

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	3
LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE GRÁFICOS	7
LISTA DE FIGURAS	9
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Estudos anteriores sobre previsão da demanda energética	13
1.2 Objetivo.....	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Organização do trabalho	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Breve histórico do setor de energia elétrica brasileiro	21
2.2 Panorama do setor energético brasileiro	28
2.3 Evolução do consumo energético brasileiro	35
2.4 Estudos sobre demanda de energia elétrica.....	39
2.4.1 Estudos com modelos causais.....	40
2.4.2 Estudos com modelos de séries temporais e com variáveis exógenas.....	44
2.4.3 Fatores determinantes da demanda de energia elétrica.....	47
2.4.3.1 Preço da energia elétrica	49
2.4.3.2 Renda dos consumidores	50
2.4.3.3 Preços de bens substitutos.....	51
2.4.3.4 Estoque de bens complementares	52
2.4.3.5 Condições climáticas	53
2.4.3.6 Número de consumidores	54
2.4.4 Sazonalidade no consumo energético	55
3 MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS	57
3.1 Séries temporais	57
3.2 Processos estocásticos.....	57
3.3 Processos estacionários	58
3.4 Funções de autocorrelação e autocorrelação parcial.....	60
3.5 Testes da raiz unitária	62
3.5.1 Testes de Dickey-Fuller e de Dickey-Fuller aumentado.....	64
3.6 Previsão com séries temporais	65
3.7 Metodologia de Box & Jenkins.....	67
3.7.1 Modelos autoregressivos (AR)	73
3.7.2 Modelos de médias móveis (MA).....	74
3.7.3 Modelos autoregressivos integrados de médias móveis (ARIMA)	74
3.7.4 Modelos sazonais autoregressivos integrados de médias móveis (SARIMA)..	75
3.7.5 Modelo de séries temporais com inclusão de variáveis exógenas	75
4 METODOLOGIA	79
4.1 Tipo de estudo.....	79
4.2 Dados	80
4.3 Estimação dos modelos.....	83
4.4 Verificação dos resultados e previsões	84
5 RESULTADOS	85
5.1 Setor comercial	85
5.2 Setor industrial	91
5.3 Setor residencial.....	97

6	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL: Ambiente de Contratação Livre
ACR: Ambiente de Contratação Regulada
ADF: Dickey-Fuller Aumentado
AIC: Critério de Informação de Akaike
AICC: Critério de Informação de Akaike Corrigido
AMFORP: *American Foreign & Power Company*
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica
AR: Modelo Autoregressivo
ARX: Modelo Autoregressivo com Variáveis Exógenas
ARIMA: Modelo Autoregressivo Integrado de Médias Móveis
ARMA: Modelo Autoregressivo de Médias Móveis
ARMAX: Modelo Autoregressivo de Médias Móveis com Variáveis Exógenas
BID: Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD: Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CBEE: Companhia Brasileira de Energia Elétrica
CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEEE: Companhia Estadual de Energia Elétrica
CELESC: Centrais Elétricas Santa Catarina
CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais
CHESF: Companhia Hidrelétrica de São Francisco
CMSE: Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE: Conselho Nacional de Política Energética
CPFL: Companhia Paulista de Força e Luz
CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOLS: *Dynamic Ordinary Least Squares*
EPE: Empresa de Pesquisa Energética
FAC: Função de Autocorrelação
FACP: Função de Autocorrelação Parcial
GPRM: *Grey Prediction with Rolling Mechanism*
GWh: Gigawatt hora
kWh: Kilowatt hora
INMETRO: Instituto Nacional de Meteorologia, Normalização e Qualidade Industrial
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPA-EP: Índice de Preços no Atacado – Estágios de Processamento
IPA-OG: Índice de Preços no Atacado – Oferta Geral
MAE: Mercado Atacadista de Energia
MAPE: *Mean Absolute Percentage Error*
MME: Ministério de Minas e Energia
MQO: Mínimos Quadrados Ordinários
MQO2E: Mínimos Quadrados Ordinários em Dois Estágios
MWh: Megawatt hora
ONS: Operador Nacional do Sistema
PAC: Programa de Aceleração do Crescimento
PCH: Pequena Central Elétrica
PIB: Produto Interno Bruto

PNAD: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PND: Programa Nacional de Desestatização

PPT: Programa Prioritário de Termoeletricas

RMSE: *Root Mean Square Error*

SARIMA: Modelo Sazonal Autoregressivo Integrado de Médias Móveis

SARMA: Modelo Sazonal Autoregressivo de Médias Móveis

SARMAX: Modelo Sazonal Autoregressivo de Médias Móveis com Variáveis Exógenas

SETAR: *Self-exciting Threshold Autoregressive*

SBC: Critério Bayesiano de Schwartz

SIESE: Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica

STR: *Smooth Transition Regression*

UEE: Usina de Energia Eólica

UTE: Usina Termoeletrica

UHE: Usina Hidroeletrica

VAR: Vetor Autoregressivo

VEC: Vetor de Correção de Erro

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eletricidade total importada anualmente em GWh	30
Tabela 2 - Taxas médias de crescimento anual do consumo de energia elétrica por setor .	37
Tabela 3 - Coeficientes de correlação linear entre ConsumoC e suas variáveis preditoras defasadas.....	87
Tabela 4 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo para ConsumoC ao final do método <i>backward</i>	88
Tabela 5 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo final para ConsumoC	89
Tabela 6 - Valores reais e projetados de ConsumoC para a amostra de validação	91
Tabela 7 - Coeficientes de correlação linear entre ConsumoI e suas variáveis preditoras defasadas.....	93
Tabela 8 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo para ConsumoI ao final do método <i>backward</i>	94
Tabela 9 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo final para ConsumoI	95
Tabela 10 - Valores reais e projetados de ConsumoI para a amostra de validação.....	96
Tabela 11 - Coeficientes de correlação linear entre ConsumoR e suas variáveis preditoras defasadas.....	99
Tabela 12 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo para ConsumoR ao final do método <i>backward</i>	100
Tabela 13 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo final para ConsumoR	101
Tabela 14 - Valores reais e projetados de ConsumoR para a amostra de validação	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fontes de energia – Brasil.....	29
Gráfico 2 - Fontes de energia – mundo	29
Gráfico 3 - Fontes de geração de energia elétrica – Brasil.....	30
Gráfico 4 - Composição setorial do consumo de eletricidade	31
Gráfico 5 - Distribuição do consumo de energia elétrica por região.....	32
Gráfico 6 - Distribuição da geração de energia elétrica por região	32
Gráfico 7 - Evolução do consumo de energia elétrica.....	36
Gráfico 8 - Taxa média de crescimento do consumo energético por setor.....	38
Gráfico 9 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC).....	85
Gráfico 10 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) <i>versus</i> tarifa média comercial de energia elétrica (PC).....	86
Gráfico 11 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) <i>versus</i> vendas reais no varejo (YC)	87
Gráfico 12 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) <i>versus</i> produção industrial de máquinas e equipamentos (LC)	87
Gráfico 13 - Histograma dos resíduos do modelo final para ConsumoC.....	90
Gráfico 14 - Valores reais e projetados de ConsumoC	90
Gráfico 15 - Consumo industrial de energia elétrica (Consumo I).....	91
Gráfico 16 - Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) <i>versus</i> faturamento real da indústria (YI)	92
Gráfico 17 - Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) <i>versus</i> produção industrial de bens intermediários (LI).....	93
Gráfico 18 - Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) <i>versus</i> preço do barril de petróleo (SI)	93
Gráfico 19 - Histograma dos resíduos do modelo final para ConsumoI.....	96
Gráfico 20 - Valores reais e projetados de ConsumoI.....	97
Gráfico 21 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR).....	97
Gráfico 22 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR) <i>versus</i> tarifa média residencial de energia elétrica (PR)	98
Gráfico 23 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR) <i>versus</i> rendimento médio habitual – pessoas ocupadas – regiões metropolitanas (YR).....	99
Gráfico 24 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoC) <i>versus</i> vendas reais no varejo de móveis e eletrodomésticos (LR)	99
Gráfico 25 - Histograma dos resíduos do modelo final para ConsumoR.....	102
Gráfico 26 - Valores reais e projetados de ConsumoR	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo institucional do setor de energia elétrica brasileiro	33
Figura 2 - Exemplo de correlograma	62
Figura 3 - Exemplo de correlograma	62
Figura 4 - Estágios na abordagem de construção iterativa de modelos de previsão	68
Figura 5 - Correlograma dos resíduos (ConsumoC) ao final do método <i>backward</i>	88
Figura 6 - Correlograma dos resíduos para o modelo final de ConsumoC	89
Figura 7 - Correlograma dos resíduos (ConsumoI) ao final do método <i>backward</i>	94
Figura 8 - Correlograma dos resíduos para o modelo final de ConsumoI.....	95
Figura 9 - Correlograma dos resíduos (ConsumoR) ao final do método <i>backward</i>	100
Figura 10 - Correlograma dos resíduos para o modelo final de ConsumoR	101

1 INTRODUÇÃO

As perspectivas para o setor de energia elétrica encontradas em um passado recente eram bem distintas das condições enfrentadas hoje. A existência de energia em abundância e a baixo custo, como havia no passado, são características cada vez menos prováveis para o futuro do setor. Tanto os meios de extração desta energia, quanto suas próprias fontes de obtenção se encontram num dilema, questionando a viabilidade do atual modelo mundial fortemente baseado no consumo de combustíveis fósseis e demais recursos não renováveis.

A preocupação com o nível de consumo de equipamentos elétricos é um exemplo dessa mudança de rumos no setor. No Brasil, em 1993, o INMETRO, Instituto Nacional de Meteorologia, Normalização e Qualidade Industrial, lança o selo Procel de economia de energia classificando aparelhos eletroeletrônicos de acordo com seu nível de consumo de energia, objetivando orientar o consumidor no momento da compra para escolha de produtos com melhores níveis de eficiência energética, indicando essa maior preocupação com os níveis de consumo de forma agregada pelo poder público nacional.

O chamado ‘apagão’, ocorrido em 2001 e 2002, dois últimos anos do mandato do presidente Fernando Henrique Cardoso, chama atenção para o setor de energia elétrica na última década. Em poucos momentos houve tanto foco na área de consumo de energia como o noticiado em função desse episódio. A grande estiagem desses anos associada à negligência no planejamento energético e nos investimentos em geração de energia trouxeram o risco de *blackouts* em todo Brasil, acentuando a visibilidade do setor energético.

Importante vetor de desenvolvimento econômico e social, abalos na regularidade de distribuição energética podem gerar prejuízos econômicos e sociais de grande magnitude. Os problemas enfrentados com o ‘apagão’ de 2001-2002 foram suficientes para rever as taxas de crescimento do PIB, Produto Interno Bruto, em 2001 de 4,5% para 1,3%, ilustrando a relevância do setor (PÊGO e NETO, 2008). Outro indicador da importância dessa área é a projeção tomada pelo programa do Governo Federal ‘Luz para Todos’, que tem como objetivo levar energia elétrica às residências excluídas do acesso a esse serviço,

tendo em vista a utilização da energia elétrica como instrumento de desenvolvimento econômico e social, contribuindo para redução da pobreza e aumento da renda familiar, o que chama atenção para necessidade de maior conhecimento na área, principalmente relativo à previsão da demanda por energia elétrica (BRASIL, 2005).

Atribuições sobre desperdício e racionamento à parte, é indiscutível a necessidade de um bom planejamento energético, em especial a previsão dos níveis de consumo de energia elétrica, e dimensionamento da capacidade produtiva para atender tal demanda, principalmente em um país com as taxas de crescimento econômico do Brasil que atingiu 6,1% de crescimento do PIB em 2007, 5,2% em 2008, e após a queda de 0,6% com a crise em 2009, obteve 7,5% de crescimento do PIB em 2010 (IBGE, 2011). Assegurar o fornecimento de energia elétrica é ponto base para manutenção desse ciclo de crescimento.

A habilidade de fazer previsões, em especial na gestão da oferta e do consumo energético, é importante na medida em que os investimentos na área de expansão da capacidade produtiva do setor são de longo prazo, e necessitam da tomada de decisões alguns anos antes de apresentarem resultados. Como exemplo, cita-se a construção da usina hidroelétrica de Mauá, que teve sua concessão arrematada em 2006 pelo consórcio Cruzeiro do Sul em leilão realizado pela ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, e tem data prevista de entrega apenas para o final de 2011 (CRUZEIRO DO SUL, 2011).

A EPE, Empresa de Pesquisa Energética, publica regularmente o Plano Decenal de Expansão de Energia. Em sua edição de 2010-2019, o plano traz questões relativas à escolha de matrizes produtivas, a preocupações ambientais, e ao futuro da geração de energia elétrica. Ações planejadas como a diversificação da matriz geradora e a expansão da geração de energia por meio de usinas hidroelétricas ilustram os rumos adotados pelo governo. O documento apresenta possíveis cenários macroeconômicos para o Brasil e faz projeções da demanda energética nacional para cada cenário, evidenciando a organização do setor e suas perspectivas (BRASIL, 2010b).

Para atender aos gargalos do crescimento econômico no Brasil, incluindo a área de geração de energia elétrica, o Governo Federal lançou em 2007 o PAC, Programa de Aceleração do Crescimento, com obras em várias frentes de trabalho, como o setor de transportes e o setor energético. O programa executou investimentos totais de R\$ 619 bilhões no período

de 2007 até 2010, sendo destes R\$ 114,8 bilhões (18,5% do total investido) destinados para o setor energético (BRASIL, 2010a).

Juntamente com a previsão da demanda por energia elétrica, considera-se a importância de conhecer simultaneamente os fatores determinantes desse bem de consumo, objetivando a geração de cenários e a condução de análises sobre padrões de consumo. Dessa forma, é possível obter maior compreensão do comportamento da demanda. Relatórios governamentais que elaboram cenários para o setor energético, como o Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 (BRASIL, 2010b), fazem suas análises conjunturais fortemente baseadas no comportamento passado da série de demanda energética, e nas variáveis-chaves que têm afetado essa demanda ao longo do tempo.

Nesse sentido, o estudo do mercado de energia elétrica permite a tomada de uma série de decisões pelos agentes do sistema, como a determinação da tarifa cobrada dos consumidores finais, o planejamento do fluxo de caixa dos agentes do sistema (investimentos na matriz produtiva, forma de financiamento, entre outros), o controle de aspectos operacionais na geração e distribuição da eletricidade e o acompanhamento da distribuição temporal e espacial da energia elétrica. A previsão da demanda de energia elétrica se faz necessária devido, entre outros itens, à necessidade de otimização na alocação de recursos econômico-financeiros dos agentes que atuam nesse setor, e às obrigações sociais e legais das empresas do setor, fornecendo um padrão mínimo de serviço com regularidade.

1.1 Estudos anteriores sobre previsão da demanda energética

Podem-se dividir os métodos de previsão de forma geral em dois grandes grupos: qualitativos e quantitativos. É reconhecido que os métodos qualitativos são intuitivos e subjetivos, o que dificulta sua reprodução, ainda que não invalide sua utilização. Tais métodos fogem ao escopo do presente trabalho e não serão tratados nesta dissertação.

Métodos quantitativos, por sua vez, fazem uso de modelos matemáticos e estatísticos aplicados a dados empíricos, o que permite um maior grau de objetividade em seus

resultados permitindo sua reprodução por novas pesquisas (MARCONI e LAKATOS, 2002). Dentro dos métodos quantitativos, uma série de metodologias tem sido utilizada para projeção do consumo de energia elétrica, tais como modelos de regressão com dados em painel (HALVORSEN e LARSEN, 2001), modelos de cointegração e defasagem distribuída (ODIAMBO, 2009), modelos estruturais de séries temporais (SAAB *et al*, 2001) e modelos de Box & Jenkins de séries temporais (EDIGER e AKAR, 2007), dentre outros, variando de acordo com os objetivos de estudo e das características das bases de dados.

No Brasil, o trabalho de Modiano (1984) é considerado um dos primeiros a tratar da questão de previsão da demanda energética dentro da área de estudos da Econometria. Em sua pesquisa foram mensuradas e quantificadas as elasticidades renda e preço do consumo de energia elétrica no Brasil. Estudos posteriores, como Andrade e Lobão (1997) e Schmidt e Lima (2004), agregam novas variáveis e fazem uso de diferentes modelos estatísticos, mas, de forma geral, os temas elasticidade-renda e elasticidade-preço da demanda de energia elétrica se mantêm recorrentes nos estudos do comportamento da demanda.

Além dos fatores preço e renda, existem outras variáveis que são incluídas nos modelos existentes na literatura, como, por exemplo, o estoque de bens que demanda energia elétrica em seu funcionamento, como eletrodomésticos. Essa variável seria um grande influenciador na quantidade de energia consumida da demanda energética residencial (SCHMIDT e LIMA, 2004). Os preços de bens substitutos à energia elétrica, como gás natural ou petróleo, também afetariam os níveis de consumo desse bem, principalmente no caso da demanda do setor industrial (*op. cit.*). Pode-se dizer de forma abrangente que a demanda por energia elétrica é função de um conjunto de variáveis independentes e de um erro aleatório, e que seria possível estimar os parâmetros dessa função com base em diferentes metodologias (ANDRADE E LOBÃO, 1997).

Um caminho alternativo, mas não necessariamente excludente ao estudo causal da demanda por energia elétrica é a análise dessa variável apenas com base em seus valores passados, ou seja, utilizar a própria série para predizer seu comportamento futuro. Com essa idéia são feitas análises de séries temporais, avaliando componentes da demanda como sua tendência, sazonalidade e ciclos, que podem exibir um padrão identificável ao

longo do tempo. Dentro dessa classe, uma das principais metodologias adotadas são os modelos de Box & Jenkins, também chamados de modelos ARIMA, Autoregressivos Integrados de Médias Móveis, (BOX e JENKINS, 1976) e suas variações. Nessa abordagem são feitas suposições sobre o comportamento da série que permitem análises com bom nível de ajuste empírico. Os estudos com base em metodologias de séries temporais apresentam resultados empíricos satisfatórios, entretanto têm a desvantagem de oferecerem interpretações dos resultados restritas ao comportamento da série em estudo, desconsiderando a influência que outras variáveis teriam sobre esta.

Dentre os métodos possíveis de modelagem da demanda energética, estudos que fazem uso de modelos de regressão linear múltipla e ajustam os resíduos por meio de modelos de Box & Jenkins têm demonstrado bons resultados empíricos. Modelos ARX, Autoregressivos com Variáveis Exógenas (PILLI-SIHVOLA *et al*, 2010; GABREYOHANNES, 2010; CASTRO e MONTINI, 2010) e ARMAX, Autoregressivos de Médias Móveis com Variáveis Exógenas (PAO, 2006; BAKHAT e ROSELLO, 2011) apresentam a característica de estimar o consumo energético com base em variáveis explicativas e modelar os resíduos do modelo por meio de séries temporais. Tais modelos seriam de aplicação relevante devido a captarem a influência de variáveis macroeconômicas no consumo energético e aos padrões de comportamento da série ao longo do tempo.

Há uma série de estudos de previsão baseados em dados anuais estimados com base em modelos causais. Dentro deste grupo podem-se citar, por exemplo, Modiano (1984), Schmidt e Lima (2004), Siqueira e Holanda (2005) e Andrade e Lobão (1997). Com relação à base de dados mensais, ainda tratando de modelos causais, citam-se os trabalhos de Castro e Montini (2010), Abreu e Sant'Anna (2009), Pao (2006) e Bessec e Fouquau (2008), que têm demonstrado bons ajustes empíricos e análises plausíveis para o comportamento da demanda. Os fortes componentes sazonais das séries de consumo (influenciadas principalmente por variações climáticas e eventos sociais cíclicos como férias escolares e festas nacionais) têm se mostrado significativos nas modelagens, sendo uma boa variável explicativa a ser adicionada nas previsões efetuadas.

Muito populares na década de 1970, os modelos de Box & Jenkins de séries temporais têm sido uma das técnicas de previsão mais difundidas no domínio do tempo para o estudo de

séries temporais (MORETTIN e TOLOI, 2004). Apesar de serem modelos consagrados na literatura de previsão, sua aplicação em diferentes áreas do conhecimento é útil tanto para a comparação com resultados obtidos com metodologias concorrentes quanto para interpretação do desempenho do modelo a cada caso estudado.

1.2 Objetivo

Este trabalho objetiva projetar o consumo de energia elétrica brasileira dos setores comercial, industrial e residencial por meio do modelo SARMAX. O ajuste desse modelo consiste no ajuste de uma regressão linear múltipla considerando variáveis exógenas defasadas. Os resíduos desses modelos são modelados por meio da metodologia de Box & Jenkins, ou seja, é ajustado um modelo SARMA aos resíduos. Os coeficientes dos modelos serão estimados no período de Janeiro de 2003 a Setembro de 2010 e serão geradas previsões mensais para o período de Outubro de 2010 a Fevereiro de 2011.

1.3 Justificativa

Tanto a gestão de empreendimentos privados na área de distribuição de energia elétrica, quanto a gestão pública do sistema energético nacional necessitam do conhecimento sobre o comportamento da demanda, nos seus segmentos residencial, industrial e comercial de consumo. Para tal, faz-se útil o estudo dessa demanda ao longo do tempo, bem como dos fatores que possam influenciar seu volume. A área de análise e previsão de séries temporais, que é um campo de pesquisa bem definido dentro dos métodos quantitativos, tem sido uma das áreas chave nas ciências sociais aplicadas para aprofundar estudos dessa natureza.

