4,273
? LRI_t	sem const. e sem tend.	0	-3,170	-1,952	-2,642
LNI_t	constante e tendência	0	-2,417	-3,558	-4,273
? LNI_t	sem const. e sem tend.	0	-3,496	-1,952	-2,642
LPS_t	constante	1	-2,191	-2,960	-3,662
? LPS_t	sem const. e sem tend.	0	-3,764	-1,952	-2,642

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: Foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz.

Os resultados apresentados na Tabela 15 indicam que, aos níveis de significância estatística de 1% e 5%, não se pode rejeitar a presença de raiz unitária para nenhuma das séries, tratando-se, portanto, de séries não-estacionárias. O teste realizado para todas as séries em primeira diferença indicou que, ao nível de significância de 5%, pode-se rejeitar a presença de raiz unitária para todas as variáveis. Portanto, todas as séries possuem a mesma ordem de integração, ou seja, são todas $I(1)$ e é possível que sejam co-integradas.

Após verificação da ordem de integração das variáveis, o passo seguinte foi testar a existência de co-integração entre elas, utilizando o procedimento de JOHANSEN (1988) e JOHANSEN e JUSELIUS (1990) a partir da especificação de um modelo VAR.

Para determinar o número de defasagens das variáveis endógenas a serem incluídas no modelo VAR, optou-se por utilizar o número de defasagens que minimizou os Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e de Hannan-Quinn, além do teste de significância estatística das defasagens. Os resultados, segundo cada um dos critérios, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Definição do número de defasagens do modelo VAR, a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, e do teste de significância das defasagens (estatística χ^2)

Defasagens	Akaike	Schwarz	Hannan-Quinn	Estatística c^2
0	-4.451144	-3.988568	-4.300356	—
1	-13.10278*	-11.48376*	-12.57502*	246.3490*
2	-12.54987	-9.774415	-11.64514	20.13993

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (*) indica o número de defasagens escolhido por cada teste.

A partir da Tabela 16 pode-se verificar que, de acordo com todos os critérios de informação e do teste de significância das defasagens, o modelo VAR deve conter apenas uma defasagem.

Após definição da ordem do VAR, o passo seguinte foi determinar a inclusão ou não de termos determinísticos. Após análise gráfica das séries e constatar que a tendência não foi estatisticamente significativa, concluiu-se que o modelo deveria conter somente uma constante. Além disso, assim como no caso da demanda da classe Comercial, foi incluída uma *Dummy*, indicada por *DI*, referente ao programa de racionamento do consumo de energia elétrica.

Determinada a especificação do modelo VAR, foram realizados os Testes do Traço e do Máximo Autovalor, com o objetivo de encontrar, caso exista relação de longo prazo entre as variáveis, o (s) vetor (es) de co-integração. A Tabela 17 e a

Tabela 18 apresentam os resultados.

Tabela 17 – Teste do Traço para co-integração entre as variáveis LQI_t , LTI_t , LRI_t , LNI_t e LPS_t

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r > 0$	87,8857**	68,52	76,07
$r = 1$	$r > 1$	49,0081*	47,21	54,46
$r = 2$	$r > 2$	27,9189	29,68	35,65
$r = 3$	$r > 3$	9,8111	15,41	20,04
$r = 4$	$r > 4$	3,5262	3,76	6,65

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (**) a hipótese nula é rejeitada a 1%; (*) a hipótese nula é rejeitada a 5%.

Os resultados apresentados na Tabela 17 indicam que a hipótese nula de que o posto da matriz de co-integração é nulo ($r = 0$) é rejeitada, tanto a 5% quanto a 1% de significância estatística. Portanto, há no mínimo 1 vetor de co-integração que estabelece as relações de equilíbrio longo prazo entre as variáveis. Ao nível de 1%, a hipótese $r \leq 1$ não pode ser rejeitada. Ao nível de significância de 5%, a hipótese $r \leq 1$ pode ser rejeitada, o que não ocorre com a hipótese $r \leq 2$. Logo, com base no Teste do Traço, conclui-se que existe um vetor de co-integração, ao nível de 1% de significância estatística e dois vetores ao nível de 5%.

Tabela 18 – Teste do Máximo Autovalor para co-integração entre as variáveis LQI_t , LTI_t , LRI_t , LNI_t e LPS_t

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r = 1$	38,8776**	33,46	38,77
$r = 1$	$r = 2$	21,0891	27,07	32,24
$r = 2$	$r = 3$	18,1078	20,97	25,52
$r = 3$	$r = 4$	6,2848	14,07	18,63
$r = 4$	$r = 5$	3,5262	3,76	6,65

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (**) a hipótese nula é rejeitada a 1% de significância estatística.

De acordo com o teste do Máximo Autovalor, a hipótese nula de que o posto da matriz de co-integração é nulo ($r = 0$) é rejeitada, tanto a 5% quanto a 1% de significância. Entretanto, a hipótese ($r = 1$) não pode ser rejeitada nem mesmo quando é considerado o nível de 5%. Portanto, a esses níveis de significância estatística, há um único vetor de co-integração entre as variáveis, que é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Vetor de co-integração normalizado para a variável LQI_t

LQI_t	constante	LTI_t	LRI_t	LNI_t	LPS_t
1,0000	-9,20129	0,2502 (0,2818)	-0,5398 (0,1914)	-0,4507 (0,1743)	-0,2822 (0,1441)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: A estatística entre parênteses refere-se ao desvio padrão do parâmetro estimado.

A partir do vetor de co-integração estimado, pode-se escrever a relação de equilíbrio de longo prazo do consumo de energia elétrica e seus determinantes na classe Industrial e interpretar cada um dos parâmetros b_i como a elasticidade de longo prazo da demanda de energia elétrica em relação a cada variável explicativa. Essa relação é apresentada na equação (52).

$$LQI_t = 9,20129 - 0,2502LTI_t + 0,5398LRI_t + 0,4507LNI_t + 0,2822LPS_t \quad (52)$$

De acordo com a equação (52), pode-se afirmar que os sinais de todos os parâmetros encontram-se em conformidade com o sugerido pela teoria econômica.

A elasticidade-renda estimada indica que, mantidas as demais variáveis constantes, um acréscimo (decréscimo) de 10% na renda do setor Industrial, em Minas Gerais, induz uma elevação (redução) de aproximadamente 5,40% na quantidade demandada de energia elétrica por essa classe consumidora. O valor de 0,5398 se mostrou muito inferior à elasticidade de 1,916 estimada por SCHMIDT e LIMA (2004), indicando que a elasticidade-renda da demanda de energia elétrica é maior para a indústria brasileira que para a indústria mineira.

Este resultado pode ser explicado, pelo menos em parte, pela presença de maior eficiência no uso final da energia elétrica pela indústria mineira que pela média do setor industrial brasileiro, conforme pode ser constatado em Araújo *et al.* (2003). Sendo a variável renda utilizada como uma medida representativa do nível de produção do setor Industrial, o coeficiente de elasticidade menor significa que, ao elevar o seu nível de produção, o setor industrial mineiro aumenta seu consumo de energia elétrica proporcionalmente menos que a média do setor industrial brasileiro. É importante ressaltar que os próprios autores reconheceram em seu trabalho que a estimativa para a elasticidade-renda por eles encontrada é demasiadamente alta.

Em relação à elasticidade-preço da demanda, pode-se dizer que, mantidas as demais variáveis inalteradas, um acréscimo (decréscimo) de 10% nas tarifas de energia da classe Industrial mineira provoca uma redução (elevação) de

aproximadamente 2,50% na quantidade demandada de energia elétrica por essa classe consumidora. Comparando-se com o valor de 0,545 encontrado por SCHMIDT e LIMA (2004), esse se mostrou inferior, indicando que a demanda de energia elétrica da classe Industrial é mais inelástica em Minas que no Brasil.

Em parte, esse resultado também pode ser explicado pelo fato de o setor industrial mineiro utilizar a energia elétrica de modo mais eficiente. Nesse caso, as tarifas de energia elétrica teriam menor peso nos custos de produção em Minas Gerais comparada à média nacional. Uma outra explicação pode ser encontrada na forte dependência da classe industrial mineira em relação à energia elétrica, que é confirmada pela expressiva participação dessa classe no consumo total do Estado, dificultando a migração para outra fonte de energia. Poderia ainda se pensar que a substituição da energia elétrica por outro tipo de energia, em especial por um derivado do petróleo, como foi considerado neste trabalho, ocorre com maior facilidade nos demais estados do País que em Minas Gerais.

Por outro lado, a elasticidade em relação ao preço do substituto da energia elétrica se mostrou maior em Minas que no Brasil, e num valor muito próximo à elasticidade-preço, o que não parece razoável. Esse resultado pode ser reflexo da grande participação do petróleo na matriz energética mineira durante a década de 1970.

Levanta-se também a possibilidade da série de preços dos “combustíveis e lubrificantes”, utilizada como *proxy* para o preço do óleo combustível, ter alguma influência sobre esse resultado. Entretanto, deve-se ressaltar que os valores referentes ao preço do óleo combustível não são disponíveis para todo o período analisado o que limitaria o tamanho da amostra, caso esses fossem utilizados. Assim, a elasticidade obtida para o substituto da energia elétrica deve ser interpretada com algum cuidado e se apresenta como uma das limitações deste trabalho.

4.1.3. Classe Residencial

Adotando-se os mesmos procedimentos realizados para o estudo da demanda de energia elétrica das classes Comercial e Industrial, o estudo da demanda da classe Residencial foi iniciado pela verificação da estacionariedade das séries LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t . A Tabela 20 apresenta os resultados dos testes de Raiz Unitária DF e ADF.