Como destaca Mello (1999), o objetivo do governo na área de geração de energia é atender às necessidades do desenvolvimento econômico e social, com foco no bem comum do país. Ressalta-se a necessidade da implantação de estratégias eficientes entre as empresas geradoras distribuidoras e comercializadoras do setor, levando em consideração os riscos do não atendimento na geração de energia para o desenvolvimento nacional.

Um item de vital importância no planejamento energético é o conhecimento dos fatores que influenciam no consumo de energia elétrica, assim como a mensuração da dimensão dessa influência. Tais informações indicam, por exemplo, como os usuários do serviço reagem às tarifas médias cobradas, e o efeito existente entre variações no total de rendimento familiar e o volume de energia elétrica consumida. A partir dessas análises é possível estimar o efeito que esses fatores geram sobre o consumo geral de energia elétrica e projetar como o consumo se portará no futuro próximo (ANDRADE e LOBÃO, 1997).

Branco (2003) cita como as principais finalidades no estudo da demanda para o setor elétrico: (a) elaboração de planos para expansão do sistema gerador e do sistema de transmissão; (b) planejamento da operação energética de setores interligados e da operação de sistemas isolados; (c) orientação dos planos de expansão e distribuição de cada concessionária; (d) estabelecimento de programas de investimentos e de contratos bilaterais entre empresas; (e) definição do valor econômico da energia elétrica não suprida; (f) fornecimento de subsídios ao processo de sazonalização de contratos, trabalhos de balanço energético e formação e planejamento da matriz energética nacional; e (g) fornecimento de apoio a programas de financiamento gerenciados por agentes setoriais.

De acordo com Dias (2008), as previsões sobre o consumo de energia elétrica têm impacto direto e indireto sobre as seguintes decisões: (a) planejamento das operações do sistema; (b) programas de investimento das empresas; (c) contratos de compra e venda de energia entre empresas; (d) preço da energia no mercado atacadista; e (e) programa de licitação de obras do agente regulador. O horizonte de previsão pode assumir as seguintes denominações:

- a) Previsão de curtíssimo e curto prazo: Diz respeito ao período de poucos minutos até semanas à frente. Sua importância é técnica no sentido de auxílio de estratégias de controle. Outra utilização dessas estimativas é na operação econômica das concessionárias como na tomada de decisões de programação da geração de energia, avaliação do sistema e planejamento de transações de energia;
- b) Previsão de médio prazo: Diz respeito aos meses seguintes. Sua importância se dá no sentido da organização das manutenções do sistema de geração e distribuição de energia. Outra utilização não menos importante é fornecer informações para o

governo no acompanhamento mensal do mercado de energia elétrica. Essa é uma ferramenta essencial para o entendimento da dinâmica do consumo de energia nas diversas classes e regiões consumidoras no país. Essas previsões fornecem subsídios para o planejamento das operações do sistema e da sua expansão;

- c) Previsão de longo prazo: Diz respeito a períodos superiores a um ano. Sua importância está relacionada ao planejamento da infraestrutura da oferta de energia elétrica necessária para atender ao crescimento do mercado, mantendo critérios mínimos de garantia de suprimento de forma ambientalmente sustentável e minimizando os custos de investimento financeiros e socioambientais.

Com base no exposto acima, tratando a importância do setor de energia elétrica na economia brasileira e a relevância da atividade de análise e previsão dessa série para a gestão do setor, ressalta-se que a presente dissertação tem por objetivo desenvolver um modelo para previsão de médio prazo do consumo energético mensal no Brasil por setores de consumo. A metodologia utilizada será a construção de modelos de Box & Jenkins com variáveis exógenas fazendo por fim a avaliação da acurácia dos modelos estimados e a adequação das premissas da técnica de modelagem aos dados estudados.

1.4 Organização do trabalho

O presente estudo foi dividido em uma primeira parte introdutória com a ambientação do tema de estudo, apresentando o setor, seguida das idéias gerais dos estudos anteriores na área, bem como a definição do problema de pesquisa e dos objetivos e da justificativa do estudo.

O capítulo 2 trata do panorama do setor de produção e abastecimento de energia elétrica no Brasil com sua estrutura e formação. São discutidos também alguns estudos anteriores na área de previsão da demanda por energia elétrica. Neste item são tratados modelos causais e modelos de séries temporais e com variáveis exógenas. Em seguida são elencados os principais fatores que têm influência sobre a demanda de energia elétrica e é comentado o aspecto sazonal da demanda energética no Brasil.

O capítulo 3 descreve conceitos de séries temporais que serão utilizados. Trata-se da metodologia de Box & Jenkins de séries temporais e da estimação de modelos de séries temporais com a inclusão de variáveis exógenas. Na primeira parte são tratados aspectos gerais do estudo de séries temporais, passando em seguida pela metodologia de Box & Jenkins de análise de séries temporais, tratando por fim da estimação de modelos de regressão com ajuste de seus resíduos pelos modelos de Box & Jenkins.

O capítulo 4 apresenta os aspectos metodológicos do trabalho. São descritos o formato da pesquisa, os dados utilizados, procedimentos com softwares, procedimentos de estimação dos modelos, e os procedimentos de checagem dos modelos.

O capítulo 5 apresenta os resultados da pesquisa empírica realizada, compondo as análises a adequação às premissas dos modelos, a estimação dos parâmetros, as previsões para dados fora da amostra e as medidas de adequação dos resultados. As análises se dividem igualmente para os setores comercial, industrial e residencial.

O capítulo 6 enumera as conclusões do estudo. São elencados os principais pontos levantados no início do trabalho e os resultados obtidos, bem como apresentadas as limitações deste estudo e também as sugestões para estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta sessão serão abordados os seguintes assuntos: formação do setor de energia elétrica nacional e alguns elementos descritivos para melhor compreensão do objeto de estudo; estudos realizados nacionalmente e internacionalmente na área de previsão da demanda energética com apresentação dos principais resultados e contribuições de cada estudo; determinantes da demanda por energia elétrica e considerações sobre a sazonalidade da demanda energética no Brasil.

2.1 Breve histórico do setor de energia elétrica brasileiro

As primeiras ações no campo da energia elétrica no Brasil datam do início da implantação do regime republicano e sua constituição em 1891. Com uma economia predominantemente agrícola, a implantação de pequenas usinas limitadas às necessidades da produção agrícola se disseminou pelo país, especialmente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A expansão dessas usinas tomou maior vulto nos municípios nos quais diversas empresas se organizaram para atender os requisitos de iluminação pública e tração elétrica (MELLO, 1999).

Mello (*op cit.*) cita a usina de Marmelos alocada na cachoeira de Marmelos no rio Paraibuna no estado de Minas Gerais a 7 km da cidade de Juiz de Fora, inaugurada no ano de 1889, como a primeira usina elétrica de porte razoável - com capacidade de 375 kWh - no Brasil. No ano de 1926 foi inaugurado o primeiro complexo hidrelétrico de grande porte na região de Cubatão em São Paulo, a chamada UHE *Henry Borden*, com capacidade de 76.000 kWh para suas três unidades.

No final do século XIX algumas empresas internacionais se interessaram pela exploração dos serviços de eletricidade no Brasil, dentre as quais se destacam o grupo canadense *Brazillian Traction, Light and Power*, conhecido como '*Light*', obtendo concessões para explorar a energia elétrica, iluminação pública e tração elétrica nos municípios de São Paulo e Rio de Janeiro, e a AMFORP, *American Foreign & Power Company*,

concentrando-se no interior dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro e nas capitais dos estados do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Espírito Santo. Na década de 20, empresas privadas e nacionais iniciaram um processo de fusões e incorporações, constituindo ao final do processo as duas primeiras empresas brasileiras de grande porte: a CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz, situada em São Paulo, e a CBEE, Companhia Brasileira de Energia Elétrica, situada no Rio de Janeiro (*Ibid.*). Galhano (2009) ressalta que outras concessionárias privadas nacionais surgiram em várias cidades do interior mas, via de regra, com serviços precários nesses sistemas isolados devido à não-capitalização adequada.

Até a década de 1930, a atuação do estado no desenvolvimento da indústria de energia elétrica pode ser considerada tímida. Com poucos recursos para investimento e a descentralização política do país após a constituição de 1981, esse setor industrial passou a ser dominado por concessionárias estrangeiras que exploravam os serviços nos principais centros econômicos do país. Com a rápida concentração do setor, em 1930, apenas a empresa *Light* representava 40% da capacidade de geração total do país. Apesar da concentração, o setor cresceu razoavelmente no período (LEITE, 1997). Mello (*op. cit.*) aponta que ao final do ano de 1930 registrou-se uma potência energética instalada de 779 MWh no Brasil.

A revolução de 1930 trouxe ampla reforma institucional para o governo, com crescente centralização do poder político econômico e a adoção de uma forte ideologia claramente nacionalista em suas ações. Verificou-se a intervenção estatal em diversos segmentos da economia, incluindo a indústria de energia elétrica (GALHANO, *op. cit.*). Em 1933, motivado pelas pressões de empresários industriais contra os sucessivos reajustes de preços da energia elétrica, o governo (através da extinção de uma regra chamada ‘cláusula ouro’) mudou parte da legislação do setor com intuito de reduzir as possibilidades de aumento de tarifa, o que acabou por abalar a atratividade financeira do setor, causando a diminuição nos investimentos em novos projetos de geração elétrica, e o baixo incremento da potência instalada de 779 MWh para 1.342 MWh entre 1930 e 1945 (MELLO, *op. cit.*).

Um dos primeiros grandes problemas energéticos enfrentados no país foi causado pela estiagem de 1944 e pela falta de combustíveis, causando prejuízos às principais indústrias do estado do Rio Grande do Sul. Devido a tais problemas o governo do estado criou a

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica, elaborando e executando seu plano de eletrificação. Em 1945 foi criada a CHESF, Companhia Hidrelétrica de São Francisco, para a região do nordeste, em 1952 foi criada a CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais, e a CELESC, Centrais Elétricas Santa Catarina S/A, em 1955. Observa-se que os problemas de abastecimento e falta de energia elétrica foram os principais motivos que impulsionaram essas iniciativas governamentais. Ao longo da década de 1950, seguindo a prática de absorção de empresas estrangeiras, praticamente todos os estados da federação constituíram empresas estatais de energia elétrica, assumindo os serviços de geração e transmissão no setor (*Ibid.*).

Até meados da década de 1940, o setor de energia elétrica brasileiro era fundamentalmente constituído por capital privado, com cerca de 98% do abastecimento sob o controle de particulares. Após esse período houve um forte movimento estatizante de empresas de energia elétrica, culminando com a quase total substituição do capital privado por público no setor de geração elétrica (CUSTÓDIO JR., 2004).

No governo do presidente Juscelino Kubitschek foi lançado o Plano de Metas, que privilegiaria cinco setores críticos da economia brasileira: energia, transporte, indústria de base, alimentação e educação. Em seu governo foi criado o MME, Ministério de Minas e Energia, para assumir a coordenação política do setor, e a ELETROBRÁS, Centrais Elétricas Brasileiras, para coordenar e financiar investimentos públicos no setor. O estado tornou-se responsável pela expansão da capacidade instalada (geração e transmissão), ficando sob responsabilidade das concessionárias privadas os serviços de distribuição de energia elétrica (GALHANO, *op. cit.*).

Em 1959 iniciou-se a compra de empresas privadas do grupo AMFORP, finalizada em 1964 no governo do Presidente Castelo Branco, sendo negociados e adquiridos os ativos da empresa nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Pará e Pernambuco. Em 1978 concluiu-se a compra do grupo *Light* pelo governo do Presidente Geisel, completando o processo de aquisição de empresas estrangeiras pelo estado (MELLO, *op. cit.*). Sob a intervenção estatal, com objetivo de promover o desenvolvimento econômico, principalmente no setor industrial, houve um salto considerável na infraestrutura energética, passando de 1945 a 1995 de uma capacidade

instalada de 1.342 MWh para 55.512 MWh, dos quais 50.687 gerados em mais de 200 hidrelétricas (*Ibid.*).

Apesar do bom desempenho da expansão da indústria de energia elétrica nesse período, esta apresentava algumas características que trariam problemas futuros. Primeiro, o governo decidira por uma política de contenção tarifária por motivos sociais e, segundo, pela decisão de equalização regional das tarifas dos serviços de energia elétrica. Seu objetivo era a distribuição de renda dos centros mais desenvolvidos para regiões do interior do país, mas acabou por gerar claros efeitos nos resultados financeiros das concessionárias, onde as mais eficientes acabaram subsidiando as empresas menos eficientes. Anos mais tarde, com os abalos econômicos mundiais, a crise do petróleo e a alta dos juros do mercado internacional, o setor de energia elétrica nacional veio à quase total estagnação financeira (GALHANO, *op. cit.*).

Devido à crise econômica do início da década de 1980, a base tarifária se tornou aviltada quanto às reais necessidades das concessionárias do setor elétrico. As tarifas fixadas pelo governo eram defasadas em relação aos efeitos inflacionários, abalando as fontes de recursos das concessionárias. Além desse problema, a retração das fontes financiadoras internacionais – BID, Banco Interamericano de Desenvolvimento e BIRD, Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – principalmente após a moratória mexicana de 1982, contribuiu para o processo de descapitalização do setor elétrico e consequente redução dos investimentos das empresas de energia elétrica (MELLO, *op. cit.*).

Desde a década de 1980 existiam recomendações de instituições internacionais como o BID e BIRD para a necessidade de privatização do setor como forma de alavancar a área com recursos privados. Apesar dos riscos de desabastecimento energético e dos escassos recursos destinados à ampliação do setor elétrico, a situação não se tornou crítica na época devido a uma combinação de baixas taxas de crescimento da economia e de condições hidrológicas favoráveis. Apenas em 1995 tiveram início as privatizações do setor com a Lei nº 8.987 de 13 de Fevereiro, chamada ‘Lei das Concessões’ que entre outras medidas introduziu a regulamentação do regime de licitação das concessões. Em Maio do mesmo ano foi incluído o Sistema Eletrobrás no PND, Programa Nacional de Desestatização, e em

Setembro, foram estabelecidas as bases legais para que grandes consumidores pudessem comprar energia livremente (PÊGO e NETO, 2008).

Com o estabelecimento de uma base legal mínima, teve início a rápida privatização das concessionárias do setor de energia elétrica. Um dos objetivos desse processo seria a viabilização de um mercado mais competitivo, entretanto, tal processo teve início antes da clara definição das 'regras do jogo' e da criação de todas as instituições previstas para o setor, causando sérios problemas nesse processo. A ANEEL foi constituída em 1997, e o MAE, Mercado Atacadista de Energia, e o ONS, Operador Nacional do Sistema, regulamentados em 1998. Em outros termos, o ambiente onde as transações seriam realizadas (MAE) e o ente que deveria permitir a imparcialidade na gestão técnica do sistema (ONS) foram constituídos posteriormente à privatização das concessionárias, gerando diversos problemas no arranjo do setor (GALHANO, *op. cit.*).

O modelo proposto pelo governo previa a desverticalização da cadeia de produção em quatro segmentos: geração, transmissão, distribuição e comercialização, instalando a competição de mercado nos setores onde fosse possível - geração e comercialização e a regulamentação nos setores estritamente necessários - transmissão e distribuição. Entre as principais falhas estruturais do modelo proposto, Galhano (2009) cita na área de expansão e geração: (a) sinalização de preços inadequada; (b) licitações com ágio e projetos de maior custo; (c) represamento de custos não gerenciáveis; (d) custos empresariais de regulação e de análise de riscos elevados; (e) subsídios elevados; e (f) prazos contratuais cada vez menores; e na área de distribuição e comercialização: (a) tarifas elevadas; (b) existência de intermediários; (c) aumento das incertezas dos mercados empresariais; (d) custos não gerenciáveis crescentes; (e) custos empresariais de regulação e de análise de risco elevados; e (f) aumento das garantias contratuais.

Uma década após as reformas do sistema de energia elétrica brasileiro, as perspectivas de ampliação da oferta, qualidade, confiabilidade e compatibilização dos preços mostraram-se frustradas, culminando com a crise de abastecimento do mercado consumidor de energia elétrica em 2001. Tanto os setores industrial como comercial e residencial foram afetados e confrontados com a necessidade do racionamento. A combinação de um regime de chuvas adverso e o aumento insuficiente da capacidade produtiva da última década causou sérios

desequilíbrios entre oferta e demanda de eletricidade tendo repercussões também no nível de atividade econômica do país. As projeções iniciais do PIB de 2001 foram reavaliadas de 4,5% para 1,35% após a crise energética, com impactos evidentes sobre o nível de empregos e indicadores de produção industrial e de comércio (PÊGO e NETO, *op. cit.*).

Dada a gravidade da crise de abastecimento de energia elétrica, foram tomadas, de imediato, medidas de controle de demanda com a obrigatoriedade de redução no consumo. Os resultados obtidos afastaram a implantação de medidas mais drásticas como os previstos 'apagões', que eram cortes no fornecimento de energia por períodos limitados. O esforço governamental na área de geração se concentrou na viabilização da construção de termelétricas, principalmente com uso do gás-natural e bagaço da cana-de-açúcar. Em Fevereiro de 2000 foi lançado o PPT, Programa Prioritário de Termelétricas, que previa a construção de 49 usinas e a geração de 15 mil MWh. Além dessa medida, o governo também reforçou o orçamento de empresas estatais do setor energético (Petrobrás e o Sistema Eletrobrás) para que pudessem levar adiante um amplo programa de obras (*Ibid.*).

Dois fatores foram primordiais para a superação da crise energética: primeiro, a surpreendente adesão popular ao programa de racionamento, com resultados imediatos na redução do consumo, não só no setor residencial, mas também no industrial, comercial e público; e, segundo, a situação hidrológica favorável no período chuvoso das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, o que, no curto prazo, permitiu o abrandamento do racionamento a partir de Dezembro de 2001 e seu término em Março de 2002 (*Ibid.*).

No último ano mandato do presidente Fernando Henrique Cardoso o governo lançou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica para estímulo da geração de energia eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas. Em 2003, o presidente Lula lançou o programa Luz para Todos, e em 2004 iniciou a reestruturação do setor elétrico com a criação da EPE, da CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, e do CMSE, Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico, além de retirar a Eletrobrás e suas controladas do PND e autorizar a estatal Eletrosul a investir em geração de energia (ANEEL, 2008).

O novo modelo proposto visava à redução do papel da concorrência como fator de racionalidade econômica, buscando uniformizar o papel das agências reguladoras federais.

Esse modelo baseava-se em duas diretrizes: garantir a segurança de suprimento de energia elétrica e promover a modicidade tarifária (o preço da energia elétrica seria acessível a toda população) através da contratação eficiente de energia para consumidores regulados. O modelo criava o processo compulsório de contratação de energia pelas empresas concessionárias de distribuição, mediante leilões, dentro de um ambiente específico de regras, nomeado ACR, Ambiente de Contratação Regulada (GALHANO, 2009).

Em 2006, a EPE lançou seu primeiro Plano Decenal de Expansão de Energia, estimando a necessidade de R\$ 125 bilhões em investimentos até 2015 para atender às expectativas de crescimento da demanda da ordem de 5,2% ao ano. Com vistas nesse cenário e em outras demandas de infra-estrutura, em 2007 o governo lançou o PAC, com investimentos planejados na ordem de R\$ 500 bilhões para os anos 2007-2010, incluindo os setores de transporte, logística, habitação, saneamento básico e infraestrutura do mercado de energia elétrica (ANEEL, 2008).

Alguns resultados do PAC até o momento são: a entrega de nove UHE, Usinas Hidrelétricas, 40 UTE, Usinas Termelétricas, 47 PCH, Pequenas Centrais Elétricas, 28 UEE, Usinas de Energia Eólica, totalizando uma geração de 6.753 MWh; e a construção de mais 18 UHEs, 36 UTEs, 17 PCHs, e seis UEEs, totalizando uma geração de 16.885 MWh (BRASIL, 2010c). Mantendo as mesmas linhas do PAC, o governo lançou em 2010 o PAC2 para o período de 2011-2014, com prioridades no setor energético para manter uma matriz energética baseada em fontes renováveis e ecologicamente viáveis, como etanol e biodiesel. Estão previstos R\$ 461,6 bilhões para a área de energia, dos quais R\$ 113,7 destinados à geração e R\$ 26,6 para transmissão de energia elétrica; e mais R\$ 30,6 bilhões para os programas Água e Luz para Todos (BRASIL, 2010c). O Quadro 1 apresenta os principais acontecimentos na formação do setor de energia elétrica nacional citados nesta sessão.

Quadro 1 - Principais acontecimento na formação do setor energético nacional

Ano	Evento
Meados de 1891	Implantação das primeiras usinas elétricas voltadas às necessidades da produção agrícola
1889	Inauguração da primeira usina elétrica de porte razoável - Marmelos (MG)
1889	Chegada do grupo canadense <i>Brazilian Traction, Light and Power (Light)</i> ao Brasil
1926	Inauguração do primeiro complexo hidrelétrico de grande porte - Cubatão (SP)
1927	Chegada do grupo americano American Foreign & Power Co. (AMFORP) ao Brasil
Meados de 1920	Constituição das duas primeiras empresas brasileiras de grande porte: a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) e a Companhia Brasileira de Energia Elétrica (CBEE)
1933	Extinção da 'cláusula ouro' para reajuste dos preços das tarifas de energia elétrica
1944	Criação da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) no Rio Grande do Sul
Meados de 1950	Criação de diversas empresas estatais de energia elétrica, assumindo os serviços de geração e transmissão no setor
1960	Criação do Ministério de Minas e Energia (MME)
1961	Criação da ELETROBRÁS
Meados de 1960	Compra pelo Estado de empresas privadas estrangeiras do setor de geração e transmissão
1982	Moratória da dívida externa mexicana e agravação da recessão econômica mundial
1995	Início das privatizações no setor de energia elétrica com a "lei das concessões"
1997	Constituição da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
1998	Regulamentação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) e do Operador Nacional do Sistema (ONS)
2001	Início da crise na oferta de energia elétrica e adoção de medidas de racionamento de consumo
2004	Reestruturação do setor elétrico. São criadas: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE).
2007	Lançamento do PAC e anúncio de investimentos no setor de energia elétrica no período 2007-2010

FONTE: Mello (1999), Custódio Jr. (2004), ANEEL (2008), Neto (2008) e Galhano (2009)

2.2 Panorama do setor energético brasileiro

Apesar dos avanços tecnológicos obtidos no último século, os benefícios proporcionados pela utilização da energia elétrica ainda não são acessíveis a um terço da população mundial. O Brasil, apesar de sua extensão territorial e demais problemas decorrentes de seu grau de desenvolvimento econômico e social, apresenta uma situação mais equitativa, onde mais de 80% de sua população reside em zonas urbanas. De acordo com a PNAD, Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (IBGE, 2009), 98,6% dos domicílios em 2008 possuíam acesso a energia elétrica. O serviço está muito mais universalizado que outros como o da rede coletora de esgotamento sanitário, que no mesmo ano cobria apenas 52,5% dos domicílios.

O Brasil apresenta um parque energético balanceado, composto tanto por fontes de energia renováveis quanto não-renováveis. Para o ano de 2010, a proporção de energia renovável

na matriz energética brasileira foi de 45,4%, contra 54,6% não renovável. No que se refere ao nível de emissão de gases tóxicos, o Brasil pode ser considerado um país pouco poluente. Em 2008 o Brasil emitiu 1,90 toneladas de CO₂ por habitante em comparação com os EUA que emitiram 18,38 toneladas de CO₂ por habitante, sendo a média mundial de 4,39 toneladas de CO₂ por habitante.

Quando comparadas as matrizes energéticas do Brasil e do mundo, observa-se uma maior importância do gás natural e dos derivados de carvão mineral na média mundial do que no Brasil (21,1% e 27,0% comparados com 10,2% e 5,1% respectivamente). Observa-se também que a importância da fonte energética hidráulica e os produtos de cana-de-açúcar, lenha e carvão vegetal (fontes de biomassa) são significativamente mais presentes na matriz energética nacional do que mundialmente. Estes valores são apresentados nos Gráficos 1 e 2.

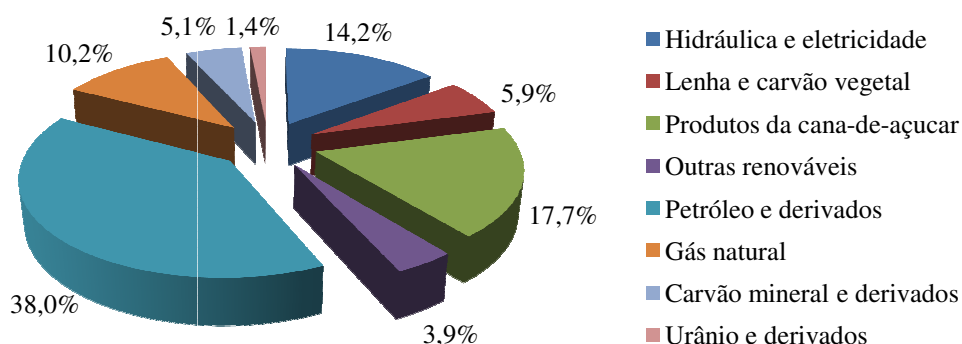


Gráfico 1 - Fontes de energia – Brasil

FONTE: Balanço energético nacional 2011 (EPE, 2011b)

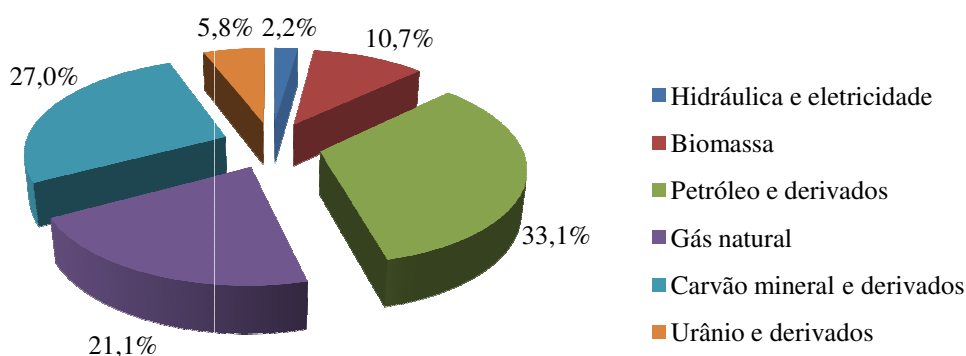


Gráfico 2 - Fontes de energia – mundo

FONTE: Balanço energético nacional 2011 (EPE, 2011b)

No que tange especificamente à oferta interna de energia elétrica o Brasil possui 86,2% oriunda de fontes de geração renováveis. A geração hidráulica, principal fonte de geração de energia elétrica, correspondeu a 80,0% do total de energia elétrica gerada no país no ano de 2010, em oposição às fontes não-renováveis que geram apenas 13,8% do total de eletricidade consumida no Brasil, sendo 6,2% de geração com gás natural, 3,3% com derivados do petróleo, 2,8% nuclear e 1,4% de carvão e derivados, conforme apresentado no Gráfico 3.

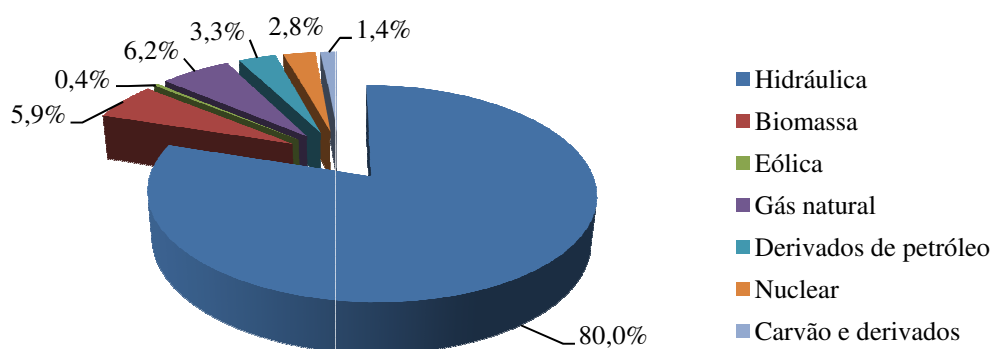


Gráfico 3 - Fontes de geração de energia elétrica – Brasil
 FONTE: Balanço energético nacional 2011 (EPE, 2011b)

Com relação à dependência externa de energia elétrica, observa-se que os valores percentuais de eletricidade comprada vem decaindo ao longo dos últimos anos, apesar dos valores absolutos se manterem nos mesmos patamares de 1999 a 2008. Em 1999 esse percentual era de 10,7% da energia elétrica consumida no país, o que equivalia a 39.961 GWh, caindo esse percentual em 2009 para 7,9%, do consumo, ou 39.984 GWh. A Tabela 1 a seguir apresenta esses valores anuais.

Tabela 1 - Eletricidade total importada anualmente em GWh

Ano	Eletricidade total importada	% da produção doméstica
1999	39.961	10,7%
2000	44.338	11,3%
2001	37.848	10,3%
2002	36.573	9,6%
2003	37.145	9,3%
2004	37.385	8,8%
2005	39.042	8,8%
2006	41.164	8,9%
2007	38.832	8,0%
2008	42.211	8,4%
2009	39.984	7,9%

FONTE: Balanço energético nacional 2010 (EPE, 2010)

Os setores com maior consumo elétrico no Brasil são: o industrial (46,3% do consumo) e o residencial (25,0% do consumo). Os setores comercial e público respondem por 24,3% do total de energia elétrica consumida, o setor de transportes por 0,4% e o setor agropecuário por 4,0%. Chama atenção a importância do consumo industrial frente aos demais. Apesar da participação contida do setor secundário na economia, a alta dependência do insumo energia elétrica na indústria nacional justifica tal desempenho (SIQUEIRA *et al*, 2006). O Gráfico 4 apresenta esses percentuais.

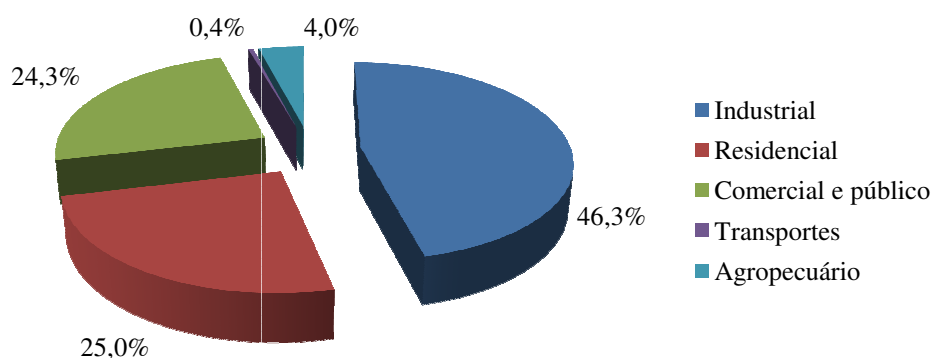


Gráfico 4 - Composição setorial do consumo de eletricidade
 FONTE: Balanço energético nacional 2011 (EPE, 2011b)

O sistema elétrico no Brasil apresenta como particularidade as grandes extensões das linhas de transmissão, além de seu parque de produção predominantemente baseado na geração hidráulica. O mercado consumidor está concentrado na região Sudeste, com maior grau de industrialização e urbanização (EPE, 2010). Observa-se que apenas essa região foi responsável por 54,7% de toda demanda por energia elétrica no país no mês de Agosto de 2011 e regiões como Centro-Oeste e Norte responderam por apenas 6,5% e 6,3% devido a seus pequenos contingentes populacionais e atividade econômica. A região Sul é responsável por 17,0% do total consumido de energia elétrica, similar aos 16,5% consumidos pela região Nordeste. Ressalta-se o crescimento no consumo de energia elétrica nas regiões Norte e Nordeste, principalmente o impacto do programa 'Luz para Todos'. Cerca de 50% das ligações do programa ocorrem apenas na região Nordeste. O Gráfico 5 ilustra essa distribuição do consumo entre regiões geográficas.

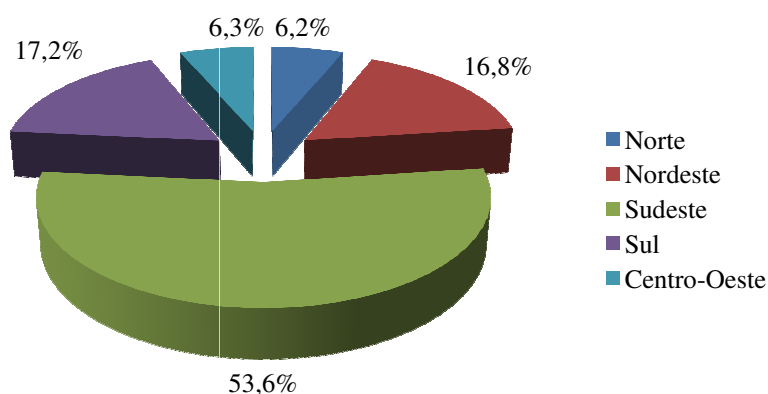


Gráfico 5 - Distribuição do consumo de energia elétrica por região

FONTE: Resenha mensal do mercado de energia elétrica (EPE, 2011a)

Quando avaliada a geração energética, a região Sudeste, para o ano de 2009, ainda é a de maior vulto proporcional, entretanto sua participação na geração total é de apenas 36,6% comparado com a proporção de 53,6% do consumo total que esta apresenta. A região Nordeste, assim como a região Sudeste, consome mais energia proporcionalmente à quantidade gerada, consumindo 13,0% da energia elétrica gerada e produzindo 11,1% do total. Observa-se que as regiões Norte e Centro-Oeste percentualmente produzem aproximadamente o dobro da energia que consomem e a região Sul produz em torno de dois terços da quantidade energética que consome. O Gráfico 6 apresenta a distribuição da geração de energia elétrica por região.

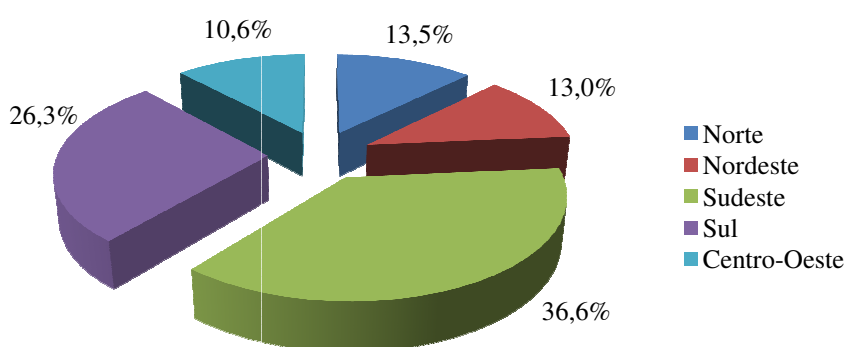


Gráfico 6 - Distribuição da geração de energia elétrica por região

FONTE: Balanço energético nacional 2010 (EPE, 2010)

No que se refere à rede de transmissão, o Brasil ainda é carente de uma integração de Norte a Sul do país. A região Norte apresenta grande potencial hidrelétrico ainda não explorado,

entretanto é atendida atualmente de forma majoritária por pequenas centrais geradoras termelétricas movidas a óleo diesel (PACHOALINO e LOUREIRO, 2007).

Atualmente o setor de energia elétrica apresenta uma estrutura separada nas áreas de geração, transmissão, comercialização, distribuição e comercialização. As áreas de geração e comercialização são independentes e há regulamentação econômica com incentivos à eficiência para transmissão e distribuição com tarifas pela utilização de sistemas, com base nos custos marginais de longo prazo. Há também uma participação privada intensa nas áreas de geração, distribuição e comercialização. A ANEEL é um órgão regulador fortalecido e existe uma descentralização reguladora para os estados, principalmente na área de distribuição (*op. cit.*).

O modelo institucional do setor de energia elétrica brasileiro pode ser representado pela Figura 1, na qual são apresentados os principais entes do setor. Abaixo se encontra o Quadro 2, com as principais entidades do setor elétrico brasileiro e suas atribuições básicas.

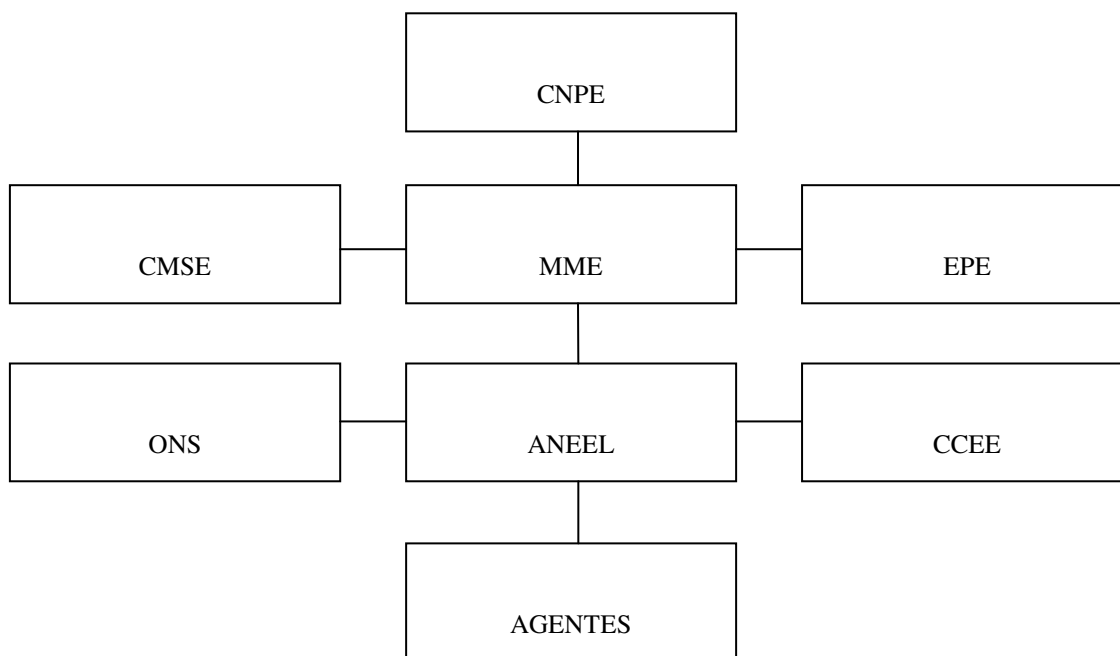


Figura 1 - Modelo institucional do setor de energia elétrica brasileiro

FONTE: Pachcoalino e Loureiro (2007)

Quadro 2 - Principais entidades do setor elétrico brasileiro e suas atribuições

Entidade	Atribuições
CNPE: Conselho Nacional de Política Energética	É um órgão de assessoramento do Presidente da República para formulação de políticas nacionais e diretrizes de energia, que visa, dentre outros objetivos, o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país, a revisão periódica da matriz energética e o estabelecimento de diretrizes para programas específicos. É órgão interministerial presidido pelo Ministro de Minas e Energia.
MME: Ministério de Minas e Energia	O MME encarrega-se da formulação, planejamento e implementação das ações do Governo Federal no âmbito da política energética nacional.
CMSE: Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico	Constituído no âmbito do MME e sob sua coordenação direta, tem a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletro-energético em todo território nacional.
EPE: Empresa de Política Energética	Empresa pública federal dotada de personalidade jurídica de direito privado e vinculada ao MME. Tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Elabora os planos de expansão da geração e transmissão da energia elétrica.
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica	Autarquia sob regime especial, vinculada ao MME, tem a finalidade de regular e fiscalizar a produção, a transmissão, a distribuição e a comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo Federal. É o órgão responsável pela elaboração, aplicação e atualização dos procedimentos de distribuição (PRODIST).
ONS: Operador Nacional do Sistema	Entidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob regulação e fiscalização da ANEEL, responsável pelas atividades de coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica do Sistema Integrado Nacional (SIN).
CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	Entidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob regulação e fiscalização da ANEEL, tem a finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica no SIN e de administrar os contratos de compra e venda de energia elétrica, sua contabilização e liquidação.

FONTE: (ANEEL, 2008)

O processo de comercialização da energia elétrica no Brasil ocorre predominantemente por contratos de compra e venda de energia celebrados pelos agentes participantes da CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Nesses contratos registrados na CCEE são inclusos as partes envolvidas, os montantes de energia e o período de vigência, sendo os preços fixados pelas partes envolvidas em suas aquisições bilaterais. A CCEE contabiliza as diferenças entre o que foi produzido ou consumido de energia elétrica e o montante contratado, sendo liquidadas as diferenças positivas ou negativas no mercado de curto prazo, também chamado de mercado *spot*, e valoradas pelo PLD, Preço de Liquidação de Diferenças, que é determinado com base no custo marginal de operação do sistema. (CCEE, 2011). Em virtude da baixa concentração de termoeletricas nos sistemas interligados brasileiros e pelos vínculos hidráulicos existentes entre usinas de diferentes proprietários, a comercialização no curto prazo é feita em um regime chamado *tight pool*.

Nesse regime o despacho é definido centralizadamente com base em ferramentas de otimização (DIAS, 2008). O *tight pool* pode ser caracterizado pelos seguintes passos:

- a) Os geradores elétricos submetem dados técnicos de suas usinas, nos quais constam níveis de armazenamento, vazões afluentes e disponibilidade das turbinas;
- b) Os geradores termoelétricos submetem também dados técnicos de suas usinas, incluindo também preços de combustível e seu consumo por unidade de energia produzida;
- c) Os agentes que participam do mercado pelo lado da demanda (comercializadores e grandes consumidores) submetem seus dados de carga;
- d) São calculados os preços da energia no mercado de curto prazo com base nos custos marginais de curto prazo através de um modelo de otimização;
- e) A metodologia dos preços no mercado de curto prazo é definida no âmbito de um acordo celebrado entre os participantes da CCEE;
- f) O Operador Nacional do Sistema controla o despacho da geração.