Tabela 20 – Testes de Raiz Unitária DF e ADF, realizados para as séries LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t , para o período de 1970 a 2002

Série	Equação de teste	Número de defasagens	Estatística de teste	Valor Crítico	
				5%	1%
LQR_t	constante e tendência	2	-2,279	-3.568	-4.297
? LQR_t	sem const. e sem tend.	0	-3.967	-1.952	-2.642
LTR_t	constante	0	-1,420	-2,957	-3,653
? LTR_t	sem const. e sem tend.	0	-5,844	-1,952	-2,641
LRR_t	constante e tendência	2	-3,387	-3.568	-4.297
? LRR_t	sem const. e sem tend.	0	-3.469	-1.952	-2.642
LMO_t	constante e tendência	2	-2,558	-3,568	-4,297
? LMO_t	constante e tendência	3	-3,856	-3,622	-4,416
LEL_t	constante e tendência	0	-1,523	-3,557	-4,273
? LEL_t	constante	0	-5,124	-2,960	-3,661

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: Foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz.

Os resultados apresentados na Tabela 20 indicam que, aos níveis de significância de 1% e 5%, não se pode rejeitar a presença de raiz unitária para nenhuma das séries, tratando-se, portanto, de séries não-estacionárias. O teste realizado para as séries em primeira diferença indicou que, ao nível de significância de 5%, pode-se rejeitar a presença de raiz unitária para todas as

séries. Assim, todas as séries possuem a mesma ordem de integração, ou seja, são todas I(1) e é possível que sejam co-integradas.

Verificada a ordem de integração das variáveis, o passo seguinte foi testar a existência de co-integração entre elas, utilizando o procedimento de JOHANSEN (1988) e JOHANSEN e JUSELIUS (1990) a partir da especificação de um modelo VAR.

Para a determinação do número de defasagens (p) do modelo VAR, assim como já havia sido feito no caso das demandas Comercial e Industrial, decidiu-se por utilizar o número de defasagens que minimizou os Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e de Hannan-Quinn, além do teste de significância estatística das defasagens. Os resultados, segundo cada um dos critérios, estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Definição do número de defasagens do modelo VAR, a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, e do teste de significância das defasagens (estatística χ^2)

Defasagens	Akaike	Schwarz	Hannan-Quinn	Estatística χ^2
0	-5.557142	-5.094565	-5.406353	—
1	-17.63732	-16.01831*	-17.10956	328.6341
2	-18.23356*	-15.45810	-17.32883*	41.97357*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (*) indica o número de defasagens escolhido por cada teste.

Os resultados apresentados na Tabela 21 revelam que apenas o Critério de Schwarz indica a inclusão de uma defasagem, enquanto os demais resultados apontam a necessidade de duas defasagens. Portanto, decidiu-se por incluir duas defasagens, ou seja, estimar um VAR (2).

O passo seguinte foi determinar a inclusão ou não de termos determinísticos. A conclusão foi de que o modelo deveria conter uma constante.

Além disso, assim como no caso das demandas das classes Comercial e Industrial, foi incluída uma *Dummy*, indicada por *DR*, referente ao programa de racionamento do consumo de energia elétrica.

Em seguida, foram realizados os Testes do Traço e do Máximo Autovalor, com o objetivo de encontrar, caso exista relação de longo prazo entre as variáveis, o(s) vetor (es) de co-integração. A Tabela 22 e a Tabela 23 apresentam os resultados.

Tabela 22 – Teste do Traço para co-integração entre as variáveis LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r > 0$	135,3039**	68,52	76,07
$r = 1$	$r > 1$	67,5224**	47,21	54,46
$r = 2$	$r > 2$	33,5136*	29,68	35,65
$r = 3$	$r > 3$	11,9575	15,41	20,04
$r = 4$	$r > 4$	0,3699	3,76	6,65

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (**) a hipótese nula é rejeitada a 1%; (*) a hipótese nula é rejeitada a 5%.

De acordo com o Teste do Traço, a hipótese nula de que o posto da matriz de co-integração é nulo ($r=0$) é rejeitada, tanto a 1% quanto a 5% de significância. Portanto, há no mínimo 1 vetor de co-integração que estabelece as relações de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. A análise da Tabela 22 indica que a hipótese nula de que há no máximo 2 vetores de co-integração ($r \leq 2$) não pode ser rejeitada a 1%, enquanto a hipótese de que há no máximo três vetores ($r \leq 3$) não pode ser rejeitada a 5%. Portanto, segundo o Teste do Traço, há 2 vetores de co-integração, ao nível de 1%, e 3 vetores ao nível de 5% de significância estatística.

Tabela 23 – Teste do Máximo Autovalor para co-integração entre as variáveis LQR_t , LTR_t , LRR_t , LMO_t e LEL_t

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r = 1$	67,7815**	33,46	38,77
$r = 1$	$r = 2$	34,0088**	27,07	32,24
$r = 2$	$r = 3$	21,5561*	20,97	25,52
$r = 3$	$r = 4$	11,5876	14,07	18,63
$r = 4$	$r = 5$	0,3699	3,76	6,65

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (**) a hipótese nula é rejeitada a 1%; (*) a hipótese nula é rejeitada a 5%.

De acordo com o teste do Máximo Autovalor, a hipótese nula de que o posto da matriz de co-integração é nulo ($r = 0$), assim como no teste anterior, é rejeitada tanto a 1% quanto a 5% de significância. Portanto, há no mínimo 1 vetor de co-integração entre as variáveis, indicando que essas são co-integradas. Entretanto, a 1% de significância estatística, a hipótese de que há 2 vetores de co-integração ($r = 2$) não pode ser rejeitada, enquanto a 5%, a hipótese de que ($r = 3$) também não pode ser rejeitada. Portanto, segundo o Teste do Máximo Autovalor, há dois e três vetores de co-integração aos níveis de 1% e 5%, respectivamente⁴⁴.

Assim, pode-se dizer que as variáveis são co-integradas, havendo relação de equilíbrio de longo prazo entre elas. Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é o de estabelecer as relações entre o consumo de energia elétrica e seus principais determinantes, decidiu-se por apresentar apenas o vetor de co-integração normalizado para a variável LQR_t . A Tabela 24 apresenta esse vetor.

⁴⁴ Apesar da existência de mais de um vetor de co-integração, só é possível determinar um único vetor que possui todos os seus elementos diferentes de zero. Para os demais vetores, é necessário fixar no mínimo um elemento em zero. Esse procedimento é realizado automaticamente pelo *software* Eviews4.

Tabela 24 – Vetor de co-integração normalizado para a variável LQR_t

LQR_t	constante	LTR_t	LRR_t	LMO_t	LEL_t
1,0000	-2,135458	1,0021 (0,0922)	-1,1550 (0,1328)	-0,9086 (0,1103)	0,5332 (0,0387)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: A estatística entre parênteses refere-se ao desvio padrão do parâmetro estimado.

A partir do vetor de co-integração estimado, pode-se escrever a relação de equilíbrio de longo prazo do consumo de energia elétrica e seus determinantes, interpretando cada um dos parâmetros b_i como a elasticidade da demanda de energia elétrica em relação a cada variável explicativa. A equação (53) apresenta essa relação.

$$LQR_t = 2,135458 - 1,0021LTR_t + 1,1550LRR_t + 0,9086LMO_t - 0,5332LEL_t \quad (53)$$

Com base nesses resultados, nota-se que todos os parâmetros da equação (53) possuem seus sinais de acordo com o sugerido pela teoria econômica. Evidenciou-se que, no longo prazo, mudanças nas tarifas provocam variações proporcionais na quantidade demandada de energia elétrica, enquanto alterações na renda dos consumidores induzem variações mais que proporcionais.

O coeficiente de elasticidade-número de moradores por residência se mostrou inferior à unidade, indicando que o acréscimo de moradores em uma residência aumenta o consumo de energia menos que proporcionalmente. Esse resultado é reflexo da utilização da energia elétrica em aplicações que, freqüentemente, independem do número de moradores de uma residência. Por exemplo, podem ser citados a iluminação de corredores, cozinhas, salas e outros cômodos, o uso de geladeiras e *freezers*, fornos microondas, televisores, dentre outros.

A elasticidade-renda estimada indica que, mantidas as demais variáveis constantes, um aumento (redução) de 10% na renda dos consumidores induz uma elevação (redução) aproximada de 11,55% na quantidade demandada de energia pela classe Residencial em Minas Gerais. Quando comparado a outros estudos, esse valor se mostrou superior às estimativas de 0,2132, 0,539 e 0,9374 realizadas por ANDRADE e LOBÃO (1997), SCHMIDT e LIMA (2004) e SILVA (2001), respectivamente. Entretanto, está mais próxima da elasticidade-renda de 1,35, apresentada em ELETROBRAS (2002b), que os valores obtidos pelos estudos anteriormente citados.

A demanda de energia elétrica se mostrou mais sensível às variações no preço da energia que às variações no preço dos eletrodomésticos o que parece bastante razoável. Mantidas as demais variáveis inalteradas, aumento de 10% no valor das tarifas de energia provoca redução de aproximadamente 10,02% na quantidade demandada de energia. O valor de 1,002 se mostrou superior aos obtidos nos trabalhos citados anteriormente, o que mostra que a demanda de energia elétrica da classe Residencial, em Minas Gerais, é mais sensível às variações das tarifas que a demanda dessa classe no Brasil.

Uma possível explicação para esse resultado pode ser encontrada no fato de Minas Gerais apresentar padrão diferenciado do consumo dessa energia quando comparado à média nacional. Com base nos dados do IPEA (2002), constata-se que, além de Minas apresentar renda *per capita* acima da média nacional, o Índice de Gini⁴⁵ calculado para esse Estado é inferior ao Índice médio nacional, indicando que a renda é mais uniformemente distribuída entre a população mineira, quando comparada à média nacional. Assim, pode-se pensar na existência de um maior estoque de eletrodomésticos, principalmente aparelhos destinados a fornecer maior comodidade aos consumidores. Por exemplo, máquinas de lavar louças, lavadoras de roupa, condicionadores de ar, etc. Dessa

⁴⁵ Mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar *per capita*. Seu valor varia de 0, quando não há desigualdade (a renda de todos os indivíduos tem o mesmo valor), a 1, quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda da sociedade e a renda de todos os outros indivíduos é nula) (IPEA, 2002).

forma, os consumidores ainda teriam espaço para redução do consumo a eventuais acréscimos nas tarifas.

Ressalta-se que, conforme apresentado na Tabela 3, foi exatamente o que ocorreu durante o racionamento. Naquela ocasião, a classe Residencial mineira reduziu seu consumo de energia elétrica acima da média nacional, sendo superada apenas pela Região Sudeste como um todo. Por outro lado, as regiões com rendas menores provavelmente utilizam essa energia em situações de primeira necessidade, como iluminação, banho, conservação dos alimentos, etc., dificultando a redução do consumo de energia elétrica quando as tarifas são reajustadas.

Destaca-se o fato de que, historicamente, o mercado de energia elétrica apresenta demanda inelástica em relação ao preço (tarifas). Entretanto, a partir de 1993, uma série de sucessivos aumentos nominais na estrutura tarifária, principalmente na classe Residencial, tenderam a alterar esse comportamento. Soma-se ainda a contínua queda na renda média da população, fazendo com que o peso da conta de energia elétrica aumente no orçamento doméstico e que o valor absoluto de sua conta de energia seja cada vez mais relevante para o consumidor (ELETROBRAS, 2003a).

Uma comparação entre os coeficientes de elasticidade-preço da demanda das três classes de consumo mostra que essa elasticidade é maior na classe Residencial e menor na Industrial, estando o coeficiente estimado para a classe Comercial entre esses dois. Esse resultado está intimamente relacionado ao grau de essencialidade da energia elétrica para cada uma das classes, sendo este maior na classe Industrial que na Comercial, e maior na classe Comercial que na Residencial.

4.2. Estimativas dos Modelos de Demanda

Os procedimentos realizados até o presente momento foram úteis para determinar a relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. A partir dessas relações, foram estimados os Modelos de Correção de Erros Vetorial para

cada uma das classes de consumo estudadas. A relação de longo prazo entre as variáveis, dada pelo vetor de co-integração, foi utilizada como variável explicativa do termo de correção de erros. A seção 4.3.1 apresenta o resultado obtido para a classe Comercial, enquanto as seções 4.3.2 e 4.3.3, os resultados obtidos para as classes Industrial e Residencial respectivamente.

4.2.1. Estimativa da equação de Demanda para a classe Comercial

Uma vez que o objetivo deste trabalho foi determinar as relações da demanda de energia elétrica com seus principais determinantes, optou-se por apresentar apenas a equação referente à variável LQC_t . Os resultados são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 – Estimativa do Modelo VEC referente à variável LQC_t

Variável Explicativa	Coefficiente	Desvio padrão
$?_{t-1}$	-0,1403 ***	0,0233
$? LQC_{t-1}$	-0,3631 ***	0,1282
$? LTC_{t-1}$	-0,0424 ^{NS}	0,0469
$? LRC_{t-1}$	0,0279 ^{NS}	0,0614
$? LME_{t-1}$	0,1812 ***	0,0520
Constante	0,1215 ***	0,0112
DC	-0,1373 ***	0,0186
Testes e Qualidade do Ajuste		
$R^2 = 0,8484$	R^2 ajustado = 0,8105	Estatística F = 22,3809
	Defasagem	Estatística do teste
	1 ^a	15,12944
Autocorrelação (LM-teste)	2 ^a	17,18929
	3 ^a	15,26305
		p-valor
		0,5152
		0,3735
		0,5055

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (^{NS}) não significativo; $?_{t-1}$ é a relação de co-integração no período $t-1$, que é igual a $\mathbf{b}' X_{t-1}$, sendo $\mathbf{\beta}$ o vetor de co-integração.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 25, pode-se verificar que, dentre os sete parâmetros estimados, dois não são estatisticamente significativos, sendo todos os demais significativos ao nível de significância estatística de 1%.

O coeficiente de determinação encontrado foi de 0,8484, indicando que aproximadamente 84,8% das variações ocorridas na quantidade demandada de energia elétrica são explicadas pelo modelo ajustado. O teste F mostrou-se altamente significativo, confirmando que as variáveis explicativas são conjuntamente significativas para explicarem o comportamento da quantidade demandada de energia elétrica. Pode-se ainda afirmar que, com base no teste do Multiplicador de Lagrange (LM-teste), ao nível de 1% de significância estatística, não há autocorrelação no modelo estimado.

A equação do modelo VEC, referente à variável LQC_t , pode ser escrita conforme equação (54).

$$\begin{aligned} \Delta LQC_t = & -0,1215 - 0,1403(LQC_{t-1} + 0,7717LTC_{t-1} - 0,7779LRC_{t-1} \\ & + 1,1157LME_{t-1} - 21,1827 - 0,0068t) - 0,3631\Delta LQC_{t-1} \\ & - 0,0424\Delta LTC_{t-1} + 0,0279\Delta LRR_{t-1} + 0,1812\Delta LME_{t-1} \\ & - 0,1373DC_t \end{aligned} \quad (54)$$

Nota-se que as variáveis explicativas determinam o comportamento de curto prazo da variável dependente, nesse caso, a quantidade demandada de energia elétrica. A dinâmica de curto prazo dessa variável é influenciada tanto pela trajetória de equilíbrio de longo prazo, dada pela relação de co-integração entre parênteses, como pelo comportamento de curto prazo das variáveis explicativas. O peso com que a relação de co-integração influencia a variável dependente é dado pelo coeficiente de ajustamento estimado.

Esse coeficiente é estatisticamente significativo e indica qual a proporção do desequilíbrio de curto prazo da demanda de energia elétrica é corrigida no período seguinte. Especificamente, o valor de 0,1403 estabelece que aproximadamente 14% da discrepância entre o valor efetivo e o valor de longo

prazo, ou de equilíbrio, são corrigidos a cada ano. Portanto, a classe Comercial levaria de sete a oito anos para ajustar a quantidade demandada dessa energia a eventuais choques nas tarifas e, ou, na renda dos consumidores.

4.2.2. Estimativa da equação de Demanda para a classe Industrial

Seguindo o mesmo critério adotado para a classe Comercial, optou-se por apresentar apenas a equação referente à variável LQI_t , sendo os resultados obtidos são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Estimativa do Modelo VEC referente à variável LQI_t .

Variável Explicativa	Coefficiente	Desvio padrão
$?_{t-1}$	-0,298742 ***	0,0472
Constante	0,0733 ***	0,0472
DI	-0,1330 ***	0,0354
Testes e Qualidade do Ajuste		
$R^2 = 0,6224$	R^2 ajustado = 0,5963	Estatística F = 23,9015
	Defasagem	Estatística do teste
Autocorrelação (LM-teste)	1 ^a	21,33004
	2 ^a	11,79446
	3 ^a	27,95751
		p-valor
		0,6741
		0,9881
		0,3098

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; $?_{t-1}$ é a relação de co-integração no período $t-1$, que é igual a $\mathbf{b}'X_{t-1}$, sendo β o vetor de co-integração.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 26, conclui-se que todos os três coeficientes estimados são significativos ao nível de 1% de significância estatística.

O coeficiente de determinação encontrado foi de 0,6224, indicando que aproximadamente 62,24% das variações ocorridas na quantidade demandada de energia elétrica são explicadas pelo modelo ajustado. O teste F mostrou-se

altamente significativo, confirmando que as variáveis explicativas são conjuntamente significativas para explicarem o comportamento da quantidade demandada de energia elétrica. Pode-se ainda concluir pela ausência de autocorrelação no modelo estimado, ao nível de 1% de significância estatística.

A equação do modelo VEC, referente à variável LQI_t , pode ser escrita conforme equação (55).

$$\begin{aligned} \Delta LQI_t = & 0,0733 - 0,298742(LQI_{t-1} + 0,2502 LTI_{t-1} - 0,5398 LRI_{t-1} \\ & - 0,4507 LNI_{t-1} - 0,2822 LPS_{t-1} - 9,2013) - 0,1330 DI_t \end{aligned} \quad (55)$$

Uma vez que o modelo VAR utilizado para a análise de co-integração foi especificado com apenas uma defasagem de cada uma das variáveis, ou seja, por se tratar de um VAR (1), sua representação VEC fica determinada apenas com os termos de correção de erros e os termos determinísticos do modelo, como constante, tendência e ainda alguma variável do tipo *Dummy*. Assim, o comportamento de curto prazo da quantidade demandada de energia elétrica é influenciado apenas pela trajetória de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis, dada pela relação de co-integração expressa entre parênteses.

O coeficiente de ajustamento estimado indica qual a proporção do desequilíbrio de curto prazo da demanda de energia elétrica é corrigida no período seguinte. Especificamente, o valor de 0,298742 estabelece que aproximadamente 29,87% da discrepância entre o valor efetivo e o valor de longo prazo, ou de equilíbrio, são corrigidos a cada ano. Assim, a classe Industrial levaria entre três e quatro anos para ajustar a quantidade demandada dessa energia a eventuais choques nas tarifas e, ou, na renda dos consumidores. Esse longo período de tempo para eliminação dos choques ocorridos pode ser uma medida da rigidez existente nas estruturas produtivas da indústria mineira, indicando dificuldades para substituição da energia elétrica por outra fonte energética.

4.2.3. Estimativa da equação de Demanda para a classe Residencial

Assim como no caso da demanda das classes Comercial e Industrial, optou-se por apresentar apenas a equação referente à variável LQR_t . Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Estimativa do Modelo VEC referente à variável LQR_t .