A comercialização de energia elétrica pode ser realizada em dois ambientes de mercado: o Ambiente de Contratação Regulada, ACR, e o Ambiente de Contratação Livre, ACL. A contratação no ACR é formalizada através de contratos celebrados entre os agentes vendedores e compradores que participam dos leilões de compra e venda de energia elétrica. A contratação no ACL acontece através de livre negociação entre os agentes geradores, comercializadores, consumidores livres, importadores e exportadores de energia, sendo os contratos de compra e venda de energia celebrados por meio de contratos bilaterais. Todos os agentes geradores de energia elétrica podem vendê-la nos dois ambientes de contratação com intuito de manter o caráter competitivo da geração energética, entretanto, todos os contratos são registrados na CCEE e servem de base para liquidação das diferenças no mercado de curto prazo (CCEE, 2011).

2.3 Evolução do consumo energético brasileiro

O consumo total de energia elétrica no Brasil cresceu em mais de 365 mil GWh nas últimas quatro décadas e meia. A quantidade consumida passou de cerca de 23 mil GWh

em 1963 para quase 390 mil GWh em 2009. A participação mais importante nesse consumo, como descrito anteriormente, é do setor industrial, responsável por aproximadamente metade da quantidade consumida de energia, seguido dos setores residencial e comercial. O Gráfico 7 ilustra a evolução dos setores comercial, industrial e residencial de energia elétrica de 1963 até 2010.

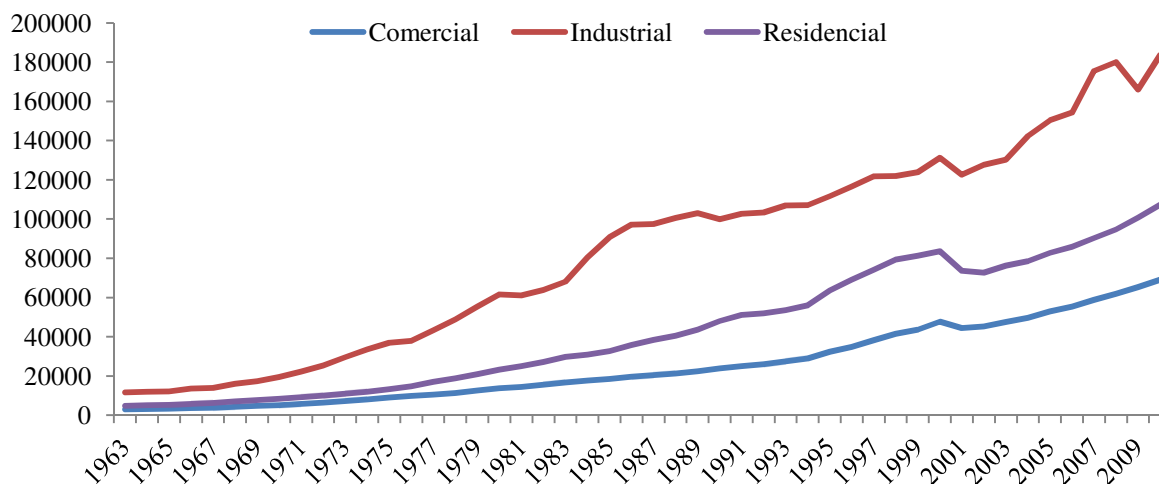


Gráfico 7 - Evolução do consumo de energia elétrica
 FONTE: IPEADATA (2011); Boletim SIESE/ELETROBRÁS

O consumo residencial total de energia elétrica passou de 21,4% do total consumido em 1963 para 25,9% em 2009. O setor industrial teve sua participação saindo de 51,1% e chegando em 42,7%, ao passo que o setor comercial teve um incremento na participação do consumo elétrico total passando de 13,5% para 16,9% no mesmo período. De modo conjunto, observa-se um decréscimo na participação relativa do setor industrial ao passo que ganham maior proporção o consumo residencial e comercial de energia elétrica.

O consumo comercial de energia elétrica cresceu à taxa média anual de 6,9% de 1963 até 2010, assim como o consumo residencial de energia elétrica, enquanto o consumo industrial cresceu à taxa média anual de 6,2%. O Gráfico 7 apresenta o comportamento anual dessas três classes de consumo energético.

Para o consumo residencial de energia elétrica, desde o período 1963-1969 já se nota um crescimento razoável de 8,2%, atingindo 10,5% nos anos 1970-1979, coincidindo com o chamado ‘milagre econômico brasileiro’. Ao longo dos anos, é possível observar o crescimento constante no consumo residencial de energia elétrica, mesmo nos anos 1980

(1980-1989), chamados ‘década perdida’ em função das diversas crises econômicas e sociais enfrentadas no país, a evolução na quantidade consumida de eletricidade mostrou grande dinamismo, crescendo mais de 7% ao ano. Na década de 1990 (1990-1999) observa-se nova redução nas taxas de crescimento do consumo energético residencial atingindo 6,5% em média. Chama atenção o comportamento sempre crescente da série para essa classe de consumo, que foi interrompido apenas em 2001 com o racionamento de energia, mas voltando à tendência de crescimento após 2003. Em decorrência desse acontecimento a taxa média de crescimento da década de 2000-2009 é reduzida para 2,3%, como se observa na Tabela 2.

Para o consumo comercial de energia elétrica observa-se um comportamento de crescimento similar ao consumo residencial, mas com taxas ligeiramente menores até a década de 1980-1989, quando essa tendência se inverte a partir de 1990-1999. A taxa de crescimento médio dos dois setores entre 1963 e 2010 é equivalente (6,9%). O comportamento da série, assim como do consumo residencial também é sempre crescente até 2001. Esta série apresenta o menor grau de variabilidade dos três setores de consumo. O desvio padrão da série comercial é 19.373 unidades de medida, ao passo que para a série residencial é 31.562 unidades de medida, e 51.629 unidades de medida para o setor industrial.

Tabela 2 - Taxas médias de crescimento anual do consumo de energia elétrica por setor

Período	Setor Comercial	Setor Industrial	Setor Residencial
1963-1969	7,8%	7,1%	8,2%
1970-1979	10,1%	12,4%	10,5%
1980-1989	6,0%	6,5%	7,6%
1990-1999	6,9%	1,9%	6,5%
2000-2009	4,2%	3,2%	2,3%
1963-2010	6,9%	6,2%	6,9%
2000-2001	-6,7%	-6,7%	-12,0%
2002-2003	5,0%	2,0%	4,8%
2008-2009	5,5%	-7,8%	6,4%
2009-2010	5,7%	10,6%	6,4%

FONTE: IPEADATA (2011); Boletim SIESE/ELETROBRÁS

Para o consumo industrial de energia elétrica observa-se uma taxa de crescimento médio de 6,2% entre 1963 e 2010. Esse setor chama atenção pela grande variabilidade apresentada pelo seu consumo. Grande parte dessa variabilidade pode ser explicada pela

maior vulnerabilidade do setor a variações no ambiente macroeconômico (SCHMIDT e LIMA, 2004) com a necessidade de aumento ou diminuição nos níveis de produção de acordo com a demanda por consumo da sociedade. É interessante notar que o crescimento no consumo desse setor sofre grandes abalos nos anos de 1981 (crise da dívida externa da América Latina), 1987 (crise do sistema de poupança e empréstimo dos EUA), 1990 (bolha especulativa japonesa), 1994 (crise econômica no México), 1998 (crise financeira Russa), 2001 (ano do apagão) e 2009 (crise das hipotecas nos EUA) (WIKIPÉDIA, 2011), coincidindo com as grandes crises financeiras mundiais, exceto pelo ano de 2001. O Gráfico 8 ilustra as taxas de crescimento anual do consumo de energia elétrica para os setores comercial, industrial e residencial.

Observa-se na Tabela 2 grande impacto do racionamento de energia elétrica na quantidade consumida entre 2000-2001 e 2001-2002, atingindo inclusive taxas negativas de crescimento. Esse resultado afeta inclusive a taxa média de crescimento na década de 2000-2009, registrando 4,2%, 3,2,% e 2,3%, para os setores comercial, industrial e residencial respectivamente, bem abaixo de seus valores na série histórica até 2000. A partir de 2003 já se nota a recuperação da demanda com 5,0%, 2,0% e 4,8% para esses setores em ordem. Observa-se que o setor residencial teve maior redução de consumo com o racionamento (12,0% no ano de 2000-2001) comparado com a dos setores comercial e industrial (-6,7% para o mesmo ano).

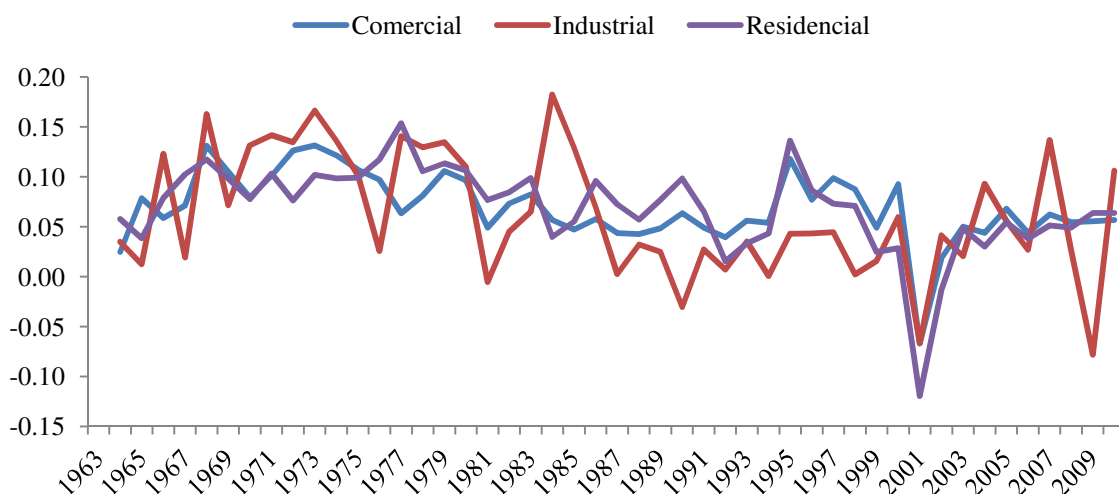


Gráfico 8 - Taxa média de crescimento do consumo energético por setor
 FONTE: IPEADATA (2011); Boletim SIESE/ELETRABRÁS

Com a crise das hipotecas nos EUA de 2008-2009 conhecida pelo desdobramento após a quebra do banco de investimento *Lehmans Brother* e outras grandes instituições financeiras conhecida como ‘crise dos *subprimes*’, o consumo de energia elétrica no Brasil entrou em queda para setor industrial (redução de 7,8% na taxa de crescimento anual). Os setores comercial e industrial em contraste mantiveram suas taxas de crescimento estáveis (5,5% e 6,4% respectivamente). Em 2009-2010 o setor que apresentou maior taxa de crescimento foi o industrial, que saiu de -7,8% no ano anterior para 10,6%. Os setores comercial e residencial mantiveram valores de crescimento similares ao do período anterior (5,7% e 6,4% respectivamente).

Andrade e Lobão (1997) atribuem os incrementos na demanda residencial de energia elétrica à crescente entrada de aparelhos eletrônicos nas residências, aumentando o estoque total dos mesmos, associada a uma maior taxa de utilização dos mesmos. Argumenta-se que a queda ocorrida no preço médio real dos aparelhos domésticos de 1963 até 1995 contribuiu para esse comportamento da série. Outro fator citado pelos autores para justificar tal crescimento da quantidade consumida de energia elétrica ao longo dos anos no Brasil é o crescimento do PIB real *per capita* associado à intensificação do uso da eletricidade como decorrência do aumento da renda familiar (SCHMIDT e LIMA, 2004, ANDRADE e LOBAO, 1997). Um terceiro elemento citado para justificar tal crescimento é a redução dos valores médios reais da tarifa residencial de energia elétrica. Por motivos políticos, a tarifa pelos serviços energéticos tem sido mantida em níveis baixos, o que acabou contribuindo para a rápida expansão do setor e sua difusão para a quase totalidade da população brasileira (MELLO, 1999).

2.4 Estudos sobre demanda de energia elétrica

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica inicial dentro das publicações listadas pela coleção eletrônica www.sciencedirect.com, que agrega mais de 1.800 revistas científicas da editora Elsevier. A coleção contém mais de 10 milhões de artigos nas áreas científica, tecnológica e médica, e representa aproximadamente 25% da produção científica mundial (ELSEVIER, 2011). Adicionalmente, consultaram-se referências nacionais sobre o consumo de energia elétrica e algumas fontes citadas nesses artigos. Ao todo, levantaram-se 159 estudos

relacionados à previsão do consumo de energia elétrica considerando o enfoque quantitativo no período de 1975 a 2011. Esses artigos são no geral aplicações de modelos de séries temporais (modelos ARIMA e modelos de alisamento exponencial, dentre outros.) ou aplicações de modelos causais (modelos de regressão linear múltipla, modelos de inteligência artificial, dentre outros). O Quadro 1, apresentado no Apêndice, contém os estudos pesquisados, autores, datas de publicação, períodos de extensão dos dados, regiões de estudo, variáveis preditas, variáveis preditoras e modelos ajustados.

Foram consultados estudos desenvolvidos nos EUA (BADRI, 1992; BERG e LOUNGANI, 1990; CHERN e BOUIS, 1988), União Européia (BESSE e FOUQUAU, 2008; COLLARD *et al*, 2005; PILLI-SIHVOLA *et al*, 2010), Turquia (SARI e SOYOTAS, 2004; AKAY e ATAK, 2007), Índia (BOSE e SHUKLA, 1999; GHOSH, 1999), México (FLORES *et al*, 2004), Ásia (GLASURE e LEE, 1997; YUAN *et al*, 2007) e países do continente africano (WOLDE-RUFAEL, 2006; ZIRAMBA, 2008).

Os modelos de previsão da demanda de energia elétrica podem ser divididos basicamente em duas classes de metodologias: modelos causais e modelos de séries temporais e com variáveis exógenas.

2.4.1 Estudos com modelos causais

Modelos causais apresentam a vantagem de fornecer uma compreensão do relacionamento da variável predita com as variáveis preditoras selecionadas ao passo que modelos de séries temporais modelam a variável em estudo com base apenas em seus valores defasados (GUJARATI, 2006). Modelos causais são utilizados para a previsão da demanda por energia elétrica por meio do ajuste de regressão linear múltipla com a possibilidade da utilização de dados em painéis.

Um método recorrentemente citado para estimar a demanda por energia elétrica derivado de modelos de regressão linear múltipla é a utilização de modelos de VAR, Vetores Autoregressivos. O objetivo é desenvolver estudos dinâmicos com o mínimo de restrições nos quais todas as variáveis sejam tratadas como endógenas. Exemplos destes estudos no Brasil são os trabalhos de Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004) e Siqueira e Holanda (2005). Nesses modelos, assim como nos demais modelos causais, é comum a

utilização de cenários para obter os valores das variáveis preditoras (SIQUEIRA *et al*, 2006).

Outras metodologias causais que podem ser utilizadas com intuito de estimar a demanda por energia elétrica são: regressões com base em algoritmos genéticos, como feito por Ceylan e Ozturk (2004), que estimaram o consumo de energia na Turquia com base no tamanho populacional, no PIB e no volume de exportações e importações daquele país; aplicação de redes neurais artificiais, como feito por Azadeh *et al* (2008), que estimaram as quantidades consumidas de energia elétrica em cada setor da economia Iraniana; e algoritmos com base na lógica *fuzzy*, como feito por Kucukali e Baris (2010), que estimaram o consumo turco de energia elétrica com base apenas no PIB do país.

Em estudos empíricos, a conveniência computacional e a facilidade de interpretação dos parâmetros são diretrizes comuns na determinação de uma forma funcional específica com objetivos de efetuar estimativas e testes. Focos chave na interpretação de modelos econométricos são os efeitos marginais de curto e longo prazo e o cálculos das elasticidades de cada variável preditora. Duas formas funcionais que providenciam informações úteis são as formas lineares e log-lineares de modelos de regressão.

A característica chave do modelo log-linear é que tanto a variável predita quanto as preditoras são expressas em logaritmos, o que produz elasticidades constantes. Por elasticidade entende-se, de forma geral, a variação percentual em uma variável dependente Y correspondente a dada variação percentual em uma variável independente X (GUJARATI, 2006). O estudo das elasticidades no setor energético foge ao escopo do presente trabalho e será omitido nas sessões seguintes.

Um dos primeiros estudos desenvolvidos no campo de previsão da demanda de energia elétrica no Brasil foi conduzido por Modiano (1984) com intuito de estudar a relação entre preço da energia elétrica, renda dos consumidores e consumo energético. O autor utiliza uma base de dados anuais, reunindo informações de 1963 até 1981. Analisam-se os setores residencial, comercial e industrial pelo método dos mínimos quadrados com correção da correlação serial através do método de Corchranne-Orcutt. Como principais conclusões pode-se enumerar que o consumo seria mais influenciado por variações de renda do que

das tarifas aplicadas, e que a influência de ambos os fatores é maior no longo prazo comparado ao curto prazo.

Andrade e Lobão (1997) também trabalharam o tema de consumo de energia elétrica e sua relação com a renda dos consumidores e o preço da energia elétrica. O período analisado foi de 1963 até 1995 com dados anuais para o setor residencial. As análises foram baseadas no efeito de variações na renda e no preço da demanda agregada residencial de energia em moldes similares aos executados por Modiano (*op. cit.*). Foram utilizados os métodos de estimação de MQO, Mínimos Quadrados Ordinários; estimação de VI, Variáveis Instrumentais, do tipo ‘dois estágios’, com o intuito de corrigir possíveis vieses gerados pela estimação direta dos MQO; e modelagem do VAR, Vetor Autoregressivo, sob a representação do VEC, Vetor de Correção de Erro. Como principais resultados observa-se que as variáveis relativas à renda e ao preço apresentam maior influência sobre o consumo no longo prazo do que no curto prazo. Os coeficientes encontrados nos três modelos são consistentes e apresentam valores similares. Destaca-se desse estudo sua contribuição como atualização da literatura, sendo que ajuda a sedimentar alguns dos métodos utilizados previamente por Modiano (*op. cit.*) e insere uma nova variável para o consumo residencial de energia elétrica: o preço dos equipamentos domésticos. As previsões de consumo de 1997-2005 são mais precisas do que as apresentadas pela Eletrobrás em seu plano decenal de expansão 1995-2005 (a julgar pelas medidas de acurácia RMSE, *Root Mean Square Error*, e MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*), entretanto ficam defasadas a partir do ano 2001 devido aos efeitos inesperados do racionamento de energia.

Algumas idéias interessantes geradas pela pesquisa no setor são levantadas por Schmidt e Lima (2004). Observa-se que para o setor residencial, o impacto de variações no preço de eletrodomésticos no longo prazo é maior que o impacto em variações no preço da energia elétrica. Para o setor industrial a variável preço da energia elétrica não é significativa ao nível descritivo de 0,05, ao passo que a variável renda tem uma influência maior neste setor do que nos demais.

Siqueira *et al* (2006) se preocuparam com o problema do racionamento de 2001-2002 e seus impactos sobre as projeções da demanda de energia elétrica. Em função do racionamento, se formam quebras estruturais na relação entre a renda dos consumidores, o preço da energia elétrica e a demanda energética, problema esse superado pela adoção de

estimativas através do método dos MQO2E, Mínimos Quadrados Ordinários em Dois Estágios. Os autores utilizam dados anuais de 1970-2003 para a região Nordeste obtendo previsões para os anos de 2004 a 2010.

Irffi *et al* (2009) estudaram a demanda de energia elétrica para as classes comercial, industrial e residencial para a região Nordeste brasileira. Os autores utilizaram dados anuais de 1970 até 2003 e escolherem o método DOLS, *Dynamic Ordinary Least Squares*, elaborando previsões para os anos de 2004 até 2010. A base de dados utilizada foi a mesma construída por Siqueira *et al* (2006), efetuando-se apenas mudanças quanto à metodologia de estimação das equações de demanda.

Em nível internacional é relevante citar alguns trabalhos, como o estudo de Donatos e Mergos (1991) que utilizaram métodos elaborados como testes da raiz unitária, DOLS e VAR. Os autores estimaram a demanda residencial de energia elétrica na Grécia envolvendo modelos para curto e longo prazo para dados anuais de 1961 até 1986. De forma similar aos estudos publicados no Brasil, a influência da renda dos consumidores é maior que o preço da energia elétrica sobre sua demanda. Foi encontrada uma relação significativa, porém pequena entre preço de bens alternativos (combustíveis); coeficiente de dias quentes; e vendas de eletrodomésticos com a demanda por energia elétrica.

Silk e Joutz (1997) estudam a demanda por energia elétrica nos Estados Unidos com dados anuais de 1949 até 1993. Os autores utilizam o método da cointegração e vetores autoregressivos na tentativa de distinguir efeitos de longo e curto prazo das variáveis explicativas do modelo. Foram incluídos no modelo - além das variáveis relativas ao preço e à renda - um coeficiente para dias muito quentes, um coeficiente para dias muito frios, o preço de combustíveis fósseis como bens substitutos, o preço de produtos eletrodomésticos e uma variável *dummy* para o ano de 1964 para retratar a política fiscal do governo da época, que retirou impostos que existiam sobre a compra de produtos eletrodomésticos, o que veio a afetar positivamente a demanda.