Variável Explicativa	Coefficiente	Desvio Padrão
$?_{t-1}$	-0,3252 ***	0,0621
? LQR_{t-1}	-0,6507 ***	0,1350
? LTR_{t-1}	0,1247 ***	0,0475
? LRR_{t-1}	-0,2765 **	0,1197
? LMO_{t-1}	0,4011 *	0,2316
? LEL_{t-1}	0,0353 ^{NS}	0,0410
Constante	0,0457 ***	0,0141
DR	-0,1989 ****	0,0258

Testes e Qualidade do Ajuste			
$R^2 = 0,827311$	R^2 ajustado = 0,774754	Estatística F = 15,7411	
	Defasagem	Estatística do teste	p-valor
Autocorrelação (LM-teste)	1 ^a	40,98973	0,0230
	2 ^a	35,57791	0,0783
	3 ^a	37,09708	0,0565

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; $?_{t-1}$ é a relação de co-integração no período $t-1$, que é igual a $\mathbf{b}' X_{t-1}$, sendo \mathbf{b} o vetor de co-integração.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 27, conclui-se que, do total de oito parâmetros estimados, sete foram estatisticamente significativos. O coeficiente de determinação encontrado foi de 0,8273, indicando que aproximadamente 82,7% das variações ocorridas na quantidade demandada de energia elétrica são explicadas pelo modelo ajustado. O teste F mostrou-se

altamente significativo, confirmando que as variáveis explicativas são conjuntamente significativas para explicarem o comportamento da quantidade demandada de energia elétrica. Ao nível de significância estatística de 1%, rejeitou-se a presença de autocorrelação no modelo estimado.

A equação do modelo VEC, referente à variável LQR_t , pode ser escrita conforme equação (56).

$$\begin{aligned} \Delta LQR_t = & 0,045726 - 0,325165 (LQR_{t-1} + 1,0021LTR_{t-1} - 1,1550LRR_{t-1} \\ & - 0,9086LMO_t + 0,5332LEL_{t-1} - 2,1355) - 0,6508\Delta LQR_{t-1} \\ & + 0,1247\Delta LTR_{t-1} - 0,2765\Delta LRR_{t-1} + 0,4011\Delta LMO_t \\ & + 0,0353\Delta LEL_{t-1} - 0,1989DR_t \end{aligned} \quad (56)$$

De maneira similar ao resultado obtido para a classe Comercial, a dinâmica de curto prazo da quantidade demandada de energia elétrica pela classe Residencial é influenciada tanto pela trajetória de equilíbrio de longo prazo, dada pela relação de co-integração entre parênteses na equação (56), como pelo comportamento de curto prazo das variáveis explicativas.

O coeficiente de ajustamento estimado indica qual a proporção do desequilíbrio de curto prazo da demanda de energia elétrica é corrigida no período seguinte. Especificamente, o valor de 0,3252 estabelece que aproximadamente 32,52% da discrepância entre o valor efetivo e o valor de longo prazo, ou de equilíbrio, são corrigidos a cada ano. Portanto, a classe Residencial levaria entre três e quatro anos para ajustar a quantidade demandada dessa energia a eventuais choques nas tarifas e, ou, na renda dos consumidores.

4.3. Avaliação da capacidade preditiva dos modelos de demanda estimados

Neste trabalho, procurou-se projetar, para o período de 2004 a 2008, a quantidade de energia elétrica a ser consumida, em Minas Gerais, pelas classes Comercial, Industrial e Residencial. Para tanto, foram utilizados os modelos de

demanda apresentados na seção anterior, mais precisamente nas equações (54), (55) e (56).

Inicialmente, antes de serem efetuadas as projeções, procurou-se aferir a capacidade de previsão dos modelos anteriormente mencionados. Uma vez que nas estimativas realizadas foram utilizadas observações apenas até o ano de 2002, adotou-se o ano de 2003 como objeto de comparação entre os valores projetados e os efetivamente observados. A partir dessa comparação, foi determinado o erro de previsão de cada um dos modelos.

Contudo, apesar de devidamente incorporado nas estimativas realizadas neste estudo, o episódio do racionamento do consumo de energia elétrica, ocorrido entre os meses de junho de 2001 e fevereiro de 2002, traz implicações adicionais para as projeções. Recuperando-se o que já fora abordado nas seções 3.2 e 3.3, foram incluídas variáveis *Dummies* binárias, indicadas por *DC*, *DI* e *DR*, cujo propósito era de captar a possível mudança estrutural da demanda de energia elétrica nos anos de 2001 e 2002. Tais variáveis assumiram o valor 1 nesses anos e 0 (zero) nos demais.

Dessa forma, para se projetar a quantidade consumida de energia elétrica para o ano de 2003, foi necessário definir qual valor, 0 ou 1, deveria ser atribuído às variáveis *DC*, *DI* e *DR*. Fazendo-se a opção para que essas variáveis assumissem o valor 0, significaria ter considerado que o racionamento não exerceria influência alguma sobre o consumo de energia elétrica em 2003. Caso contrário, se atribuído o valor 1, ter-se-ia pressuposto que os consumidores ainda estariam vivenciando a ocorrência desse racionamento.

Considerando que as classes Comercial e Residencial se aproximam mais do primeiro caso, foi atribuído o valor 0 para as variáveis *DC* e *DR*.⁴⁶ Para a classe Industrial, a variável *DI* recebeu o valor 1, assumindo que o racionamento marcou o início de um novo padrão no consumo de energia elétrica pela classe Industrial.

⁴⁶ Ressalta-se a existência de uma forte correlação entre o consumo residencial e o comercial (ELETROBRAS, 2003b).

Após essas considerações, foram projetados os valores referentes ao consumo de energia elétrica para o ano de 2003. Esses valores são apresentados na Tabela 28 .

Tabela 28 – Consumo Total de energia elétrica pelas classes Comercial, Industrial e Residencial, em Minas Gerais, em 2003

Classes	Projetado* (GWh)	Observado ** (GWh)	Diferença (GWh)	Diferença (%)
Comercial	3.705,54	3.600,92	104,62	2,91
Industrial	23.489,32	23.647,71	-158,39	-0,67
Residencial	7.227,59	6.965,48	262,11	3,76

Fonte: * Resultados da pesquisa; ** CEMIG (2004b).

Conforme pode ser verificado na Tabela 28 , os valores projetados se aproximaram do total efetivamente consumido em cada uma das classes em 2003. Todavia, as pressuposições feitas, anteriormente, a fim de se obter tais estimativas, pareceram muito fortes, de maneira que ter considerado apenas as situações extremas, em que as variáveis *DC*, *DI* e *DR* assumiram o valor 0 ou 1, não pareceu ser o procedimento mais adequado e, certamente, influenciaram as conclusões referentes à capacidade preditiva dos modelos.

Fez-se necessário, portanto, considerar em que proporções as medidas adotadas durante o racionamento e que tiveram o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica naquele momento, ainda permaneceram em vigor em cada classe consumidora.

Os efeitos de tais medidas sobre o consumo dessa energia podem ser divididos em dois componentes principais. O primeiro, um componente de caráter transitório, observado apenas durante o racionamento, cujo principal determinante são as metas estipuladas para cada consumidor. O segundo, um efeito remanescente, observado a partir de 2003, cuja magnitude e duração

dependerão, sobretudo, das mudanças ocorridas nos hábitos de consumo, da substituição da energia elétrica por outra fonte de energia, da utilização de tecnologias mais eficientes no uso final dessa energia, do desenvolvimento de novas fontes energéticas, da opção pela autoprodução, etc.

Em relação à classe Industrial, constata-se a presença de um novo padrão no consumo de energia elétrica, em níveis inferiores ao anterior, cuja origem é a utilização crescente de tecnologias mais eficientes no uso final dessa energia (ANEEL, 2004). Mesmo antes do racionamento, o setor industrial brasileiro já apresentava sucessivos avanços na eficiência de seu consumo de energia elétrica, como resultado da modernização de seu parque fabril, da busca por maior competitividade e da abertura do mercado brasileiro aos produtos externos (ARAÚJO *et al.*, 2003).

Em estudo realizado pela CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI, 2001), foi verificado que as empresas que adotaram medidas para tornar mais eficiente o uso da energia, cerca de 50% das entrevistadas, conseguiram reduzir o seu consumo de energia elétrica em aproximadamente 12%. Segundo ARAÚJO *et al.* (2003), o aumento da eficiência do consumo de energia pela indústria mineira foi de 7,8%, o que equivaleu a uma redução de 12,2% no consumo de energia elétrica.

Contribui ainda para esse novo padrão, o aumento da geração própria de energia pelas indústrias durante o período de racionamento, como forma alternativa de manter o nível da produção. Após o período de racionamento, parte desta geração própria se manteve, paralelamente à saída de grandes consumidores industriais do cadastro de faturamento das concessionárias, como opção pela autoprodução (ELETROBRAS, 2003d).

Portanto, parece coerente considerar que o efeito remanescente do racionamento, na classe Industrial, deve ser equivalente ao efeito transitório, visto que não há motivos para que as empresas retornem às práticas menos eficientes no consumo de energia elétrica. Em termos de estimativas, essa consideração implica que a variável *DI* assumo o valor 1, tanto para o ano de 2003, quanto para os demais (2004/2008).

Em se tratando das classes Residencial e Comercial, mesmo com o fim do racionamento, não se observou recuperação do consumo médio por consumidor. Segundo ARAÚJO *et al.* (2003), a principal consequência do racionamento sobre o consumo de energia elétrica, em períodos posteriores, foi a mudança no hábito dos consumidores, que passaram a utilizar a energia elétrica de forma mais racional, em especial nas classes sociais com rendas menores. Deve-se ainda considerar a ocorrência de substituição de equipamentos, principalmente no item iluminação que, em média, respondia por 20% do consumo total dessas classes (ELETROBRAS, 2003c).

Nota-se, portanto, que ao atribuir o valor 0 para as variáveis *DC* e *DR*, considerou-se que o efeito remanescente seja nulo, o que não parece ser verdadeiro, de maneira que os valores projetados para essas classes estejam superestimados.

Um caminho alternativo para se incorporar os efeitos remanescentes seria realizar as projeções considerando-se as duas situações extremas, ou seja, determinar qual a quantidade consumida em cada classe quando a variável *Dummy* assumisse valor 0 e quando essa assumisse valor 1. A diferença entre os dois valores projetados representaria 100% do efeito total dessa variável no modelo. A partir desse valor, seria possível quantificar as situações intermediárias, ou seja, considerar que o efeito remanescente seja equivalente a uma parcela do efeito transitório, fazendo-se necessário definir apenas uma medida para essa parcela, que pode variar entre 0 e 100%.

Porém, é importante ressaltar que uma medida para essa parcela ainda não se encontra disponível na literatura referente a esse assunto. Em entrevista com um especialista⁴⁷ nessa área, constatou-se ser necessário algum tempo a mais para que o novo padrão de consumo, em especial nas classes Comercial e Residencial, possa ser captado.

Tomando-se como referência a consideração feita para obter as estimativas apresentadas na Tabela 28, ou seja, de que os efeitos remanescentes do racionamento, em 2003, estão mais próximos de 0 (*DC* e *DR* = 0), nas classes

⁴⁷ Membro da Gerência de Planejamento de Mercado – ED/PM da CEMIG.

Comercial e Residencial, enquanto o contrário ocorre na classe Industrial ($DI=1$), foram considerados três valores diferentes para essa parcela, estabelecendo-se uma diferença de 10 pontos percentuais entre essas. Dessa forma, pôde-se incorporar os efeitos remanescentes nas estimativas, que são apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 – Consumo Total de energia elétrica pelas classes Comercial, Industrial e Residencial, em Minas Gerais, em 2003

Classes de Consumo	Efeito Remanescente	Projetado* (GWh)	Observado** (GWh)	Diferença (GWh)	Diferença (%)
Comercial	10 %	3.658,00	3.600,92	57,08	1,59
	20 %	3.610,45	3.600,92	9,53	0,26
	30 %	3.562,91	3.600,92	-38,01	-1,06
Residencial	10 %	7.097,24	6.965,48	131,76	1,89
	20 %	6.966,89	6.965,48	1,41	0,02
	30 %	6.836,54	6.965,48	-128,94	-1,85
Industrial	90 %	23.823,55	23.647,71	175,84	0,74
	80 %	24.157,78	23.647,71	510,07	2,16
	70 %	24.492,00	23.647,71	844,29	3,57

Fonte: * Resultados da pesquisa; ** CEMIG (2004b).

No que se refere às classes Comercial e Residencial, nota-se que os valores projetados, levando-se em consideração a parcela de 20%, se aproximam muito dos valores efetivamente observados, indicando que, com base nos modelos estimados, essa parece ser uma boa medida para tais efeitos. Adicionalmente, os valores projetados com parcela de 10% se mostraram superiores aos valores observados, enquanto os projetados com parcela de 30% se mostraram inferiores.

Para a classe Industrial, com base no modelo estimado, poder-se-ia dizer que efetivamente os efeitos remanescentes se aproximam, ou até mesmo se

equivalem aos efeitos transitórios. Pode-se perceber que, à medida que se afasta da situação na qual a variável *DI* recebeu o valor 1, os valores projetados se distanciam do valor observado, tornando-se maiores os erros de previsão. Mais ainda, que um percentual entre 90% e 100% deve ser incorporado no modelo para que os erros de previsão se aproximem de zero.

4.4. Projeção do Consumo de Energia Elétrica em Minas Gerais, 2004 a 2008

A projeção do consumo de energia elétrica para os anos de 2004 a 2008 foi realizada a partir da construção de três diferentes cenários, A, B e C, nos quais foram considerados comportamentos distintos para as variáveis que influenciam a quantidade consumida dessa energia, bem como medidas alternativas para os efeitos remanescentes nas classes de consumo. O cenário C foi construído levando-se em consideração os valores mais prováveis para essas variáveis, e representa um cenário de referência. Permitindo que tais variáveis possam oscilar em torno dos valores estabelecidos no cenário de referência, foram construídos os cenários A e B. As projeções realizadas a partir do cenário A representam o “Mercado Alto”, enquanto que as realizadas a partir do cenário B representam o “Mercado Baixo”. Dessa forma, esperou-se que os valores projetados a partir dos cenários A e B correspondessem aos limites superior e inferior, respectivamente, do consumo de energia elétrica em Minas Gerais.

Para o cenário de referência, considerou-se que a taxa de crescimento real do PIB de cada classe de consumo deverá seguir as projeções realizadas pelo INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA, 2004a) para a economia brasileira. Uma vez que tais estimativas estão disponíveis apenas para os anos de 2004 e 2005, optou-se por utilizar os valores referentes a esse último ano também para o período de 2006 a 2008. Ressalta-se que, além de não haver estimativas específicas para Minas Gerais, as economias brasileira e mineira apresentam forte correlação positiva, mesmo que não absolutamente sincronizadas: aos avanços de uma, correspondem acréscimos da outra e vice-versa (FJP, 2004b).

Em 2004, o crescimento previsto do PIB é de 7,6%, para a classe Comercial, 5,9%, para a Industrial, e 4,6%, para a Residencial. Ao longo do período 2005/2008, essas taxas são de 4,1%, 4,8% e 3,8% a.a., respectivamente. Para os cenários A e B, foi adotada uma variação de +25% e -25%, respectivamente, em relação aos valores do cenário C.

O crescimento das tarifas reais de energia elétrica, no cenário C, deverá equivaler à taxa média de crescimento dessa variável observada a partir do racionamento do consumo, ou seja, à média de crescimento no período 2001/2004, o que corresponde às taxas de 4,8%, 3,1% e 3,7% a.a., nas classes Comercial, Industrial e Residencial, respectivamente. Para os cenários A e B, considerou-se uma variação de -25% e +25%, respectivamente, em relação a esses valores.

O aumento do número de consumidores em cada classe deverá corresponder à taxa média de crescimento dessa variável nos últimos cinco anos, para os três cenários. Essas taxas foram de 3,5%, 2,7% e 4,1% a.a., para as classes Comercial, Industrial e Residencial, respectivamente. Em relação ao crescimento populacional de Minas Gerais, foi considerado taxa de crescimento de 1,4% a.a., conforme FJP (2002b).

Em relação ao comportamento dos preços dos eletrodomésticos, do material elétrico e dos combustíveis e lubrificantes, essas três variáveis deverão apresentar taxa de crescimento real equivalente à média de suas respectivas taxas nos últimos cinco anos, ou seja, -6,2%, -7,3% e 15% a.a., respectivamente. Adicionalmente, adotou-se, para os cenários A e B, uma variação de $\pm 25\%$ em relação a esses valores.

Como medida dos efeitos remanescentes nas classes Comercial e Residencial, foram adotados percentuais de 10%, 20% e 30%, para os cenários A, C e B, respectivamente. Para a classe Industrial, 80%, 90% e 100%, para os cenários A, C e B, respectivamente.

Considerou-se ainda que os efeitos remanescentes do racionamento, nas classes Comercial e Residencial, serão completamente extintos somente ao final de 2009, conforme as projeções da ELETROBRAS (2003b). Adicionalmente, que

tais efeitos serão linearmente decrescentes. Para a classe Industrial, foi considerado que os percentuais anteriormente mencionados serão mantidos constantes ao longo de todo o período 2004/2008.

Após construção desses cenários, foram então realizadas as projeções para o consumo total de energia elétrica, a partir dos modelos de demanda apresentados anteriormente, especificamente nas equações (54), (55) e (56). A Tabela 30 apresenta os valores projetados para a classe Comercial, enquanto a Tabela 31 e a Tabela 32, os valores referentes às classes Industrial e Residencial.

Tabela 30 – Projeções para o Consumo Total de energia elétrica pela classe Comercial, em Minas Gerais, no período 2004/2008

Período	Cenário B		Cenário C		Cenário A	
	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %
2004	3.760,34	4,43	3.801,86	5,58	3.843,43	6,73
2005	3.954,70	5,17	3.997,24	5,14	4.039,83	5,11
2006	4.172,78	5,51	4.235,86	5,97	4.299,86	6,44
2007	4.388,69	5,17	4.486,57	5,92	4.587,08	6,68
2008	4.613,83	5,13	4.764,66	6,20	4.921,22	7,28
2004-2008	-	22,70	-	25,32	-	28,04
Taxa média (% a.a.)	-	5,25	-	5,81	-	6,37

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 31 – Projeções para o Consumo Total de energia elétrica pela classe Industrial, em Minas Gerais, no período 2004/2008

Período	Cenário B		Cenário C		Cenário A	
	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %
2004	23.733,28	0,36	24.070,98	1,79	24.408,68	3,22
2005	24.224,06	2,07	24.939,18	3,61	25.665,57	5,15
2006	24.957,04	3,03	26.100,02	4,65	27.280,41	6,29
2007	25.881,19	3,70	27.508,33	5,40	29.217,43	7,10
2008	26.963,15	4,18	29.136,45	5,92	31.458,74	7,67
2004-2008	-	13,61	-	21,04	-	28,88
Taxa média (% a.a.)	-	3,24	-	4,89	-	6,55

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 32 – Projeções para o Consumo Total de energia elétrica pela classe Residencial, em Minas Gerais, no período 2004/2008

Período	Cenário B		Cenário C		Cenário A	
	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %
2004	7.043,08	1,11	7.153,89	2,70	7.264,83	4,3
2005	7.217,10	2,47	7.328,58	2,44	7.448,11	2,52
2006	7.338,20	1,68	7.487,40	2,17	7.656,09	2,79
2007	7.474,57	1,86	7.683,55	2,62	7.931,08	3,59
2008	7.574,81	1,34	7.871,69	2,45	8.231,92	3,79
2004/08	-	7,55	-	10,03	-	13,31
Taxa média (% a.a.)	-	1,84	-	2,42	-	3,17

Fonte: Resultados da pesquisa.

A partir desses resultados, pode-se verificar que, em 2008, baseando-se nos valores projetados no cenário de referência, o consumo total de energia elétrica, pelas classes Comercial e Industrial, estará cerca de 20% acima dos níveis observados em 2004, podendo aproximar dos 30%, caso sejam consideradas as projeções referentes ao mercado alto.

Como podem ser observadas, as taxas de crescimento do consumo de energia elétrica apresentaram-se maiores na classe Comercial que na Residencial. Esse fato está de acordo com as projeções da ELETROBRAS (2002b), nas quais admite-se a manutenção de uma dinâmica de crescimento maior na classe Comercial que na Residencial, como vem sendo verificado nos últimos anos.