Akmal e Stern (2001) estudam a demanda residencial de energia elétrica, gás natural, e outras fontes de energia para a Austrália, cobrindo o período do terceiro trimestre de 1969 até o segundo trimestre de 1998. É estimado um modelo VAR, encontrando evidências que

a energia elétrica e o gás natural são produtos substitutos. A demanda por gás natural mostra-se mais afetada por variações no preço da energia elétrica do que pelo próprio preço do gás natural.

Saed (2004) estuda a demanda por energia na Jordania. É estimado um modelo VAR com dados anuais de 1980-1999. Os resultados apontam que o consumo de energia elétrica no país não está relacionado ao preço, mas está relacionado com a renda dos consumidores.

Zachariadis e Pashourtidor (2007) estudaram a demanda energética da ilha de Cyprus. Observa-se que a localidade não possui recursos de geração de energia elétrica além do potencial de biomassa e geração de energia via solar e eólica, sendo quase completamente dependente (em torno de 95%) da importação de petróleo do exterior para seu abastecimento de energia elétrica. Os autores utilizaram dados anuais de 1960 a 2004 analisando o impacto das variáveis: renda, tarifa da energia e tempo (dias muito quentes e muito frios) sobre a demanda de energia elétrica na ilha. Foram utilizados modelos de cointegração e vetores de correção de erros encontrando indícios que as variações na renda dos consumidores produzem efeitos maiores sobre o consumo do que variações no preço da energia elétrica. No curto prazo a demanda é mais afetada por variações climáticas do que pelas demais variáveis macroeconômicas.

2.4.2 Estudos com modelos de séries temporais e com variáveis exógenas

Modelos de séries temporais têm a vantagem de encontrar padrões de comportamento dentro da própria série. Eles apresentam a capacidade de identificar tendências, sazonalidade e ciclos no fenômeno estudado, características que nem sempre são captadas com a utilização de modelos causais.

Podem ser usadas metodologias baseadas em: alisamento exponencial, como feito por Assimakopoulos e Psarras (1992), os quais estudaram os picos de consumo de eletricidade mensal na Grécia com uso das componentes da equação de alisamento exponencial; Modelos de Box & Jenkins ou ARIMA, como feito por Saab *et al* (2001), que estudaram o consumo mensal de energia elétrica no Líbano; Modelos GPRM, *Grey Prediction with Rolling Mechanism*, como utilizado por Akay e Atak (2007) para estimar o consumo total e industrial de energia elétrica na Turquia; e modelos AR ou ARIMA com a inclusão de

variáveis exógenas, como feito por Bakhat e Rosello (2011) para estimar o consumo diária de energia elétrica na Ilhas Baleares.

Pao (2006) modela o consumo de energia elétrica para o período de Janeiro de 1990 até Dezembro de 2002 para Taiwan a partir de quatro metodologias distintas: redes neurais artificiais; regressão linear múltipla; modelos ARMA e modelos ARMAX. Ao comparar os resultados obtidos nas previsões efetuadas nas amostras de teste, identificam-se os modelos ARMAX como tendo os ajustes mais acurados (segundo os critérios RMSE e MAPE) entre os modelos lineares. Os modelos feitos com base na metodologia de séries temporais apresentam resultados mais acurados em termos preditivos do que os resultados obtidos com modelos lineares, devido possivelmente à maior sofisticação destes modelos. Os modelos lineares também se mostram menos eficientes em detectar picos e vales de consumo na série histórica. Os resultados obtidos pelos modelos lineares, entretanto, apresentam maior facilidade de interpretação de seus coeficientes, indicando relações entre as variáveis de cada modelo, ao passo que os modelos de redes neurais podem ser usados basicamente para efetuação de previsões.

Ediger e Akar (2007) estudam o consumo de energia de forma geral na Turquia. Os autores utilizam dados anuais de 1950 a 2003 para 12 diferentes tipos de matérias-primas utilizadas na geração de energia e fazem previsões do consumo até o ano 2020. São utilizados modelos ARIMA e SARIMA. Os resultados mostram que os combustíveis fósseis continuarão tendo um papel de destaque na geração de energia da Turquia. O consumo de gás natural irá ultrapassar o consumo de óleo diesel em 2012 e irá responder por mais de 40% do mix energético do país em 2020. Isso deixa o país numa posição de dependência desse insumo produtivo, situação agravada em consequências econômicas e políticas devido à demanda por esse combustível ser atendida majoritariamente por importações.

Pappas *et al* (2008) aplicam a metodologia de Box & Jenkins para estimar modelos ARMA com intuito de prever o consumo de energia elétrica na Grécia. Os autores retiram a sazonalidade dos dados de consumo diário de energia elétrica e aplicam o modelo ARMA para o período de Janeiro de 2004 a Dezembro de 2005.

Abreu e Sant'anna (2009) estimam o consumo de energia elétrica no Brasil por classes. São ajustados modelos para as classes de consumo residencial, comercial e industrial, com dados mensais do período entre os anos 2003 e 2008 a partir de regressões lineares múltiplas. A partir dos resultados obtidos na regressão, é adicionado um termo autoregressivo de ordem 1, AR(1), para melhorar o ajuste do modelo.

Castro e Montini (2010) estimam o consumo residencial de energia elétrica através de um modelo ARX. O consumo é estimado em função da tarifa da energia elétrica, do rendimento mensal habitual médio de regiões metropolitanas e do índice de preços de bens duráveis. As variáveis preditoras e a variável predita são incluídas em até 4 unidades de tempo defasadas. São utilizadas observações mensais de Janeiro de 2003 a Dezembro de 2009 para construção dos modelos. Os autores realizam previsões para os meses de Janeiro e Fevereiro de 2010.

Gabreyohanes (2010) trabalha o consumo de energia elétrica na Etiópia por meio de modelos não-lineares, mais especificamente os modelos SETAR, *Self-exciting Threshold Autoregressive*, e STR, *Smooth Transition Regression*. Para efeito de comparação o autor também estima um modelo linear similar, um modelo autoregressivo com inclusão de variáveis exógenas (ARX). Os dados da amostra cobrem o período de Julho de 1984 a Junho de 2002. Conclui-se pelo estudo que o modelo SETAR apresenta melhor ajuste aos dados com base na variância explicada dos dados amostrais. Encontram-se dependências significativas do consumo de energia elétrica no período de tempo atual em relação ao consumo em períodos de tempo defasados. Observa-se também que os efeitos da tarifa no consumo de energia elétrica são insignificantes no mesmo período de tempo, mas se tornam significativos em intervalos de tempo defasados em três e quatro meses.

Pilli-Sihvola *et al* (2010) abordam a questão das mudanças climáticas e seus impactos no consumo de energia elétrica. Os autores examinam o impacto que o aquecimento climático gradual tem exercido em países selecionados no norte e sul da Europa e posteriormente calculam os custos que deveriam ser repassados aos consumidores em decorrência das transferências financeiras feitas no mercado de créditos de carbono. Os coeficientes estimados no modelo ARX com dados mensais de 1985 até 2008 são utilizados para calcular os impactos que mudanças de temperatura nos períodos de 2008 a 2050 terão no

consumo de energia elétrica, fornecendo previsões para os cinco países tomados como amostra (Finlândia, Alemanha, Holanda, França e Espanha).

Bakhat e Rosello (2011) estimam o consumo de energia elétrica para as Ilhas Baleares entre Janeiro de 2005 e Setembro de 2009. O foco dos autores é identificar o peso que a atividade turística exerce sobre a demanda de energia elétrica. Os autores concluem que o setor turístico não pode ser considerado um setor intensivo na utilização desse recurso. É aplicado um modelo ARMA de séries temporais com a inclusão das variáveis exógenas: índice de temperatura, número de habitantes, número de turistas e variáveis *dummy* para os dias da semana e para os meses analisados. Os resultados da pesquisa apontam que o consumo de energia elétrica é mais sensível a aumentos no número de habitantes do que no número de turistas.

2.4.3 Fatores determinantes da demanda de energia elétrica

Para Schmidt e Lima (2004), a demanda por energia elétrica no setor residencial pode ser, em princípio, descrita como um problema de maximização de utilidade sujeita a uma restrição orçamentária, ao passo que as demandas comercial e industrial poderiam ser mais bem descritas como um problema de minimização de custos, sujeito a um determinado nível de produção. Entretanto, como a demanda por eletricidade para qualquer uma das três classes mencionadas é derivada das necessidades do indivíduo ou empresa fazer um aparelho elétrico ou máquina funcionar, o consumo de energia elétrica pode ser interpretado como fator participante de processos ou atividades produtoras de bens. Assim, mesmo para o caso residencial, o segundo modelo também é aplicável.

Algumas premissas são utilizadas para elaborar seu modelo de consumo de energia elétrica:

- a) Para consumidores já ligados à rede de distribuição, assume-se que a total quantidade de energia elétrica demandada é fornecida de forma efetiva. Em outros termos, assume-se que, de forma geral ou para grande parte dos consumidores, admite-se que não existem problemas relacionados à demanda reprimida e que a oferta do setor é infinitamente elástica. Atendendo a essa premissa, pode-se utilizar a quantidade de

energia elétrica consumida como uma aproximação adequada para a quantidade demandada;

- b) O comportamento da demanda ao longo do tempo seria influenciado por variáveis macroeconômicas que estão relacionadas positivamente ou negativamente ao consumo energético, de modo que um modelo causal geral para estimar a demanda de energia pode ser estimado pela Expressão (1):

$$D = f(P, Y, S, L, T, N), \quad (1)$$

em que

D é a demanda de energia elétrica;

P é o preço da energia elétrica;

Y é a renda dos consumidores;

S é o preço de bens substitutos;

L é o estoque de bens complementares;

T são as condições climáticas;

N é o número de consumidores.

Observa-se que tais variáveis podem ser incluídas no modelo tanto em nível quanto defasadas uma ou mais unidades de tempo. Como trata Gujarati (2006), na economia, a relação entre uma variável predita e uma variável preditora raramente é instantânea, podendo a variável predita reagir aos estímulos exógenos após certo período de tempo. Os motivos para tal fenômeno podem ser:

- a) Psicológicos: por motivo da força do hábito as pessoas não alteram instantaneamente seus padrões de consumo após uma queda de preços ou um aumento de renda e, ademais, o consumidor não sabe se a mudança nas condições de mercado é permanente ou transitória, agindo com parcimônia em períodos de mudança;
- b) Tecnológicos: a capacidade produtiva não pode ser alterada instantaneamente, ficando restritos aumentos na produção a limitações estruturais da indústria instalada e, além disso, o mesmo fator de insegurança quando ao futuro das condições de mercado pode ser aplicado no caso da produção industrial;
- c) Institucionais: obrigações contratuais podem evitar a mudança do consumo de fonte energética, mesmo que seja mais vantajoso no momento imediato. Vários estudos

podem ser citados por utilizarem variáveis defasadas em seus modelos (CASTRO e MONTINI, 2010; GHOSH, 2009; WOLDE-RUFAEL, 2006).

Observa-se também que é possível a inclusão de variáveis *dummies* no modelo com intuito de estimar os efeitos de determinados acontecimentos estruturais, como crises econômicas ou grandes eventos como olimpíadas, dentre outros. Essas variáveis são chamadas de variáveis nominais ou variáveis binárias, assumindo valores de 1 ou 0 de acordo com a ocorrência ou não de determinado evento. Atakhanova e Howie (2007) utilizam variáveis *dummies* para evitar os efeitos causados pela crise de 1998. Bakhat e Rosselló (2011) utilizam variáveis *dummies* para indicar os finais de semana quando ocorre um pico no consumo energético diário. Besse e Fouquau (2008) utilizam uma variável *dummy* para o mês de Agosto, quando ocorrem picos no consumo energético em países europeus, principalmente devido à necessidade maior de gastos com aquecimento residencial. A seguir é descrito cada um dos termos da função demanda de energia elétrica.

2.4.3.1 Preço da energia elétrica

O consumo de energia elétrica, na maioria das vezes, apresenta relação inversa ao preço de aquisição, ou seja, à tarifa praticada pelas concessionárias. Esta relação é similar a outras funções preço e demanda. Quanto maior o valor da tarifa cobrada pelas concessionárias, menor será o consumo de energia elétrica.

As tarifas para o consumo de energia elétrica, de forma histórica, tiveram um aumento considerável na década 1970 considerando os anos anteriores. Os maiores aumentos ocorreram entre os anos 1971 e 1974 e, a partir de então, apresentaram perda real progressiva até os anos 1990 para os setores industrial, comercial e residencial, quando deram um pequeno salto, mantendo-se um pouco a cima dos valores reais de 1963. A partir de 1990 observa-se um aumento real nas tarifas do setor residencial paralelamente a uma leve queda nos demais setores (SCHMIDT e LIMA, 2004).

Como apresentada nos estudos de Schmidt e Lima (2004) e Andrade e Lobão (1997), a influência da variável preço sobre a demanda de energia elétrica é baixa tanto nos setores

residencial e comercial quanto no industrial, com tendência a apresentar maior impacto sobre a demanda no longo prazo do que no curto prazo.

Irffi *et al* (2009), assim como Schmidt e Lima (2004), ao comparar a influência da variável preço sobre o consumo de diferentes setores, encontraram maiores magnitudes para o setor comercial, seguido do setor industrial e por último pelo setor residencial. Pode-se argumentar que o consumo industrial de energia elétrica é mais dependente do preço da tarifa para regular seu consumo, considerando a maior facilidade de substituição desta energia elétrica por fontes alternativas de energia como queima de combustíveis fósseis (SCHMIDT e LIMA, 2004).

2.4.3.2 Renda dos consumidores

O consumo de energia elétrica apresenta relação direta com a renda dos consumidores, similar a outras funções renda e demanda em geral. Quanto maior o valor da renda dos consumidores, maior será o consumo de energia elétrica.

Diferentemente da tarifa, a renda dos consumidores de energia elétrica pode ser estimada a partir de diferentes estatísticas, como PIB, salário mínimo nominal ou real, média de rendimentos dos trabalhadores com carteira assinada, dentre outras. Estas estatísticas são adotadas como *proxies* da renda dos consumidores de energia elétrica.

Como apresentada nos estudos de Irffi *et al* (2009), Schmidt e Lima (2004) e Andrade e Lobão (1997), a variável renda tem alta influência sobre o consumo energético, tanto nos setores residencial e comercial quanto no industrial, com tendência a apresentar maior impacto sobre a demanda no longo prazo do que no curto prazo.

Irffi *et al* (2009), assim como Schmidt e Lima (2004), encontram maior influência da variável renda sobre o consumo para o setor industrial, seguido do setor comercial e por último do setor residencial. Observa-se que a variável renda tem maior impacto sobre o consumo energético do que a variável preço (IRFFI *et al*, 2009).

2.4.3.3 Preços de bens substitutos

O consumo de energia elétrica, de acordo com a teoria econômica, apresenta relação direta com os preços de fontes de energia alternativas, similar a outras funções de preços de produtos substitutos e demanda. Quanto maior o preço das fontes de energia alternativas, maior será o consumo de energia elétrica.

Exemplos de fontes alternativas de energia elétrica utilizados em estudos de demanda de energia seriam: óleo diesel (DONATOS e MERGOS, 1991), gás natural (SILK e JOUTZ, 1997), derivados do petróleo (AL-FARIS, 2002), carvão (ATAKHANOVA e HOWIE, 2007) e querosene (HALVORSEN e LARSEN, 2001), dentre outros.

Argumenta-se que o efeito do preço de bens alternativos seria pequeno para a substituição do consumo de energia elétrica devido às restrições dos consumidores em efetuar essas substituições e à dinâmica do setor. Zachariadis e Pashourtidor (2007) não encontraram evidências da significância da elasticidade-preço de bens alternativos para a demanda elétrica residencial, argumentando que o consumo de energia elétrica e dos aparelhos eletrodomésticos é dificilmente substituível por outras fontes de energia, com exceção do aquecimento do ambiente. Silk e Joutz (1997), estudando o consumo residencial de energia elétrica nos Estados Unidos, também não encontram evidências da significância de preços de bens alternativos.

Schmidt e Lima (2004), estudando o setor industrial de consumo de energia elétrica, encontraram evidências de que o IPA-OG, Índice de Preços no Atacado – Oferta Geral, referente a combustíveis e lubrificantes, mostra-se significativa como índice de bem alternativo ao consumo de energia elétrica, indicando possíveis diferenças entre setores. Irffi *et al* (2009), utilizando a mesma variável, entretanto em estudo específico para a região Nordeste, identificaram que a demanda por energia elétrica naquela parte do Brasil é pouco dependente dos preços de bens alternativos. Silk e Joutz (1997) argumentam que a disponibilidade, e não os preços, é relevante na substituição de combustíveis como gás natural por eletricidade, citando o mercado inglês e suas diferentes regiões como exemplos.

2.4.3.4 Estoque de bens complementares

Consideram-se bens complementares ao consumo de energia elétrica aqueles que a demandam para seu funcionamento. De forma similar a outras funções de demanda de bens complementares, a demanda de energia elétrica apresenta relação direta com o estoque desses bens. No caso do consumo residencial de energia elétrica, a variável mais utilizada nessa categoria é o estoque de eletrodomésticos de determinada localidade. Quanto maior o estoque de eletrodomésticos, maior será o consumo de energia elétrica. De modo genérico, quanto mais utilidades domésticas existem, como sistemas de aquecimento/resfriamento, linha branca e televisores, mais energia é demandada para usufruto dessas facilidades.

A mensuração do estoque de eletrodomésticos pode ser feita de algumas formas distintas. Flaig (1990) e Halvorsen e Larsen (2001) utilizam pesquisas amostrais e contabilizam diretamente quantos aparelhos domésticos existem nos domicílios como, por exemplo, número de aparelhos televisores e máquinas de lavar roupas, mas nem sempre esse tipo de informação está disponível para unidades de tempo mais compactadas, como em meses, principalmente devido aos custos relacionados à coleta de dados. Variáveis alternativas podem ser utilizadas como *proxies* do estoque de eletrodomésticos, como o número de aparelhos vendidos no último período de tempo (DONATOS e MERGOS, 1991) ou, como é mais comumente aplicado, um índice de preços para aparelhos eletrodomésticos que indica seus preços no mercado varejista (IRFFI *et al*, 2009; SIQUEIRA *et al*, 2006; ANDRADE e LOBÃO, 1997; SCHMIDT e LIMA, 2004).

Para o consumo comercial e industrial de energia elétrica, substitui-se o uso de eletrodomésticos por máquinas, aparelhos eletrônicos e bens intermediários. Nestes dois setores, o uso de energia elétrica é um insumo de produção, sendo que, quanto maior a capacidade instalada, maior o consumo elétrico. No Brasil os estudos de Abreu e Sant'Anna (2009) e Schmidt e Lima (2004) utilizam a variável IPA-EP, Índice de Preços no Atacado – Estágios de Processamento, que se refere a bens finais, máquinas e equipamentos industriais para mensurar o consumo industrial, e a variável IPA-OG material elétrico para o consumo comercial de energia elétrica.

Quanto menor o preço dos eletrodomésticos, maior a quantidade comprada destes e, por consequência, maior o consumo de energia elétrica. Schmidt e Lima (2004) operacionalizam essa variável no Brasil através do IPA-OG, assim como Irffi *et al* (2009),

Andrade e Lobão (1997) e Siqueira *et al* (2006). Quanto maior o custo de aquisição de novos aparelhos eletrodomésticos, menor será o crescimento do estoque total.

Um modo alternativo de captar o efeito do estoque de eletrodomésticos é apresentado por Silk e Joutz (1997) que utilizam a taxa de juros para aquisição de novas residências. Espera-se que, quanto menor esta taxa, maior a propensão das pessoas constituírem novos lares, e por consequência, adquirirem novos aparelhos eletrodomésticos para compor a casa.

Observa-se que, no caso da variável renda, seus efeitos sobre o consumo são aferidos de forma direta e indireta sobre o consumo de energia elétrica (ANDRADE e LOBÃO, 1997). O impacto direto é provocado pelos aumentos na renda do consumidor, que em teoria se traduzem em aumentos no consumo de energia elétrica. O impacto indireto é provocado também pelos aumentos na renda do consumidor, que em teoria se traduzem em aumentos no estoque de bens complementares. Em outros termos, uma maior renda permite tanto uma maior taxa de utilização de bens complementares quanto o crescimento no estoque destes, ambos contribuindo para um aumento na quantidade demandada de eletricidade.

2.4.3.5 Condições climáticas

O consumo de energia elétrica é também influenciado por variações climáticas. Alguns indicadores podem ser utilizados para captar o termo ‘condições climáticas’, como por exemplo: média de temperatura bruta, sem nenhuma transformação (HEKKENBERG *et al*, 2009), que pode captar tanto os efeitos causados por frio extremo quanto por calor extremo; índices de temperatura, indicando o quanto ela excede para mais ou para menos um determinado limite (HOLTEDAHL e JOUTZ, 2004), que capta as mesmas condições da variável anterior, entretanto não mistura resultados de características diferentes no mesmo indicador, formando um indicador para cada tipo de temperatura limite; nível de radiação solar (LAM *et al*, 2008), relacionada à sensação de calor durante o dia; velocidade do vento (*op. cit.*), relacionada à amenização da sensação térmica; nível de claridade da luz do dia (*op. cit.*), correlacionada com a quantidade de iluminação necessária e seu gasto energético decorrente; umidade relativa do ar (WANGPATTARAPONG *et al*, 2008), correlata com a amenização da sensação térmica; índice pluviométrico (*op. cit.*); pressão

atmosférica (BECCALI *et al*, 2008); índice para quantidade de cobertura de nuvens (LAN, 1998); índice para entalpia latente (*op. cit.*), dentre outros.

As condições de temperatura podem afetar de modo crítico o uso de eletricidade, apesar de nem todo estudo econométrico do assunto inserir essa variável na modelagem. No Brasil, com altas amplitudes térmicas, variando principalmente em função da região geográfica, existem verões com altas temperaturas e invernos com existência até de neve. A variável temperatura apresenta dificuldade de operacionalização como simples média contínua dessas temperaturas. Uma possível solução seria a criação de índices para temperaturas acima ou abaixo de determinado limite.

Zachariadis e Pashourtidor (2007) utilizam as temperaturas de corte 18° C e 22° C como referências realísticas para a ilha de Cyprus. Uma temperatura acima ou abaixo desses limites expressa a necessidade de climatização do ambiente. O uso de equipamentos de ar-condicionado ou de aquecedores residenciais é um exemplo do consumo de energia decorrente da variação de temperatura.

No Brasil, existe um aumento nos níveis de consumo no verão, principalmente no mês de Fevereiro em decorrência do aumento da temperatura. Os maiores aumentos de consumo acontecem no setor residencial e no comercial. Para o caso do setor comercial, esse consumo é reflexo da intensificação do fluxo turístico nessa época do ano, tanto na rede hoteleira quanto nos centros de compra de forma geral. Para o caso residencial a maior utilização da energia elétrica é decorrência da intensificação do uso de aparelhos de climatização e refrigeração (EPE, 2006).

2.4.3.6 Número de consumidores

O número de consumidores também afeta o volume total demandado de energia elétrica e a base de consumidores. Quanto maior o número de consumidores, maior a demanda total, entretanto, esse tipo de variável não é amplamente inserida nos estudos relacionados ao comportamento da demanda devido a problemas de alta correlação com outras variáveis independentes (DONATOS e MERGOS, 1991).

Donatos e Mergos (1991) operacionalizam essa variável através do número total de consumidores registrados pelas distribuidoras de energia elétrica. Silk e Joutz (1997), que utilizam uma variável que identifica a taxa de retorno de hipotecas nos EUA argumentando que, quanto menores tais taxas, maior a propensão a compra de novas casas e maior a quantidade de unidades de consumo de eletricidade. Amjadi *et al* (2010) utilizam além do número total de consumidores de eletricidade registrados, o tamanho populacional do Irã ao longo dos anos 1980 até 2000.

Apesar de apresentar alta correlação com outras variáveis explicativas, alguns autores utilizam também a variável ‘tamanho populacional’ ou variáveis similares como ‘quantidade recebida de turistas’ em determinada localidade num período de tempo específico (EGELIOGLU *et al*, 2001) ou ‘número de empregados na indústria’ (FLORES *et al*, 2004), entretanto fazem uso de modelos de previsão de demanda menos comuns na literatura.

2.4.4 Sazonalidade no consumo energético

Sazonalidade pode ser definida como a propriedade de determinadas séries temporais de apresentar comportamentos cíclicos ou periódicos. O consumo de energia elétrica no Brasil é fortemente afetado por variações sazonais causadas principalmente por variações climáticas e pela ocorrência de férias periódicas (EPE, 2006).

O estudo da sazonalidade do consumo de energia elétrica é relevante devido ao preço da energia elétrica no mercado atacadista ser determinado, em grande parte, pela sua escassez de oferta e a capacidade de transporte entre as unidades geradoras e os centros de consumo (OLIVEIRA *et al*, 2000).

De acordo com Oliveira *et al* (2000), o setor industrial brasileiro aumenta seu consumo energético nos meses da primavera (Setembro, Outubro e Novembro) como mecanismo de preparação de estoques para o período natalino, sendo que o vale ocorre nos meses de verão. O setor comercial aumenta seu consumo energético nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, devido ao aumento de temperatura e a incidência do período de férias escolares. O vale ocorre nos meses de Junho, Julho e Agosto, os mais frios do ano. Os

níveis de atividade econômica (compras, turismo, festas em geral) são uma possível variável explicativa tanto do pico quanto do vale para o consumo energético desse setor. O setor residencial aumenta seu consumo energético nos meses do verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) devido aos aumentos de temperatura e a maior taxa de utilização de eletrodomésticos e aparelhos de refrigeração. Existem pequenas variações regionais devido a variações climáticas de cada região.

Conforme argumenta Enders (2004), modelos que ignoram os padrões sazonais das séries de tempo tendem a apresentar baixa acurácia em suas previsões. Apesar das transformações aplicadas aos dados como ajustes sazonais ou dessazonalização das séries, elas parecem não ser as melhores alternativas devido à possibilidade de existência ainda de padrões de sazonalidade após essas transformações. Para o autor, a estimação conjunta dos coeficientes de modelos SARIMA apresenta melhores resultados do que modelos que apresentam alguma transformação para amenizar os efeitos da sazonalidade dos dados.

3 MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

A previsão de séries temporais pode ser realizada por meio de diferentes modelos que incorporam as diversas características de uma série temporal. A seguir são apresentadas definições que serão utilizadas nos próximos capítulos.

3.1 Séries temporais

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo em intervalos equidistantes ou não. Supondo que Y_t representa o valor da variável aleatória Y no tempo t , a série temporal será a sequência Y_1, Y_2, \dots, Y_n , em que Y_t é o valor da série no tempo t e n é o tamanho da amostra (SOUZA e CAMARGO, 1996). Uma série temporal é uma realização particular de um processo estocástico.

3.2 Processos estocásticos

Definição 3.1: Um processo estocástico $Y = \{Y_{t,\theta}; t \in T, \theta \in \Omega\}$ é um conjunto de variáveis aleatórias definidas sobre um espaço de probabilidade $(\Omega, \mathfrak{F}, P)$ e indexadas pelos elementos do conjunto de parâmetros T . O conjunto T é normalmente o conjunto dos números inteiros ou o conjunto dos números reais. Para cada $\theta \in \Omega$ fixado tem-se uma série temporal $Y_{t,\theta}$. Para efeitos práticos de simplificação da notação, a série temporal $Y_{t,\theta}$ será denotada por Y_t deste ponto em diante.

Uma série temporal pode ser analisada sob o domínio do tempo ou sob o domínio da frequência.

A análise no domínio da frequência, assim como indicado no nome, analisa a frequência em que os eventos ocorrem. Este tipo de estudo é útil quando os componentes harmônicos das séries têm significado físico, ou quando os efeitos práticos dos eventos são analisados

por suas componentes de frequência (MORETTIN e TOLOI, 2004). A função associada a esse tipo de estudo é a densidade espectral, porém esse tipo de análise foge ao escopo do estudo e não será abordada.

A análise no domínio do tempo trata da evolução temporal da série. Em outros termos, trata da magnitude com que determinado evento ocorre em cada instante de tempo. Para analisar relações de dependência entre uma determinada observação e observações passadas utilizam-se as funções de autocovariância e autocorrelação (MORETTIN e TOLOI, 2004).

Definição 3.2: As funções *média*, *variância*, *autocovariância* e *autocorrelação* de uma série temporal são dadas por:

$$E(Y_t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Y dF(y; t) = \mu_t; \quad (2)$$

$$\text{Var}(Y_t) = \int_{-\infty}^{+\infty} (Y_t - \mu_t)^2 dF(y; t) = \gamma_y(t, t); \quad (3)$$

$$\text{Cov}(Y_j, Y_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (Y_j - \mu_j)(Y_k - \mu_k) dF(y_j, y_k; j, k) = \gamma_y(j, k); \quad (4)$$

$$\rho_y(j, k) = \frac{\gamma_y(j, k)}{\sqrt{\gamma_y(j, j)}\sqrt{\gamma_y(k, k)}}. \quad (5)$$

3.3 Processos estacionários

Definição 3.3: Um processo estocástico $Y = \{Y_t, t \in T\}$, é *estacionário* se e somente se

$$E(Y_t) = \mu_t = \mu, \forall t \in T; \quad (6)$$

$$\text{Var}(Y_t) = \sigma^2 < \infty, \forall t \in T; \quad (7)$$

$$\gamma_y(j, k) = \gamma(|j - k|). \quad (8)$$

Isto quer dizer que $\gamma_y(j, k)$ depende apenas da defasagem entre j e k e, conseqüentemente, $\rho_y(j, k) = \rho(|j - k|)$.

Em outros termos, um processo estocástico é estacionário quando sua média e variância são constantes ao longo do tempo e quando o valor da covariância entre dois períodos de tempo depende apenas da distância, do intervalo ou da defasagem entre os dois períodos de tempo, e não do próprio tempo em que a covariância é calculada (GUJARATI, 2006).

Na literatura sobre séries temporais tal processo descrito acima é conhecido como fracamente estacionário ou estacionário em covariâncias ou estacionário de segunda ordem ou como processo estacionário em sentido amplo. Se um processo é estacionário, sua média, variância e autocovariância permanecem constantes, não importa qual seja o ponto em que elas são medidas no eixo tempo (*Ibid.*). O conceito de estacionariedade forte se afasta do escopo deste estudo e não será tratado neste trabalho.

É importante que um processo estocástico seja estacionário porque o estudo de seu comportamento pode ser considerado não apenas para o período de tempo selecionado como amostra, mas também para outros períodos (*Ibid.* p.640). Um processo estocástico importante no estudo de séries temporais é o processo chamado de *ruído branco*.

Definição 3.4 Um processo de variáveis aleatórias independentes ε_t , $t \in T$, é chamado de *ruído branco* se e somente se atender à condição

$$E(\varepsilon_t) = \mu; \quad (9)$$

$$E(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2. \quad (10)$$

Os modelos de Box & Jenkins se baseiam no ajuste de modelos ARMA, e variações destes, a séries temporais de valores observados de modo que a diferença entre os valores gerados pelos modelos e os valores observados resulte em um processo de ruído branco.

A identificação da estacionariedade da série pode ser feita de algumas formas diferentes. Gujarati (2006) cita como as formas mais destacadas na literatura: a análise gráfica, a análise do correlograma das funções de autocorrelação e o teste da raiz unitária.

Na prática, a maioria das séries temporais reais são não-estacionárias, entretanto, podem ser transformadas em séries estacionárias após sucessivas transformações chamadas de 'diferenciação'. O processo de integração responde pelo número de diferenças que devem ser aplicadas à série para que se torne estacionária. Uma diferença equivale a subtrair Y_t por Y_{t-1} . O processo de integração (d) que determina a quantidade de vezes que a série deve ser diferenciada, que conseqüentemente será a primeira ordem do modelo utilizado, é estimado de forma preliminar pelo cálculo da função de autocorrelação que sinaliza a não-estacionariedade da série. De forma concorrente, a verificação da ordem do processo de integração (d) pode ser obtida pelo teste da raiz unitária.

3.4 Funções de autocorrelação e autocorrelação parcial

Uma forma simples de avaliar se uma série temporal seria estacionária é por meio da análise gráfica do desempenho da série ao longo do tempo procurando por uma tendência de crescimento ou decréscimo de seus valores. Outra maneira um pouco menos intuitiva seria a análise das funções de autocorrelação da série.

Uma observação de uma série temporal pode ser influenciada por uma observação passada. O objetivo principal das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial é analisar essa possível dependência da série com seus valores defasados.

A autocovariância é expressa como a covariância entre Y_t e seu valor k períodos à frente Y_{t+k} . A função autocorrelação informa quanta dependência existe entre pontos vizinhos na série Y_t . As funções autocovariância e autocorrelação de defasagem k são dadas pelas Expressões (4) e (5).

Dada a função da autocovariância, ao traçar-se ρ_k contra k , obtém-se o gráfico conhecido como correlograma populacional, para dados populacionais, e o correlograma amostral, para dados amostrais (GUJARATI, 2006).

As autocorrelações parciais são utilizadas para medir o grau de associação entre Y_t e Y_{t+k} quando os efeitos das demais defasagens intermediárias ($Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_{k-1}$) são removidos. O coeficiente de autocorrelação parcial de ordem k , φ_{kk} , é dado pelo último coeficiente, β_{kk} , de cada uma das autoregressões a seguir:

$$Y_t = \beta_{11}Y_{t-1} + \varepsilon_t \rightarrow \varphi_{11} = \beta_{11}; \quad (11)$$

$$Y_t = \beta_{11}Y_{t-1} + \beta_{22}Y_{t-2} + \varepsilon_t \rightarrow \varphi_{22} = \beta_{22}; \quad (12)$$

$$Y_t = \beta_{11}Y_{t-1} + \beta_{22}Y_{t-2} + \dots + \beta_{kk}Y_{t-k} + \varepsilon_t \rightarrow \varphi_{kk} = \beta_{kk}, \quad (13)$$

em que ε_t é o termo de erro em cada uma das autoregressões calculadas.

Como descrito anteriormente, um tipo de processo estocástico interessante para o estudo de séries temporais é o processo estacionário. A autocorrelação desse processo é dada pela regra (MORETTIN; TOLOI, 2004):

$$\rho_y(t, t+k) = \begin{cases} 1; & k = 0 \\ 0; & k \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

Quando uma série temporal é puramente aleatória os coeficientes de autocorrelação da amostra têm distribuição normal com média zero e variância igual a 1 para o total do tamanho da amostra (GURAJATI, *op cit.*).

Para uma série temporal não-estacionária se tornar estacionária, deve ser diferenciada d vezes. Diz-se que é uma série temporal integrada de ordem d . Uma série temporal Y_t integrada de ordem d se denota como $Y_t \sim I(d)$. Se uma série temporal Y_t é estacionária sem passar por diferenciação, diz-se que é uma série integrada de ordem zero, $Y_t \sim I(0)$.

A seguir são apresentados dois exemplos de correlogramas com funções de autocorrelação e autocorrelação parcial para ilustrar um exemplo de série estacionária e um exemplo de série não-estacionária. A primeira coluna na Figura 2, *Autocorrelation*, indica a função de autocorrelação amostral. A linha vertical sólida indica o eixo dos zeros. As observações

acima dessa linha têm valores positivos, e abaixo, valores negativos. Nesse exemplo, a autocorrelação fica em torno de zero nas defasagens realizadas. Quando isso acontece, a série temporal é provavelmente estacionária, como na Figura 2. Na Figura 3, percebe-se que a autocorrelação ultrapassa essa linha vertical em vários períodos de defasagem, então provavelmente a série é não-estacionária. Observa-se que os valores do coeficiente de autocorrelação para esta série começam altos e declinam lentamente em direção a zero ao longo das defasagens.

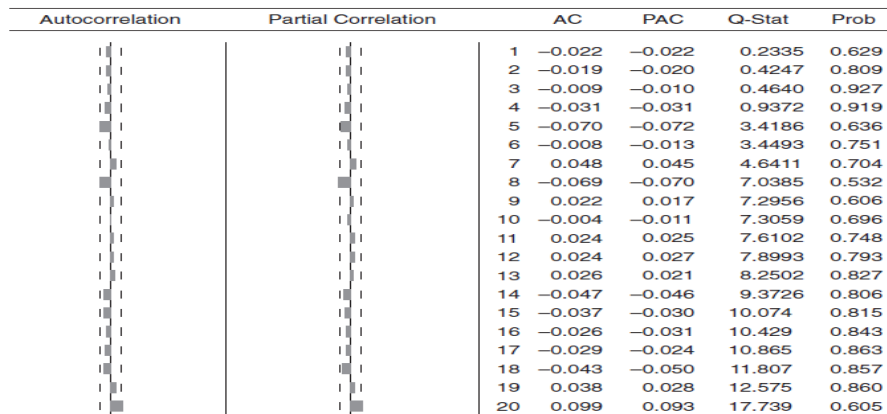


Figura 2 - Exemplo de correlograma

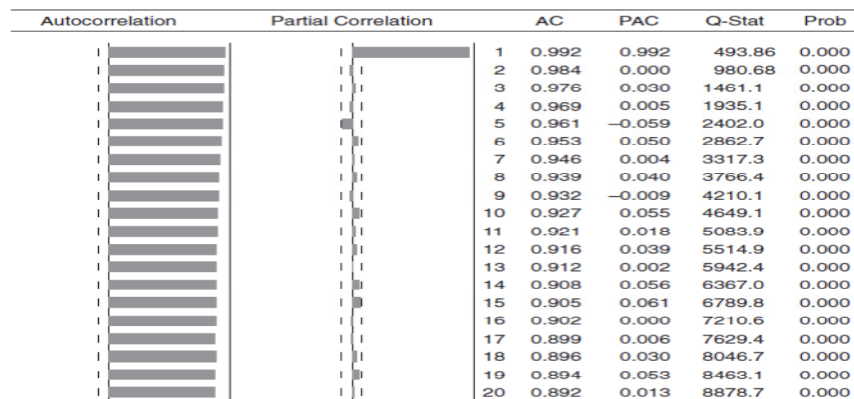


Figura 3 - Exemplo de correlograma

3.5 Testes da raiz unitária

Um dos possíveis testes para verificar se a série temporal é estacionária é o teste da raiz unitária. Embora o interesse seja estudar séries estacionárias, existem séries que não atendem a esse requisito, dentre as quais um exemplo típico é o *passeio aleatório sem deslocamento*.

Definição 3.5: Supondo que ε_t seja um termo de erro com média zero e variância σ_ε^2 , então diz-se que a série é um *passeio aleatório sem deslocamento* se atender à condição (GUJARATI, 2000).

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (15)$$

em que ε_t é um ruído branco e $-1 \leq \rho \leq 1$.

No modelo de passeio aleatório sem deslocamento, isto é $\rho = 1$, o valor de Y_t é igual ao valor de Y_{t-1} mais um choque aleatório ε_t . Se ρ é de fato 1, tem-se o problema da raiz unitária, ou seja, uma situação de não-estacionariedade. No entanto, se $\rho < 1$, pode-se expressar que a série é estacionária.

Para testar se existe raiz unitária da série a literatura cita alguns testes como, por exemplo, o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), o teste de Dickey-Pantula (utilizado para testar a presença de mais de uma raiz unitária) e o teste de Phillips-Perron (similar ao teste ADF, porém com uma correção estatística do teste baseada em ajustes não-paramétricos que corrigem a presença de heterocedasticidade e autocorrelação nos resíduos). Neste estudo utiliza-se apenas o teste ADF (*Ibid.*).

O modelo de passeio aleatório faz parte de uma classe mais geral de processos estocásticos conhecidos como ‘processos integrados’. Para obter estacionariedade em uma série, opta-se por transformá-la através da integração, ou seja, retirar a primeira diferença da série. Quando isso acontece, chama-se a série resultante de integrada de ordem 1, que se denota como, $I(1)$. De forma similar, se uma série temporal tem que ser diferenciada duas vezes para se tornar estacionária, isto é, retirar a diferença da primeira diferença, diz-se que a série é ‘integrada de ordem dois’. A maioria das séries temporais utilizadas em estudos empíricos na economia precisa passar por pelo menos um processo de diferenciação para atingir a estacionariedade. De forma geral, tem-se uma série temporal integrada de ordem d para uma série que precisa ser diferenciada d vezes para atingir a estacionariedade (*Ibid.*).

3.5.1 Testes de Dickey-Fuller e de Dickey-Fuller aumentado

O teste de Dickey-Fuller e o teste de Dickey-Fuller aumentando são utilizados para checar se a série Y_t apresenta indícios de ser estacionária.

Dada a Expressão (15), subtraindo Y_{t-1} de ambos os lados da equação tem-se a Expressão:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (16)$$

em que $\delta = \rho - 1$ e Δ é o operador de primeira diferença.

A hipótese nula do teste de Dickey-Fuller é $H_0: \delta = 0$. Se $\delta = 0$, $\rho = 1$, portanto, a série original é não-estacionária. A série original tem uma raiz unitária. Caso seja rejeitada a hipótese nula, há indícios que a série Y_t é estacionária.

Nas equações acima, aceitar a hipótese nula significa que há uma raiz unitária, ou seja, a série não é estacionária. Caso a hipótese nula seja rejeitada é possível que a série temporal seja estacionária com média zero (Expressão (16)).

O teste de Dickey-Fuller aumentado consiste em estimar a seguinte regressão:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t. \quad (17)$$

em que

ε_t é um ruído branco;

m é o número de defasagens da série incluídas no modelo.

O valor de m é, via de regra, uma decisão empírica, sendo o objetivo a inclusão de um número de termos suficiente para que o termo de erro não apresente correlação serial (GUJARATI, 2006).

No teste de Dickey-Fuller aumentado também testa-se $\delta = 0$, sendo que este teste também segue a mesma distribuição assintótica do teste de Dickey-Fuller, fazendo uso dos mesmos valores críticos.