O baixo crescimento do consumo total de energia elétrica pela classe Residencial pode ser explicado a partir da análise do comportamento da renda e das tarifas nessa classe. De acordo com os três cenários construídos (A, B e C), essas variáveis caminharão muito próximas, de maneira que o efeito positivo da renda sobre o consumo de energia elétrica deve ser quase que totalmente compensado pelo efeito negativo das tarifas.

A partir de uma comparação com as taxas de crescimento apresentadas na Tabela 9, é possível certificar-se de que a dinâmica do consumo residencial será significativamente inferior à observada no período 1970/2002. Entretanto, ressalta-se que, ao longo desse período, as tarifas reais de energia elétrica da classe Residencial decresceram em média, 3,3% a.a., enquanto que para o período de projeção (2004/2008), estas deverão apresentar crescimento médio de 3,7% a.a., de acordo com o cenário de referência.

Constata-se também que os valores referentes ao consumo médio de energia pelas classes Comercial e Residencial, obtidos a partir das projeções apresentadas na Tabela 30 e na Tabela 32 respectivamente, estão em níveis inferiores aos observados antes do racionamento, conforme previsto pela ELETROBRAS (2003b).

A partir dos valores projetados para as três principais classes de consumo, foi possível apresentar uma estimativa para o consumo total de energia elétrica, no Estado de Minas Gerais, para o mesmo período anteriormente

analisado. Para tanto, foi considerado que a participação relativa das demais classes de consumo (Rural e Outras) que, em 2003, foi de 13,8% do consumo total do Estado, seja mantida constante ao longo do horizonte de projeção. Os valores projetados são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Projeções para o Consumo Total de energia elétrica, no Estado de Minas Gerais, no período 2004/2008

Período	Cenário B		Cenário C		Cenário A	
	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %	Consumo (GWh)	? %
2004	40.065,78	0,94	40.634,26	2,38	41.202,95	3,81
2005	41.062,48	2,49	42.070,77	3,54	43.101,52	4,61
2006	42.306,29	3,03	43.878,52	4,30	45.517,82	5,61
2007	43.787,07	3,50	46.030,68	4,90	48.417,16	6,37
2008	45.419,71	3,73	48.460,33	5,28	51.753,92	6,89
2004/08	-	13,36	-	19,26	-	25,61
Taxa média (% a.a.)	-	3,19	-	4,50	-	5,87

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados apresentados na Tabela 33 indicam que, em 2008, com base no cenário de referência, o consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais, deve ultrapassar os 48.000 GWh, o que corresponderia a um acréscimo de mais de 8.000 GWh em relação aos níveis observados em 2003.

Pode-se ainda concluir que, ao final de 2008, a classe Industrial terá sido a única a elevar sua participação no consumo total do Estado, participação essa que ultrapassará os 60%, se considerado o cenário de referência. A participação da classe Residencial terá sido reduzida, ficando pouco acima dos 16%, enquanto que a da classe Comercial terá permanecido praticamente nos mesmos níveis observados em 2003.

Ressalta-se que as taxas médias de crescimento apresentadas nos cenários B, C e A, ou seja, 3,2%, 4,5% e 5,9%, respectivamente, são pouco inferiores ao crescimento previsto para o consumo total dessa energia no Sistema Elétrico Sudeste/Centro-Oeste. De acordo com as projeções da ELETROBRAS (2003b), o consumo nesse Sistema deve crescer à taxa média de 3,6%, 5,6% e 6,5%, nos cenários baixo, de referência e alto, respectivamente.

4.5. Análise da relação capacidade de produção/demanda de energia elétrica em Minas Gerais

A partir das projeções realizadas para o consumo total de energia elétrica, em Minas Gerais, fez-se também inferência sobre a evolução da relação capacidade de produção/demanda de energia elétrica, ao longo do período 2004/2008, com vistas a detectar um eventual déficit, o que poderia indicar a necessidade de ocorrência de novo racionamento do consumo dessa energia.

A quantidade máxima de energia elétrica que pode ser fornecida aos consumidores, ou seja, a capacidade máxima de produção, é medida em termos de capacidade instalada, visto que esta energia não pode ser estocada. Deve-se ainda, do total de energia gerada descontar a parcela referente às perdas elétricas que ocorrem ao longo de todo o Sistema de Transmissão e Distribuição da energia, perdas essas que serão maiores quanto maior for a distância entre o agente gerador e o consumidor final⁴⁸.

Pressupondo-se constante o percentual referente às perdas elétricas, pôde-se utilizar a evolução da capacidade instalada de geração como *proxy* para o acréscimo da capacidade de produção. Foi ainda necessário considerar que o Sistema de Transmissão não se constituirá num limitador ao atendimento do mercado consumidor, de maneira que toda energia gerada poderá ser transmitida.

Embora os dados referentes à evolução da capacidade instalada em Minas Gerais sejam informações de caráter sigiloso e, portanto, não disponíveis,

⁴⁸ Apenas como referência, em 2001, no sistema elétrico da CEMIG, as perdas elétricas foram de 7,6% (CEMIG, 2001).

optou-se por utilizar as projeções para a expansão da capacidade instalada do sistema elétrico brasileiro, especificamente as apresentadas em ELETROBRAS (2002b), como uma aproximação para o caso mineiro.

Para o mercado nacional, a capacidade instalada de geração de energia elétrica deverá ser elevada à taxa média de 2,0%, 3,8% e 4,8% a.a., de acordo com os cenários baixo, de referência e alto, respectivamente (ELETROBRAS, 2002b).

De acordo com as projeções apresentadas na Tabela 33, o menor crescimento previsto para o consumo de energia elétrica seria de 3,2% a.a., o que, se efetivado, garantiria aumento da capacidade de produção acima do crescimento da quantidade consumida em Minas Gerais. Entretanto, considerando-se as projeções referentes aos cenários de referência e alto da Tabela 33, a situação se inverteria, com a quantidade consumida apresentando crescimento superior ao da quantidade produzida. Se considerado constante o atual nível de importação de energia elétrica de outros estados, a menos que exista uma folga entre a atual capacidade instalada e o consumo dessa energia, ou seja, um excedente de produção, o resultado seria a ocorrência de interrupções no fornecimento às classes consumidoras ou, até mesmo, novo racionamento do consumo.

Três fatos importantes parecem indicar que esse excedente, caso exista, não é significativo: o primeiro, a necessidade do racionamento nos anos de 2001 e 2002; o segundo, nesses anos, pela primeira vez, o Estado registrou importações líquidas (Importações – Exportações) de energia elétrica, sendo estas cerca de 18% do total consumido; e, finalmente, no período 1992/2003, a taxa média de crescimento da capacidade instalada do Sistema Elétrico da CEMIG foi de 2,35% a.a.⁴⁹, enquanto o consumo total do Estado evoluiu à taxa de 2,08% a.a., indicando que a capacidade instalada apresentou crescimento pouco superior ao da quantidade consumida.

Portanto, se o crescimento da capacidade instalada for mantido nos patamares de 2,35% a.a., em qualquer uma das situações apresentadas na Tabela

⁴⁹ Taxa média de crescimento calculada a partir dos valores apresentados em CEMIG (2004c).

33, são consideráveis as possibilidades de ocorrência de um excesso de demanda de energia elétrica até o ano de 2008. Na situação mais crítica, ou seja, de acordo com o cenário alto, a demanda crescerá 3,5% a.a. acima do aumento da capacidade de produção.

Uma preocupação adicional em relação à capacidade de produção de energia elétrica é que esta deve ser dimensionada para atender à demanda de energia nos horários de ponta, ou seja, no momento em que o sistema encontra-se mais utilizado. Assim, é possível que ocorra um déficit nesse momento, mesmo que, na maior parte do dia, possa ser observada capacidade ociosa no sistema elétrico.

Para que esse problema possa ser minimizado, uma possível solução seria distribuir de forma mais uniforme o consumo de energia elétrica ao longo do dia. Poderia se imaginar parte do consumo da classe Residencial sendo deslocada para os horários fora de ponta. Isso seria possível através de um sistema tarifário no qual fossem estabelecidas tarifas diferenciadas por horário de consumo, sendo estas maiores no horário de ponta e menores nos demais horários.

A estimativa do coeficiente da elasticidade-preço da demanda da classe Residencial, obtida na seção 4.2.3, mostra que os consumidores dessa classe apresentam certa sensibilidade às tarifas, uma vez que a demanda possui elasticidade unitária. Assim, seriam grandes as possibilidades de uma parcela do consumo Residencial ser deslocada para o horário em que as tarifas fossem menores, permitindo melhor utilização da capacidade instalada que, atualmente, se encontra ociosa, e abrindo espaço, no horário de ponta, para a entrada de novos consumidores, principalmente consumidores industriais. Ou seja, com a mesma capacidade instalada, seria possível aumentar a quantidade produzida de energia elétrica.

Entretanto, deve ser ressaltado que o atual processo de medição do consumo de energia elétrica é realizado através de Medidores Eletromecânicos que não são capazes de identificar o horário em que o consumo da energia é efetivado. Portanto, seria necessária, para a implantação do sistema tarifário

anteriormente mencionado, a substituição dos medidores atualmente existentes. Adicionalmente, a menos que 100% dos consumidores fossem atendidos pelo novo sistema tarifário, o que levaria algum tempo para ocorrer, seria necessário identificar qual o ônus para os consumidores não atendidos, uma vez que estes permaneceriam pagando tarifa única, mesmo consumindo a energia nos horários em que estas fossem menores.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O Setor Elétrico brasileiro tem passado por uma série de transformações nas suas condições de funcionamento, iniciadas principalmente a partir do processo de privatização das empresas distribuidoras de energia elétrica em 1995. Tais mudanças visaram atrair a iniciativa privada para os planos de investimentos, com vistas a garantir os recursos financeiros necessários à expansão desse setor.

Apesar dos esforços governamentais estarem direcionados à modicidade tarifária, as evidências indicam que a expansão do setor ocorre a custos marginais crescentes, uma vez que os potenciais hidrelétricos, ainda a serem explorados, se situam distantes do mercado consumidor. Adicionalmente, deve-se considerar que o custo da energia gerada em usinas termoeletricas, que é utilizada para suprir parcela cada vez maior do mercado, é significativamente superior ao custo da energia de origem hidráulica. Considera-se ainda que, com o processo de privatização das distribuidoras de energia, as tarifas não mais são utilizadas pelo governo com o objetivo de conter a inflação. Sendo assim, os patamares para os quais as tarifas de energia elétrica convergirão ainda não são uma certeza para os agentes do setor.

Além do comportamento das tarifas, outro fator terá grande influência sobre o mercado consumidor. Após apresentar crescimento pouco significativo

nas décadas de 80 e 90, a economia brasileira dá sinais de que pode se desenvolver a taxas superiores às observadas nessas duas décadas. O início de um novo governo, em 2003, e alguns indicadores macroeconômicos fazem com que cresçam as expectativas por um novo ciclo de desenvolvimento no Brasil.

Dado o exposto, este trabalho procurou antecipar os possíveis efeitos do comportamento das tarifas e da renda sobre a dinâmica do consumo de energia elétrica. Adotou-se como objeto de estudo o Estado de Minas Gerais, em função da sua expressiva participação no consumo total de energia elétrica, tanto na Região Sudeste, quanto no Brasil como um todo. Especificamente, foi feita uma análise da demanda de energia elétrica das classes Comercial, Industrial e Residencial, visto que essas classes representam cerca de 87,5% do consumo total de energia elétrica no Estado.

Após identificar que as séries temporais das variáveis estudadas são não-estacionárias, optou-se pela utilização do conceito de Co-Integração. Para tanto, foram adotados os procedimentos e testes desenvolvidos por JOHANSEN (1988) e ainda JOHANSEN e JUSELIUS (1990), a fim de estabelecer as relações de co-integração entre as variáveis, ou seja, a relação de equilíbrio de longo prazo entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes. Em seguida, foram estimados os Modelos de Correção de Erros Vetoriais (VECM) que foram usados para projetar o consumo de energia elétrica para o período 2004/2008.

De forma geral, os resultados das estimativas foram bons, sendo a maior parte dos parâmetros estimados estatisticamente significativos, além de todos os seus sinais serem coerentes com a teoria econômica.

Para avaliação da capacidade preditiva dos modelos estimados, foi utilizado o ano de 2003 como comparação entre os valores projetados e os efetivamente observados. Constatou-se que a diferença entre tais valores era pouco significativa, sendo os erros de previsão inferiores a 4%. Esse percentual tornou-se ainda menor ao se incorporar estimativas para o efeito remanescente do racionamento sobre os valores projetados. Concluiu-se, portanto, que os modelos estimados são bons previsores para o consumo futuro de energia elétrica.

A partir da construção de três diferentes cenários para as variáveis que influenciam a demanda de energia elétrica, e dos modelos estimados, projetou-se, para o período 2004/2008, o consumo de energia elétrica para as três classes de consumo, bem como para o Estado como um todo.

As projeções indicam que, se considerado constante o atual nível de importação de energia elétrica e o crescimento da capacidade de produção dessa energia for equivalente à taxa média de expansão da capacidade instalada do sistema elétrico da CEMIG nos últimos onze anos, a menos que já exista um excedente de capacidade instalada, o que não parece acontecer, são significativas as possibilidades de cortes freqüentes no fornecimento de energia elétrica ou, até mesmo, ocorrência de novo racionamento. Entretanto, deve-se ressaltar que as projeções foram realizadas sob uma ótica otimista para o crescimento da economia o que, caso não ocorra, contribuirá para reduzir tais possibilidades.

Nessas condições, torna-se evidente a necessidade da realização dos investimentos no setor elétrico, especialmente no Estado de Minas Gerais, garantindo a expansão da capacidade de produção de energia elétrica, de forma a atender ao crescimento do consumo dessa energia, em especial na classe Industrial do Estado.

A utilização de observações anuais referentes a três décadas (1970/80 e 90), apesar de necessário sob a ótica econométrica, provavelmente não seja o procedimento mais adequado para estudos dessa natureza, uma vez que o padrão de consumo de energia elétrica vem se alterando ao longo desses trinta e dois anos. Entretanto, a utilização apenas de dados mais recentes implicaria no uso de séries mensais ou trimestrais das variáveis estudadas que não são disponíveis.

Acredita-se também que, ao se agregar os consumidores em classes de consumo, pode-se ter perdido informações referentes ao comportamento individual de cada consumidor, principalmente no caso da classe Industrial, onde há grande discrepância entre os diversos integrantes dessa classe. Provavelmente, uma empresa de pequeno porte possui hábitos de consumo diferenciados em relação a um grande consumidor. É possível, portanto, que uma análise na qual os integrantes dessa classe sejam segmentados por nível de consumo possa gerar

resultados diferentes e, de algum modo, mais satisfatórios que os apresentados neste trabalho.

O fato das elasticidades-preço da demanda terem se mostrado, de alguma maneira, diferentes das estimadas para o mercado nacional em outros estudos, sugere que um eventual racionamento do consumo de energia elétrica, via preços, deverá levar em consideração tais diferenças, estabelecendo políticas tarifárias diferenciadas entre os estados brasileiros, caso sejam confirmadas diferenças significativas entre as elasticidades-preço da demanda entre os diversos estados.

Para trabalhos futuros, sugere-se um estudo detalhado no qual seja avaliada a viabilidade de implantação de um sistema tarifário que estabeleça tarifas de energia elétrica proporcionais ao custo de produção dessa energia. Ou seja, tarifas maiores para a energia consumida no horário de ponta e menores para a energia consumida no horário fora de ponta.

Para trabalhos futuros que venham a estudar a demanda de energia das classes Comercial e Industrial, fica a sugestão de que sejam testadas outras variáveis como substitutos da energia elétrica, por exemplo, o GLP e o gás natural, bem como uma forma alternativa para se considerar o estoque dos equipamentos elétricos utilizados pela classe Comercial.

Este trabalho não teve o propósito de estabelecer relações definitivas entre a demanda de energia elétrica e seus determinantes, mas acredita-se que os resultados obtidos são informações de grande importância para a tomada de decisões referentes à condução do setor elétrico mineiro. Espera-se também que este trabalho abra espaços para discussões e, até mesmo, novos estudos que venham a trazer contribuições adicionais para os agentes do setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T.A, LOBÃO, W.J.A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para discussão, n. 489).

ANEEL. **Informações do Setor Elétrico**. 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 02 mar. 2004.

_____. **Tarifa média de fornecimento por classe de consumo**. Brasília, 199X. (Disponibilidade interna).

ARAÚJO, A.L.G.; et alli. **Impactos do Racionamento no mercado de energia e no sistema elétrico CEMIG**. Trabalho apresentado no XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, Grupo XIV - Conservação de energia elétrica. Uberlândia, out. 2003. Disponível em: <<http://www.xviisnptte.com.br>>. Acesso em: 17 out. 2004.

ARAÚJO, J.L. A questão do investimento no setor elétrico brasileiro: reforma e crise. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 77-96, jul. 2001.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Seção Balanço de Pagamentos. **Taxas de câmbio do real**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2005.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS (BDMG). **Economia Mineira** - 1989. Diagnóstico e perspectivas. Belo Horizonte, v. 2. p.117-393, jun. 1989.

BERNDT, E.R. **The demand for electricity**: structural and time series approaches. In: _____. The practice of Econometrics: classic and contemporary. [S.I.] Addison-Wesley Publishing Company, 1991. cap. 7, p. 306-337, 702 p.

BINGER, B.R.; HOFFMAN, E. **Microeconomics with calculus**. 2nd ed. New York: Addison-Wesley Educational Publishers Inc., 1998. 632 p.

BJORNER, T.B., TOGEBY, M., JENSEN, H.H. Industrial companies' demand for electricity: evidence from a micropanel. **Energy Economics**, v. 23, p. 595-617, 2001. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/eneco>>. Acesso em: 02 dez. 2003.

BRAGA, J.M. **A modelagem da Demanda Residencial de Energia Elétrica**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

BRANCO, E.C. A reestruturação e a modernização do setor elétrico brasileiro. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p. 105-141, 1996.

CHIANG, A.C. **Matemática para economistas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 684 p.

COELHO, A.B. **A cultura do algodão e a questão da integração entre preços internos e externos**. 2002. 136 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **18º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG**. Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <<http://www.cemig.gov.br>>. Acesso em: 22 jun. 2004.

_____. **Relatório Anual**. Destaques. Perdas Elétricas. Belo Horizonte, 2001. 1 CD-ROM.

_____. **Tarifa média anual por classe de consumo**. Belo Horizonte, 2004a. (Disponibilidade interna).

_____. **Consumo total de energia elétrica em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2004b. (Disponibilidade interna).

_____. CEMIG em números. **Evolução da capacidade instalada**. Belo Horizonte, 2004c. Disponível em: <<http://www.cemig.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2004.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Efeitos do racionamento de energia elétrica na Indústria**. Unidade de Política Econômica. Rio de Janeiro, jul. 2001. Disponível em: <<http://www.cni.org.br/produtos/infra>>. Acesso em: 10 out. 2004.

DEBERTIN, D.L. **Agricultural-Production-Economics**. New York: MacMillian, Publishing Company, 1986. 366 p.

DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. Distribution of the estimator for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, n. 74, p. 427- 431, 1979.

DINIZ, C.C. Minas Gerais: Perspectivas econômicas e desafios sociais. **Boletim Conjuntura Econômica de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, v. 1, n. 1, p. 1-134, abr./jun. 1996.

DINIZ, C.C. **Economia e Planejamento em Minas Gerais**: notas para discussão. Belo Horizonte: UFMG/FACE/Cedeplar, v. 3, p. 115-144, 2002.

ELETROBRAS. Departamento de Estudos Energéticos e Mercado (DEM). **Boletim Anual**. Sistema de Informações Estatísticas do Setor de Energia Elétrica (SIESE), 2002a. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br>>. Acesso em: 03 mar. 2004.