3.6 Previsão com séries temporais

De acordo com Enders (2004), a tarefa da econometria de séries temporais é o desenvolvimento de modelos simples e capazes de prever, interpretar e testar hipóteses relativas às séries econômicas. Este processo ocorre por meio da construção de um modelo que capture as relações intrínsecas das séries no intervalo de tempo conhecido, então se extrapola esse intervalo de dados disponíveis para prever observações futuras.

As previsões de um modelo de série temporal podem ser feitas para o próximo instante de tempo, ou para vários instantes de tempo à frente. A previsão de uma variável aleatória Y no instante $t+1$ é chamada de \hat{Y}_{t+1} e a previsão de uma variável aleatória Y vários instantes de tempo t à frente é chamada de \hat{Y}_{t+h} , sendo h chamado de ‘horizonte de previsão’. Quando o horizonte de previsão é maior do que uma unidade de tempo é possível escolher dois procedimentos distintos: o procedimento estático e o procedimento dinâmico de previsão.

O procedimento estático de previsão considera conhecido o valor real da série no instante $t-1$ para o cálculo da projeção. Dessa forma, a cada instante a série é atualizada com o último valor conhecido, isto é, seu valor real. Este procedimento não implica que o modelo todo seja reconstruído com base na nova observação, mas apenas que se reutiliza o mesmo modelo em uma nova sequência de dados atualizada com os valores reais da série. Por exemplo, em uma previsão estática três passos à frente se observa:

- a) Com a série y_1, y_2, \dots, y_n obtém-se a previsão \hat{y}_{n+1} ;
- b) Com a série $y_1, y_2, \dots, y_n, y_{n+1}$ obtém-se a previsão \hat{y}_{n+2} ;
- c) Com a série $y_1, y_2, \dots, y_n, y_{n+1}, y_{n+2}$ obtém-se a previsão \hat{y}_{n+3} .

O procedimento dinâmico estima os valores futuros da série com base em suas próprias estimativas dos períodos de tempo anteriores. Em outros termos, as previsões são feitas recursivamente com a realimentação de previsões anteriores no mesmo modelo de previsão. Por exemplo, em uma previsão dinâmica também três passos à frente se observa:

- a) Com a série y_1, y_2, \dots, y_n obtém-se a previsão \hat{y}_{n+1} ;
- b) Com a série $y_1, y_2, \dots, y_n, \hat{y}_{n+1}$ obtém-se a previsão \hat{y}_{n+2} ;
- c) Com a série $y_1, y_2, \dots, y_n, \hat{y}_{n+1}, \hat{y}_{n+2}$ obtém-se a previsão \hat{y}_{n+3} .

Observa-se que a previsão em $t+1$ é igual para os dois procedimentos, entretanto, a partir de $t+2$ essas apresentam valores diferentes, sendo a previsão dinâmica menos exata devido à extensão do erro de previsão que se propaga em cada ponto previsto. Observa-se que, de acordo com a disponibilidade da base de dados e os parâmetros necessários para execução da equação de previsão, apenas o procedimento dinâmico possa ser aplicado em previsões com horizonte de previsão \geq dois.

Para avaliar a qualidade das previsões efetuadas pelo modelo estimado faz-se uso de algumas estatísticas com intuito de comparação da acurácia dos modelos estimados. Entre essas estatísticas, as mais comuns são o MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*, a RMSE, *Root Mean Square Error*, e o coeficiente de correlação linear de Pearson, r , entre valores esperados e valores observados.

Definição 3.6: MAPE é um valor absoluto médio em percentual, utilizado para verificação da margem de acerto em comparação ao valor previsto. É uma estatística utilizada para comparação de modelos. Quanto menor seu valor, melhor o ajuste do modelo. O MAPE é dado pela expressão

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|}{n} * 100, \quad (18)$$

em que n é o tamanho da amostra.

Definição 3.7: RMSE é a raiz quadrada da média dos erros ao quadrado. Ao contrário do MAPE, seus valores dependem da escala da variável dependente. Quanto menor seu valor, melhor o ajuste do modelo. O RMSE é dado pela expressão

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}, \quad (19)$$

Definição 3.8: Coeficiente de correlação linear de Pearson, r , mede o grau de relacionamento linear entre os valores de uma amostra emparelhada de x e y . Seus valores variam entre -1 e $+1$, sendo esses extremos de associação linear negativa ou positiva respectivamente. O coeficiente de correlação linear de Pearson é dado pela expressão

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}. \quad (20)$$

3.7 Metodologia de Box & Jenkins

A análise de séries temporais segundo o método de Box & Jenkins tem por objetivo principal a realização de previsões. Valores futuros da série podem ser previstos com base na exploração da correlação temporal existente entre os valores exibidos pela série. A relação temporal desenvolvida por Box e Jenkins é representada formalmente por um conjunto de processos estocásticos genericamente denominados modelos ARMA, ou ARIMA quando é necessária a integração da série (BOX e JENKINS, 1976).

Definição 3.9: Uma série temporal Y_t $\{t=0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ segue um modelo *autoregressivo de médias móveis* de ordem p, q , ARMA(p, q), se satisfizer a expressão

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}, \quad (21)$$

em que

ε_t é um processo ruído branco com média zero e variância σ_ε^2 constante;

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ são os parâmetros do modelo.

A expressão (21) pode ser reescrita sem prejuízo de sentido na forma reduzida

$$\phi(B)Y_t = \theta(B)\varepsilon_t, \quad (22)$$

em que

$\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ é o operador autoregressivo de ordem p ;

$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ é o operador de médias móveis de ordem q ;

$B^m Y_t = Y_{t-m}$;

ε_t é um processo ruído branco com média zero e variância σ_ε^2 constante.

A metodologia de Box e Jenkins faz uso de estágios interativos para seleccionar um modelo apropriado e prever séries de tempo univariadas. Estes estágios são apresentados na Figura 4.

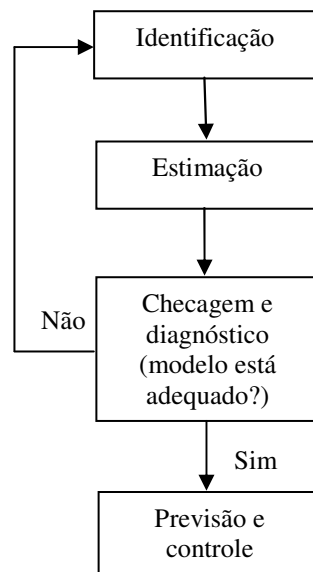


Figura 4 - Estágios na abordagem de construção interativa de modelos de previsão
 FONTE: BOX e JEKINS (1976) – adaptado

Identificação: Nessa etapa são encontrados valores adequados de p , d e q , ou seja, das ordens dos processos autoregressivos, $AR(p)$, processos de integração, $I(d)$, e processos de médias móveis $MA(q)$. A ordem do processo autoregressivo p é estimada, *a priori*, com base no cálculo da função de autocorrelação parcial, FACP. Os resultados da FACP sugerem o modelo autoregressivo de ordem p mais adequado, onde a série apresentar a mais alta defasagem com autocorrelação parcial significativa antes de truncar ou, em outros termos, antes de declinar abruptamente e seus valores passarem a se apresentar dentro dos limites de significância estatística fornecidos pelo correlograma parcial. De forma similar, a ordem do processo de média móvel (q) que indicará a ordem MA do modelo que será utilizado é estimada, *a priori*, com base no cálculo da função de autocorrelação. Os resultados da FAC sugerem o modelo de média móvel de ordem q mais adequado. Souza e Camargo (1996) resumem essas características teóricas das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial dos modelos $ARMA(p,q)$ no Quadro 3 abaixo. Para

identificar o prazo de defasagem, e o modelo ARMA que deve ser adotado, Gujarati (2006) alternativamente sugere que seja uma questão basicamente empírica. Sugere-se que, na prática, se inicie com defasagens suficientemente longas na série em ambos os processos e em seguida reduza-se de acordo com critérios estatísticos como AIC, ou SBC calculados para cada configuração de modelos ARIMA(p,d,q) estimado.

Quadro 3 - Características teóricas das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial

Modelo	Função de autocorrelação	Função de autocorrelação parcial
AR(p)	Infinita (Exponencial e/ou senóides amortecidas)	Finita (Corte após o lag “p”)
MA(q)	Finita (corte após o lag “q”)	Infinita (Exponencial e/ou senóides amortecidas)
ARMA(p,q)	Infinita (Exponencial e/ou senóides amortecidas após o lag “q - p”)	Infinita (Exponencial e/ou senóides amortecidas após o lag “q - p”)

Fonte: Souza e Camargo (1996)

Estimação: Após identificar os valores adequados de p e q, passa-se à estimação dos parâmetros dos termos autoregressivos e de médias móveis incluídos no modelo. Para cada um dos possíveis modelos identificados no primeiro estágio estimam-se seus parâmetros. Considera-se o princípio da parcimônia e as condições de estacionariedade da série. O aumento do número de defasagens do modelo (p e q) reduz a soma dos quadrados do resíduo do modelo, no entanto, o aumento da quantidade de parâmetros estimados causa perda de graus de liberdade. A inclusão de parâmetros irrelevantes também causa a redução do poder de previsão do modelo. A literatura lista alguns critérios de seleção de modelos de séries temporais que consideram esse equilíbrio entre soma de quadrados dos resíduos e parcimônia. Os mais citados são o AIC e o SBC (GUJARATI, 2006).

Definição 3.10: O critério de Informação de Akaike é dado pela expressão (GUJARATI, 2006)

$$AIC = e^{2k/n} \frac{\sum \hat{\varepsilon}_i^2}{n}, \quad (23)$$

em que

k é o número de parâmetros do modelo ajustado;

n é o número de observações;

$\sum \hat{\varepsilon}_i^2$ é a soma dos resíduos estimados ao quadrado.

Definição 3.11: O Critério Bayesiano de Schwartz é dado pela expressão (*Ibid.*)

$$SBC = n^{k/n} \frac{\sum \hat{\varepsilon}_i^2}{n}, \quad (24)$$

em que

k é o número de parâmetros do modelo ajustado;

n é o número de observações;

$\sum \hat{\varepsilon}_i^2$ é a soma dos resíduos estimados ao quadrado.

Checagem e diagnóstico: Depois de escolhido um modelo ARIMA e estimados seus parâmetros, deve-se verificar se o modelo escolhido se ajusta razoavelmente aos dados. Alguns testes estatísticos podem ser utilizados nessa etapa como, por exemplo, verificar se os resíduos do modelo estimados são ruídos brancos. Gujarati (2006) revisa os seguintes pressupostos com relação aos resíduos do modelo:

- a) O valor esperado dos resíduos deve ser igual a zero, e seguir uma distribuição normal;
- b) Os resíduos não devem ser autocorrelacionados entre si;
- c) A variância dos resíduos deve ser constante.

Para averiguar o item (a) pode ser aplicado o teste de normalidade de Jarque-Bera; para averiguar o item (b) pode ser aplicado o teste de Breusch-Godfrey ou o teste de Durbin-Watson; e para averiguar o item (c) pode ser aplicado o teste de White.

Definição 3.12: O teste de Jarque-Bera é dado pela expressão (*Ibid.*)

$$JB = \left(n \frac{S^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24} \right), \quad (25)$$

em que

S é a assimetria amostral;

K é a curtose amostral.

A estatística JB segue uma distribuição Quiquadrado com dois graus de liberdade (χ_2^2). A hipótese nula do teste é que os dados amostrais são provenientes de uma distribuição normal.

O teste de Breusch-Godfrey utiliza o seguinte procedimento (*Ibid.*):

Considere a seguinte regressão linear

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \varepsilon_t, \quad (26)$$

em que

Y é a variável dependente;

X_t é a variável independente;

β_1, β_2 são parâmetros do modelo;

ε_t é o erro aleatório de média zero e variância constante.

Agora suponha que o termo ε_t seja gerado por um processo autoregressivo de ordem p , AR(p):

$$\varepsilon_t = \rho_1 \varepsilon_{t-1} + \rho_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \rho_p \varepsilon_{t-p} + e_t, \quad (27)$$

em que

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_p$ são parâmetros do modelo;

e_t é um ruído branco.

Se ε_t não fosse serialmente correlacionado, então: $\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_p = 0$.

Dessa forma, a hipótese nula do teste de Breusch-Godfrey é:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_p = 0. \quad (28)$$

Para testar essa hipótese, o teste de Breusch-Godfrey estima a seguinte equação de regressão

$$\hat{\varepsilon}_t = \alpha_1 + \alpha_2 X_t + \hat{\rho}_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + \hat{\rho}_2 \hat{\varepsilon}_{t-2} + \dots + \hat{\rho}_p \hat{\varepsilon}_{t-p} + e_t. \quad (29)$$

Seja R^2 o coeficiente de determinação linear associado à regressão apresentada na Expressão (29).

É possível provar de acordo com Breush e Godfrey que se não existe correlação serial dos resíduos até a defasagem de ordem p para uma amostra de tamanho n , a distribuição do produto $(n - p) * R^2$ segue uma distribuição Quiquadrado com p graus de liberdade (χ_p^2), ou seja,

$$(n - p)R^2 \sim \chi_p^2. \quad (30)$$

Dessa forma, se $(n - p) * R^2$ for maior que o valor de χ_p^2 , rejeita-se a hipótese nula do teste, e conclui-se que há evidências que os resíduos são serialmente correlacionados (GUJARATI, 2006).

Definição 3.13: Seja ε_t o resíduo associado com uma observação Y no tempo t , a estatística d de Durbin-Watson é dada por

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} \hat{\varepsilon}_t^2}, \quad (31)$$

em que n é o número de observações e $\hat{\varepsilon}_t$ é o erro estimado da equação de regressão no tempo t . O valor de d é aproximadamente 2 para amostras que não apresentam correlação serial dos resíduos, sendo os valores de d variáveis entre 0 e 4. Quanto mais longe a estatística está de 2, maior o indício de presença de correlação serial nos resíduos (GUJARATI, 2006).

O teste de White utiliza o seguinte procedimento (*Ibid.*):

Considere a seguinte regressão linear

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \varepsilon_t, \quad (32)$$

em que

Y_t é a variável dependente;

X_{2t}, X_{3t} são as variáveis independentes;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ são os parâmetros do modelo;

ε_t é o erro aleatório de média zero e variância constante.

Com base no erro aleatório estimado, $\hat{\varepsilon}_t$, calcula-se a seguinte regressão auxiliar:

$$\hat{\varepsilon}_t = \alpha_1 + \alpha_2 X_{2t} + \alpha_3 X_{3t} + \alpha_4 X_{2t}^2 + \alpha_5 X_{3t}^2 + \alpha_6 X_{2t} X_{3t} + e_t, \quad (33)$$

em que

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ são os parâmetros da equação;

e_t é o termo de erro aleatório de média zero e variância constante.

Seja R_{aux}^2 o coeficiente de determinação linear associado à regressão apresentada na Expressão (33).

É possível provar que, sob a hipótese nula de que não há heterocedasticidade, o produto entre o tamanho da amostra, n , e o coeficiente de determinação linear da regressão auxiliar, R_{aux}^2 , segue assintoticamente uma distribuição Quiquadrado com o número de graus de liberdade (df) igual ao número de regressores (excluído o termo constante) da regressão auxiliar (33). Ou seja:

$$nR_{aux}^2 \sim \chi_{df}^2. \quad (34)$$

Se o valor de Quiquadrado obtido for superior ao valor crítico de Quiquadrado ao nível de significância escolhido, conclui-se que há heterocedasticidade.

3.7.1 Modelos autoregressivos (AR)

Se na expressão (21) $\theta_q = 0$ para todo q , obtém-se um modelo *autoregressivo* de ordem p , que pode ser denotado por AR(p)

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (35)$$

ou

$$\phi(B)Y_t = \varepsilon_t. \quad (36)$$

3.7.2 Modelos de médias móveis (MA)

Se na expressão (21), $\phi_p = 0$ para todo p , se obtém um modelo de *médias móveis de ordem q* , que pode ser denotado por MA(q)

$$Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t+1} - \theta_2 \varepsilon_{t+2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t+q} \quad (37)$$

ou

$$Y_t = \theta(B)\varepsilon_t. \quad (38)$$

3.7.3 Modelos autoregressivos integrados de médias móveis (ARIMA)

Definição 3.14: Uma série temporal Y_t $\{t=0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ segue um modelo *autoregressivo integrado de médias móveis* de ordem p, d, q , ARIMA(p, d, q), se satisfizer a expressão

$$\phi(B)\nabla^d Y_t = \theta(B)\varepsilon_t, \quad (39)$$

em que

$\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ é o operador autoregressivo de ordem p ;

$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ é o operador de médias móveis de ordem q ;

$B^m Y_t = Y_{t-m}$;

$\nabla^d = (1 - B)^d$;

ε_t é um processo ruído branco com média zero e variância σ_ε^2 constante.

3.7.4 Modelos sazonais autoregressivos integrados de médias móveis (SARIMA)

Definição 3.15: Uma série temporal Y_t $\{t=0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ segue um modelo *sazonal autoregressivo integrado de médias móveis* de ordem $(p,d,q) \times (P,D,Q)$, SARIMA $(p,d,q) \times (P,D,Q)$, se satisfizer a expressão

$$\Phi_P(B^S)\phi(B)\nabla_S^D\nabla^d Y_t = \Theta_Q(B^S)\theta(B)\varepsilon_t, \quad (40)$$

em que

$\Phi_P(B^S) = (1 - \phi_1 B^S - \phi_2 B^{2S} - \dots - \phi_P B^{PS})$ é o operador auto-regressivo sazonal de ordem P;

$\Theta_Q(B^S) = (1 - \theta_1 B^S - \theta_2 B^{2S} - \dots - \theta_Q B^{QS})$ é o operador de médias móveis sazonal de ordem Q;

$\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ é o operador autoregressivo de ordem p;

$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ é o operador de médias móveis de ordem q;

$B^m Y_t = Y_{t-m}$;

$\nabla^d = (1 - B)^d$;

$\nabla_S^D = (1 - B^S)^D$;

ε_t é um processo ruído branco com média zero e variância σ_ε^2 constante.

3.7.5 Modelo de séries temporais com inclusão de variáveis exógenas

Alternativamente aos modelos de Box & Jenkins, é possível estimar o consumo de energia elétrica com base em modelos de regressão linear múltipla. Esta metodologia é amplamente difundida em várias áreas de conhecimento, e consiste em estimar uma variável endógena Y_t por meio de algumas variáveis exógenas X_{it} , que podem ou não estar defasadas no tempo. Caso o número de defasagens de cada variável esteja especificado, diz-se que é formado um *modelo de defasagem distribuída finita* (GUJARATI, 2006). A Expressão (41) mostra um exemplo de modelo de defasagem distribuída finita:

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \beta_k X_{t-k} + \varepsilon_t, \quad (41)$$

em que $\alpha, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são parâmetros do modelo;

ε_t é uma variável aleatória de distribuição normal com média zero e variância constante.

Utilizam-se tais modelos quando se acredita que a reação de Y_t no instante t não é explicada somente pelas variações das variáveis independentes no tempo t , mas também por seus valores defasados k unidades de tempo.

O método mais comum de estimação desse modelo é o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

Para algumas séries o resíduo resultante do modelo ajustado na Expressão (41) apresenta autocorrelação. Uma maneira de lidar com essa situação seria modelar os resíduos desse modelo através da metodologia de Box & Jenkins de séries temporais (TSAY, 2002). Dessa forma, tem-se o ajuste da regressão linear múltipla com os resíduos modelados pelos modelos ARMA. Os modelos resultantes podem ser ARX, ARMAX ou SARMAX.

O modelo mais simples que pode ser ajustado é um modelo autoregressivo com a inclusão de variáveis exógenas (ARX).

Definição 3.16: Uma série temporal Y_t segue um modelo ARX quando puder ser explicada pela expressão (SHUMWAY e STOFFER, 2006)

$$Y_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j} + \beta X_{wt}^t + \varepsilon_t, \quad (42)$$

em que

Y_t é a variável endógena no tempo t ;

$X_{wt}^t = (x_{1t}, x_{1t-1}, \dots, x_{1t-n_1}, \dots, x_{wt}, x_{wt-1}, \dots, x_{wt-n_w})$ é o vetor de variáveis exógenas explicativas;

Y_{t-j} é a variável endógena com p defasagens no tempo;

$\beta = (\beta_{1t}, \beta_{1t-1}, \dots, \beta_{1t-n_1}, \dots, \beta_{wt}, \beta_{wt-1}, \dots, \beta_{wt-n_w})$ é o vetor dos coeficientes das variáveis exógenas;

$\sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j}$ é a componente autoregressiva do modelo;

w é o número de variáveis exógenas;

n_w é o número de defasagens da w -ésima variável exógena;

ε_t é um ruído branco.