_____. Departamento de Estudos Energéticos e Mercado (DEM). **Plano Decenal de Expansão 2003/2012**. Sumário Executivo. dez. 2002b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 31 jan. 2004.

_____. Departamento de Estudos Energéticos e Mercado (DEM). Relatório Analítico. **Ciclo de Planejamento 2001**. jan. 2003a. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br>>. Acesso em: 03 mar. 2004.

_____. Departamento de Estudos Energéticos e Mercado (DEM). **Plano Decenal de Expansão 2003/2012**. jan. 2003b. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br>>. Acesso em: 30 jan. 2004.

_____. Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE). **Informe de Mercado 19**. Rio de Janeiro, 13 jan. 2003c. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br>>. Acesso em: 25 mai. 2004.

_____. Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE). **Informe de Mercado 23**. Rio de Janeiro, mar. 2003d. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br>>. Acesso em: 05 out. 2004.

ELETROBRAS. Estudo de mercado. **Boletim Siese**: consumo de energia elétrica no Brasil, 2004. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2004.

ENERGIABRASIL. **O Setor Elétrico**. Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), 2002. Disponível em: <<http://www.energiabrasil.gov.br>>. Acesso em: 16 fev. 2004.

ENDERS, W. **Applied Econometric Time Series**. Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 433 p.

ENGLE, R. F; GRANGER, C. W. Co-integration and Error-correction: Representation, Estimation and Testing . **Econometrica**, v. 55, p. 251-76, 1987.

FIGUEIREDO, A.T.L.; DINIZ, C.C. Distribuição Regional da Indústria Mineira. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 10, n. 2, dez. 2000.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. Índice de Preços por Atacado – Oferta Global (IPA-OG) - Combustíveis e lubrificantes. **Conjuntura Econômica**, 2004a. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 12 mai. 2004.

_____. Índice de Preços por Atacado – Oferta Global (IPA-OG) – Eletrodoméstico. **Conjuntura Econômica**, 2004b. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 12 mai. 2004.

_____. Índice de Preços por Atacado – Oferta Global (IPA-OG) - Material Elétrico. **Conjuntura Econômica**, 2004c. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 12 mai. 2004.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Anuário Estatístico de Minas Gerais – 1990/1993**. Belo Horizonte, v. 8, p. 1-760, dez. 1994.

_____. **Anuário Estatístico de Minas Gerais – 2000/2001**. Belo Horizonte, v. 9, p. 1-582, 2002a.

_____. **Minas Gerais e suas Regiões de Planejamento**: crescimento populacional e distribuição espacial. Belo Horizonte, dez. 2002b. Disponível em: <http://www.fjp.gov.br/produtos/cei/informativo_crescimento.pdf>. Acesso em: 06 out. 2004.

_____. **Consumo de Energia elétrica por classe de consumidores em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2004a. (Disponibilidade interna).

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Produto Interno Bruto de Minas Gerais** – 2003. Informativo CEI. Belo Horizonte, jun. 2004b.

Disponível em: <http://www.fjp.gov.br/produtos/cei/informativo_pib_2003.pdf>. Acesso em: 06 out. 2004.

GIAMBIAGI, F. **Restrições ao crescimento da Economia brasileira: uma visão de longo prazo**. Rio de Janeiro: BNDES, mai. 2002. (Texto para Discussão 94).

GOMES et al. **O Setor Elétrico**. BNDES, 2002. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 12 fev. 2004.

GOMES, M.F.M. **Demanda rural de energia do Estado do Espírito Santo**. 1981. 61 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1981.

GRANGER, C.W.J.; NEWBOLD, P. Spurious Regression in Econometrics. **Journal of Econometrics**, v. 2, p. 111-120, 1974.

GUJARATI, D.N. **Econometria Básica**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 2000. 846p.

HADDAD, E.A. A estrutura econômica de Minas Gerais: uma análise de insumo-produto. **Nova Economia**, Número Especial, p. 10-24, 1995.

HILL, R.C.; GRIFFITHS, W.E.; JUDGE, G.G. **Econometria**. São Paulo: Saraiva, 1999. 406 p.

HOLTEDAHL, P., JOUTZ, F.L. Residential electricity demand in Taiwan. **Energy Economics**, v. 26, n. 2, p. 201-224, mar. 2004.

IPEA. **Indicadores Sociais: Índice de Gini**. 2002. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2004.

_____. Indicadores e Projeções IPEA. Previsões. **Boletim de Conjuntura**. n. 66, set. 2004a. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 06 out. 2004.

_____. **Produto Interno Bruto**. Abr. 2004b. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 26 nov. 2004.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegrating vectors. **Journal of Economics Dynamics and Control**, v. 12, p. 231-254, 1988.

JOHANSEN, S.; JUSELIUS, K. Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Application to the Demand for Money. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 52, p. 169-209, 1990.

KAMERSCHEN, D.R., PORTER, D.V. The demand for residential, industrial and total electricity, 1973 – 1998. **Energy Economics**, v. 26, p. 87-100, 2004.

LEÃO, G.V. Análise comparativa do desempenho econômico da indústria brasileira e mineira em 1995. **Boletim Conjuntura Econômica de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, v. 1, n. 2, p. 21-23, jul./set. 1996.

LIMA, E.C.R. **A interdependência entre os mercados de frangos e bovinos: uma aplicação da metodologia VAR-Estrutural**. Rio de Janeiro: IPEA, jul. 1997. (Texto para discussão, n. 501).

MADDALA, G.S.; KIM, I.M. **Unit Roots and Structural change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 505 p.

MAIA, S. F. **Modelos de Vetores Auto-Regressivos: uma nota introdutória**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Economia, 2001. (Texto para discussão, n. 60).

MINAS GERAIS. **Comportamento da economia mineira: 1960-1977**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN/SEI, 1978, n. 8, 110 p.

_____. Conselho Estadual de Energia. **Energia e Economia em Minas Gerais-1978/1982**. Belo Horizonte: CEMIG, dez. 1984. 90 p.

_____. **Anuário Estatístico de Minas Gerais 1988-1989**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN. Superintendência Central de Estatística e Informação, v. 7, p. 1-896, nov. 1990.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Setor Energético: Destaques e Oportunidades de Negócios**. Rio de Janeiro, jul. 2000.

_____. **Proposta de Modelo Institucional do Setor Elétrico**. jul. 2003a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 14 out. 2003.

_____. **Modelo Institucional do Setor Elétrico**. Brasília, dez. 2003b, 60 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 22: dez. 2003.

_____. **O Novo Modelo do Setor Elétrico**. Brasília, 2003c, 6 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 22 dez. 2003

MODIANO, E.M. **Elasticidade-renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento de Economia - PUC/RJ, 1984. (Texto para discussão, n. 68).

MOREIRA, A.R.B.; FIORÊNCIO, A.; LOPES, H.F. **Um modelo de previsão do PIB, Inflação e Meios de Pagamento**. Rio de Janeiro: IPEA, nov. 1996. (Texto para discussão, n. 446).

MORITZ, R. **Metodologia de cálculo e análise de revisão extraordinária das tarifas de energia elétrica: um enfoque no equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão das distribuidoras**. 2001. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NARAYAN, P.K.; SMYTH, R. The residential demand for electricity in Australia: an application of the bounds testing approach to cointegration. **Energy Policy**, p. 1-8, 2003.

PESARAN, M.H.; SMITH, R.P. Structural Analysis of Cointegrating VARs. In: OXLEY, L.; McALEER, M. **Practical Issues in Cointegration Analysis**. Oxford: MPG Books Ltd, 1999. cap. 3, p. 55-89, 274 p.

PIRES, J.C.L. O Processo de Reformas do Setor Elétrico Brasileiro. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 12, p. 137-168, dez. 1999.

PIRES, J.C.L.; GIAMBIAGI, F.; SALES, A.F. As Perspectivas do Setor Elétrico após o Racionamento. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 18, p. 163-204, dez. 2002.

PIRES, J.C.L.; GOSTKORZEWICZ, J.; GIAMBIAGI, F. **O cenário macroeconômico e as condições de oferta de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES, mar. 2001. (Texto para Discussão 85).

SARGAN, J.D. Wages and prices in the United Kingdom: a study in econometric methodology. **Quantitative Economics and Econometric Analysis**. Oxford, 1984.

SCHMIDT, C.A.J., LIMA, M.A. A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 58, p. 67-98, jan./mar. 2004.

SECRETARIA DE POLÍTICA ECONÔMICA. **Efeitos do racionamento de Energia Elétrica sobre a Oferta Agregada**. Jun. 2001. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br>>. Acesso em: 16 fev. 2004.

SILK, J.I., JOUTZ, F.L. Short and Long-run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach. **Energy Economics**, v. 19, p. 493-513, 1997.

SILVA, S.M. **Análise Econométrica da Demanda de Energia Elétrica nos Setores Residencial-Urbano e Rural do Brasil, 1970/1999**. 2001. 63 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SIMS, C. Macroeconomics and Reality. **Econometrica**, v. 48, n. 1, p. 1-49, jan. 1980.

TAYLOR, L.D. The demand for electricity: a survey. **Journal of Economics**, Arizona, v. 6, p. 74-110, 1975.

TORRES, M.E.L.; ALMEIDA, P.E.F. **Energia**. In: BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS (BDMG). Minas Gerais do Século XXI. Infra-estrutura: sustentando o desenvolvimento. Belo Horizonte: Rona Editora, 2002. v. 3, cap. 2, p. 149-177.

TOYOSHIMA, S.H.; SILVA, M.P. Competitividade e Produtividade: uma análise comparativa do desempenho industrial de Minas Gerais, 1985-1996. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 79-101, 2000.

VARIAN, H.R. **Microeconomia: Princípios Básicos**. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 778 p.

VARIAN, H.R. **Microeconomic analysis**. 3ª ed. New York: Norton & Company, Inc., 1992. 506 p.

VERBEEK, M. **A Guide to Modern Econometrics**. Nova York: John Wiley & Sons, Ltd, 2000. 386 p.