A Expressão (42) pode ser reescrita na forma

$$Y_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j} + \beta_{1t} X_{1t} + \beta_{1t-1} X_{1t-1} + \cdots + \beta_{1t-n_1} X_{1t-n_1} + \beta_{2t} X_{2t} + \beta_{2t-1} X_{2t-1} + \cdots + \beta_{2t-n_2} X_{2t-n_2} + \cdots + \beta_{wt} X_{wt} + \beta_{wt-1} X_{wt-1} + \cdots + \beta_{wt-n_w} X_{wt-n_w} + \varepsilon_t. \quad (43)$$

Definição 3.17: Uma série temporal Y_t segue um modelo ARMAX quando puder ser explicada pela expressão (SHUMWAY; STOFFER, 2006)

$$Y_t = \beta X_{wt}^t + \sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j} + \sum_{k=1}^q \theta_k \varepsilon_{t-k} + \varepsilon_t, \quad (44)$$

em que

Y_t é a variável endógena no tempo t ;

$X_{wt}^t = (x_{1t}, x_{1t-1}, \dots, x_{1t-n_1}, \dots, x_{wt}, x_{wt-1}, \dots, x_{wt-n_w})$ é o vetor de variáveis exógenas explicativas;

Y_{t-j} é a variável endógena com p defasagens no tempo;

$\beta = (\beta_{1t}, \beta_{1t-1}, \dots, \beta_{1t-n_1}, \dots, \beta_{wt}, \beta_{wt-1}, \dots, \beta_{wt-n_w})$ é o vetor dos coeficientes das variáveis exógenas;

$\sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j}$ é a componente autoregressiva do modelo;

$\sum_{k=1}^q \theta_k \varepsilon_{t-k}$ é a componente de médias móveis do modelo;

w é o número de variáveis exógenas;

n_w é o número de defasagens da w -ésima variável exógena;

ε_t é um ruído branco.

A Expressão (44) pode ser reescrita na forma:

$$Y_t = \beta_{1t} X_{1t} + \beta_{1t-1} X_{1t-1} + \cdots + \beta_{1t-n_1} X_{1t-n_1} + \beta_{2t} X_{2t} + \beta_{2t-1} X_{2t-1} + \cdots + \beta_{2t-n_2} X_{2t-n_2} + \cdots + \beta_{wt} X_{wt} + \beta_{wt-1} X_{wt-1} + \cdots + \beta_{wt-n_w} X_{wt-n_w} + \sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j} + \sum_{k=1}^q \theta_k \varepsilon_{t-k} + \varepsilon_t. \quad (45)$$

Definição 3.18: Uma série temporal Y_t segue um modelo SARMAX quando puder ser explicada pela expressão

$$\begin{aligned}
 Y_t = & \beta_{1t}X_{1t} + \beta_{1t-1}X_{1t-1} + \cdots + \beta_{1t-n_1}X_{1t-n_1} + \beta_{2t}X_{2t} + \beta_{2t-1}X_{2t-1} + \cdots + \\
 & + \beta_{2t-n_2}X_{2t-n_2} + \cdots + \beta_{wt}X_{wt} + \beta_{wt-1}X_{wt-1} + \cdots + \beta_{wt-n_w}X_{wt-n_w} + \sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j} + \\
 & + \sum_{k=1}^q \theta_k \varepsilon_{t-k} + \sum_{l=1}^p \Phi_l Y_{t-l} + \varepsilon_t, \quad (46)
 \end{aligned}$$

em que

Y_t é a variável endógena no tempo t ;

X_{wt} são as w variáveis exógenas explicativas;

β_{wt} são os coeficientes das variáveis exógenas explicativas;

Y_{t-j} é a variável endógena com p defasagens no tempo;

$\sum_{j=1}^p \phi_j Y_{t-j}$ é a componente autoregressiva do modelo;

$\sum_{k=1}^q \theta_k \varepsilon_{t-k}$ é a componente de médias móveis do modelo;

$\sum_{l=1}^p \Phi_l Y_{t-l}$ é a componente sazonal do modelo;

w é o número de variáveis exógenas;

n_w é o número de defasagens da w -ésima variável exógena;

ε_t é um ruído branco.

4 METODOLOGIA

No referencial teórico foram apresentadas e discutidas as abordagens existentes no estudo do setor de energia elétrica para efeito de previsão e análise causal da demanda energética geral, visando refletir sobre possíveis abordagens, e detalhar o método a ser utilizado. Em seguida foram apresentados os modelos de séries temporais com a inclusão de variáveis exógenas. Neste capítulo será tratada a metodologia empregada no estudo empírico e os procedimentos de coleta e análise utilizados.

4.1 Tipo de estudo

Este estudo baseia-se em uma abordagem quantitativa para atender aos objetivos da pesquisa. De acordo com Marconi e Lakatos (2002), os estudos quantitativos são aqueles em que se estabelecem hipóteses e testam-nas por meio da mensuração de variáveis operacionais previamente definidas, quantificando o resultado com o uso de métodos estatísticos. É um tipo de estudo tradicionalmente aceito como tendo confiabilidade, validade e fidedignidade, desde que realizado seguindo uma metodologia rigorosa. A validação da pesquisa ocorre pelo nível de significância adotado nos testes estatísticos.

Com relação à função do estudo, o presente trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória já que um tipo específico de modelo de séries temporais com inclusão de variáveis exógenas é aplicado à previsão do consumo energético, caracterizando uma aplicação pouco difundida, em especial no Brasil, para a qual os resultados podem contribuir para trabalhos futuros.

O presente trabalho foi conduzido em duas etapas. Inicialmente foi levantado o referencial teórico sobre o consumo energético e estudos quantitativos preocupados com a previsão dessa variável. A segunda etapa trata dos resultados empíricos encontrados pela metodologia quantitativa aplicada, os quais serão descritos no próximo capítulo.

A metodologia utilizada fundamenta-se na análise e na construção de modelos de previsão de séries temporais lineares com base em dados coletados de fontes secundárias. Dentre os modelos já aplicados no estudo da demanda por energia elétrica, optou-se pela metodologia de Box & Jenkins com inclusão de variáveis exógenas conforme citado nas sessões anteriores. Nesses modelos o consumo de energia pode ser estimado por meio de uma regressão linear múltipla considerando diversas variáveis macroeconômicas e suas defasagens no tempo, como variáveis explicativas. Aos resíduos desse modelo é ajustado um modelo SARMA.

4.2 Dados

No presente trabalho é analisada a série de consumo mensal de energia elétrica para o Brasil para os três maiores setores de consumo, a saber: comercial, industrial e residencial. Compreende-se o período de Janeiro de 2003 a Setembro de 2010, num total de 93 observações. Os dados são disponibilizados pelo SIESE, Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica, e pela ELETROBRÁS - Centrais elétricas brasileiras S.A. e podem ser consultados pelo portal www.ipeadata.gov.br. Optou-se por uma janela de tempo que não incluísse observações antes de 2003 devido aos efeitos do racionamento de energia.

A escolha dessas variáveis foi feita com base na sua relevância para a economia nacional. Optou-se pelos referidos segmentos devido à necessidade de melhor entendimento desses setores da demanda, e pela existência de determinado número de estudos específicos para esses setores, permitindo futuras comparações de resultados.

Quanto às séries das variáveis exógenas, estas foram escolhidas baseadas em estudos anteriores no Brasil que estimaram o consumo energético, e adequadas como *proxies* dos fatores que influenciam o consumo energético como retratado no capítulo do referencial teórico. Procurou-se atender aos principais fatores determinantes do consumo de energia elétrica passíveis de aplicação para o país. Quadro 4, Quadro 5 e Quadro 6 apresentam as variáveis utilizadas no estudo para modelagem do consumo comercial, industrial e residencial de energia elétrica, exibindo qual fator essas variáveis representam como *proxies*, unidades das variáveis, e suas fontes de coleta. São apresentados também códigos

para cada variável com intuito de substituição de nomenclatura durante a redação dos resultados. A seguir apresenta-se uma breve descrição de cada variável utilizada.

- a) **Consumo comercial de energia elétrica:** Citada nos estudos de Irffi *et al* (2009) e Siqueira *et al* (2006) para a região do nordeste brasileiro e Schmidt e Lima (2004) e Abreu e Sant'Anna (2009) para todo o Brasil. Em todos os casos, o consumo comercial é estimado em função de variáveis *proxies* dos seguintes fatores: preço da eletricidade, renda do setor comercial e estoque de equipamentos que utilizam eletricidade no setor;
- b) **Consumo industrial de energia elétrica:** Citada nos estudos de Irffi *et al* (2009) e Siqueira *et al* (2006) para a região do nordeste brasileiro e Schmidt e Lima (2004) e Abreu e Sant'Anna (2009) para todo o Brasil. Em todos os casos, o consumo industrial é estimado em função de variáveis *proxies* dos seguintes fatores: preço da eletricidade, renda do setor industrial, estoque de equipamentos que utilizam eletricidade no setor e preço de bens substitutos à energia elétrica;
- c) **Consumo residencial de energia elétrica:** Citada nos estudos de Irffi *et al* (2009) e Siqueira *et al* (2006) para a região do nordeste brasileiro e Schmidt e Lima (2004) e Abreu e Sant'Anna (2009) para todo o Brasil. Em todos os casos, o consumo residencial é estimado em função de variáveis *proxies* dos seguintes fatores: preço da eletricidade, renda do setor residencial e estoque de equipamentos que utilizam eletricidade no setor;
- d) **Tarifa média comercial/residencial de energia elétrica:** Citada nos estudos de Irffi *et al* (2009), Siqueira *et al* (2006), Schmidt e Lima (2004) e Abreu e Sant'Anna (2009);
- e) **Vendas reais no varejo:** Citada por Abreu e Sant'Anna (2009) como *proxy* da variável renda para o setor comercial;
- f) **Produção industrial de máquinas e equipamentos:** Utilizada como *proxy* para estimar os estoques de bens que utilizam energia elétrica no setor comercial. Argumenta-se que, mantido o equilíbrio entre exportações e importações, quanto maior a produção industrial de máquinas e equipamentos, maior o estoque desses bens no setor comercial;
- g) **Faturamento real da indústria:** Citada por Abreu e Sant'Anna (2009) como *proxy* do fator renda do setor industrial;

- h) **Produção industrial de bens intermediários:** Utilizada como *proxy* para estimar os estoques de bens que utilizam energia elétrica no setor industrial. Argumenta-se que, mantido o equilíbrio entre exportações e importações, quanto maior a produção industrial de bens intermediários, maior o estoque desses bens no setor industrial;
- i) **Preço do barril de petróleo:** Citada nos estudos de Berg e Lougani (1990), para o consumo industrial do estado da Flórida nos EUA, de Al-Faris (2002), para estimar o consumo elétrico total em 5 países árabes. Neste estudo utiliza-se como *proxy* do preço de bens alternativos ao consumo de energia elétrica para o caso do setor industrial;
- j) **Rendimento médio real habitual de pessoas ocupadas em regiões metropolitanas:** Citada por Abreu e Sant’Anna (2009) como *proxy* da renda do setor residencial;
- k) **Vendas reais no varejo de móveis e eletrodomésticos:** Utilizada como *proxy* dos estoques de bens que utilizam energia elétrica no setor residencial. Argumenta-se que quanto maior a venda de móveis e eletrodomésticos, maior o estoque desses bens no setor residencial.

Quadro 4 – Variáveis utilizadas: consumo comercial de energia elétrica

Variável	Código	Proxy	Unidade	Fonte*
Consumo comercial de energia elétrica	ConsumoC	Demanda	GWh	Boletim SIESE – ELETROBRÁS
Tarifa média comercial de energia elétrica	PC	Preço eletricidade	R\$/MWh	ANEEL
Vendas reais no varejo	YC	Renda	R\$	IBGE/PMC
Produção industrial de máquinas e equipamentos	LC	Estoque de bens complementares	<i>Quantum</i>	IBGE/PIM

FONTE: IPEADATA (2010). * SIESE – Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica; ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PMC – Pesquisa Mensal de Comércio; PIM – Pesquisa Industrial Mensal.

Quadro 5 - Variáveis utilizadas: consumo industrial de energia elétrica

Variável	Código	Proxy	Unidade	Fonte*
Consumo industrial de energia elétrica	ConsumoI	Demanda	GWh	Boletim SIESE – ELETROBRÁS
Faturamento real da indústria	YI	Renda	R\$	CNI
Produção industrial de bens intermediários	LI	Estoque de bens complementares	<i>Quantum</i>	IBGE/PIM
Preço do barril de petróleo	SI	Preço de bens substitutos	US\$/barril	FMI

FONTE: IPEADATA (2010). * SIESE – Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica; ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; CNI – Confederação Nacional da Indústria; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PIM – Pesquisa Industrial Mensal; FMI – Fundo Monetário Internacional.

Quadro 6 - Variáveis utilizadas: consumo residencial de energia elétrica

Variável	Código	Proxy	Unidade	Fonte*
Consumo residencial de energia elétrica	ConsumoR	Demanda	GWh	Boletim SIESE – ELETROBRÁS
Tarifa média residencial de energia elétrica	PR	Tarifa	R\$/MWh	ANEEL
Rendimento médio real habitual – pessoas ocupadas – regiões metropolitanas	YR	Renda	R\$	IBGE/PME
Vendas reais no varejo de móveis e eletrodomésticos	LR	Estoque de eletrodomésticos	Índice	IBGE/PMC

FONTE: IPEADATA (2010). * SIESE – Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica; ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PME – Pesquisa Mensal de Emprego; PMC – Pesquisa Mensal de Comércio.

Observa-se que existem dados disponíveis sobre médias de temperaturas por cidade em séries históricas fornecidas pelo CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, entretanto, devido às dimensões continentais do Brasil, a utilização desse tipo de dado ficaria prejudicada tendo em vista as grandes amplitudes térmicas registradas em todo território. Tal utilização é mais bem aplicada em estudos focados em regiões geográficas menores como cidades ou estados.

Nos dados amostrais não foram encontradas observações fora do padrão (*outliers*) e também não foram encontrados valores ausentes (*missing values*). Todas as observações mensais do período de tempo analisado estão disponíveis.

As estatísticas descritivas das séries, bem como seus valores originais, encontram-se nas Tabelas 1 até 14 do Apêndice. As correlações lineares entre as variáveis endógenas (consumo comercial, industrial e residencial de energia elétrica) e suas respectivas variáveis exógenas em nível e em até quatro defasagens de tempo são apresentadas no capítulo de resultados.

4.3 Estimação dos modelos

Foi utilizado o software Eviews 5.0. Para as análises estatísticas estimando os parâmetros dos modelos aplicados foi utilizado o método dos Mínimos Quadrados Ordinários. Na especificação dos modelos de Box & Jenkins, para permitir a comparação de modelos

concorrentes foram utilizados os critérios de menor AIC e BSC. As estimações foram realizadas sobre o mesmo intervalo de dados.

O roteiro básico para estimação dos modelos neste trabalho envolve os seguintes passos:

- a) Identifica-se possíveis relações entre as variáveis endógena e exógenas por meio de análise gráfica e verificação de correlação linear entre a variável endógena e as variáveis exógenas em nível e em pelo menos quatro de suas defasagens;
- b) Estima-se um modelo de regressão linear múltipla com todas as variáveis exógenas e suas defasagens em até quatro unidades de tempo;
- c) A partir do modelo obtido, faz-se sua redução gradativa pelo método *backward* (nível descritivo de 0,10) até se chegar a um modelo mais parcimonioso;
- d) Analisam-se os correlogramas das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial para modelagem dos resíduos do modelo por meio de modelos de Box & Jenkins. Escolhe-se o melhor modelo com base nos critérios AIC e BSC para diversas tentativas;
- e) Verificam-se as hipóteses de ausência de autocorrelação serial, normalidade e ausência de heterocedasticidade dos resíduos do modelo;
- f) Calculam-se medidas de acurácia (MAPE e RMSE) em observações não incluídas na estimação do modelo (amostra de verificação).

4.4 Verificação dos resultados e previsões

Os modelos estimados utilizam dados de Janeiro de 2003 a Setembro de 2009. Os valores de Outubro de 2009 a Fevereiro de 2011 são deixados de fora da amostra para permitir a comparação com os valores previstos pelos modelos. As previsões são feitas com base no procedimento dinâmico. A análise dos resíduos é feita por meio dos testes de Jarque-Bera, Breusch-Godfrey e White apresentados no Capítulo 3. A análise das previsões é feita através de inspeção gráfica entre valores observados e previstos e por meio das medidas de acurácia MAPE e RMSE apresentadas no Capítulo 3.

5 RESULTADOS

Nesta sessão serão apresentados os resultados da modelagem das séries de consumo brasileiro de energia elétrica por setores. Buscou-se dar ênfase aos resultados das previsões com apresentação das medidas de acurácia e a adequação estatística do modelo levando em consideração os testes dos pressupostos dos modelos. Os dados brutos e suas estatísticas descritivas são apresentados nas Tabelas 1 a 14 do Apêndice.

Os coeficientes dos modelos ajustados neste capítulo foram obtidos por meio do software Eviews 5.0. As séries de consumo de energia e de todas as variáveis exógenas foram extraídas do site www.ipeadata.org.br.

5.1 Setor comercial

O consumo de energia elétrica do setor comercial ao longo do tempo é apresentado no Gráfico 9. No eixo vertical a variável ConsumoC registra a quantidade mensal de Gigawatts consumidos, segundo dados apresentados pelo boletim SIESE. A série contém 98 pontos mensais - Janeiro de 2003 a Fevereiro de 2011 – dos quais se utilizaram os 93 primeiros para ajustar o modelo e os 5 restantes foram utilizados para verificar a qualidade do modelo.

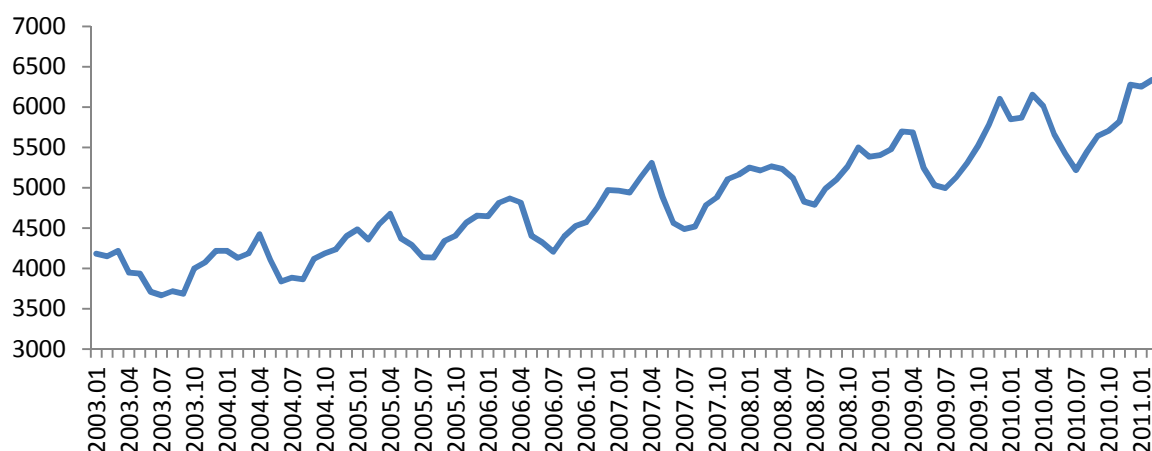


Gráfico 9 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC)

A inspeção visual do Gráfico 9 revela uma tendência de crescimento no consumo comercial de energia elétrica. A série mostra uma variabilidade constante ao longo do tempo. Nota-se também claro indício de sazonalidade na série com picos e vales que se sucedem em um padrão repetitivo ao longo do tempo. O consumo energético desse setor atinge picos em Março ou Abril.

A análise dos gráficos de dispersão entre a variável predita ConsumoC e as variáveis predictoras: tarifa média comercial de energia elétrica (PC), vendas reais no varejo (YC) e produção industrial de máquinas e equipamentos (LC) (Gráfico 10, Gráfico 11 e Gráfico 12) indica que as variáveis independentes YC e LC apresentam relação com a variável dependente e que não existe uma relação clara entre a variável ConsumoC e a variável PC. A variável YC aparenta estar mais fortemente relacionada à variável ConsumoC do que as demais, como é confirmado pelo seu maior coeficiente de correlação linear de Pearson com a variável ConsumoC. A Tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação linear de Pearson entre a variável ConsumoC e essas variáveis em nível e em até quatro unidades de tempo defasadas. Para a variável PC os coeficientes têm seus valores aumentados com o aumento das defasagens de tempo. A correlação entre ConsumoC e as variáveis YC e LC aumenta para defasagens superiores a 1.

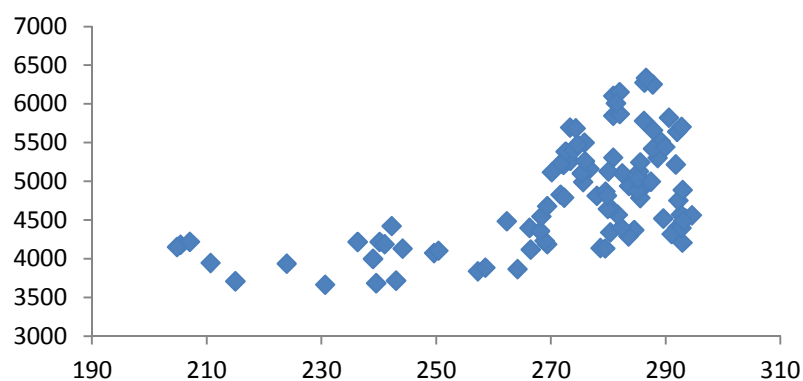


Gráfico 10 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) versus tarifa média comercial de energia elétrica (PC)

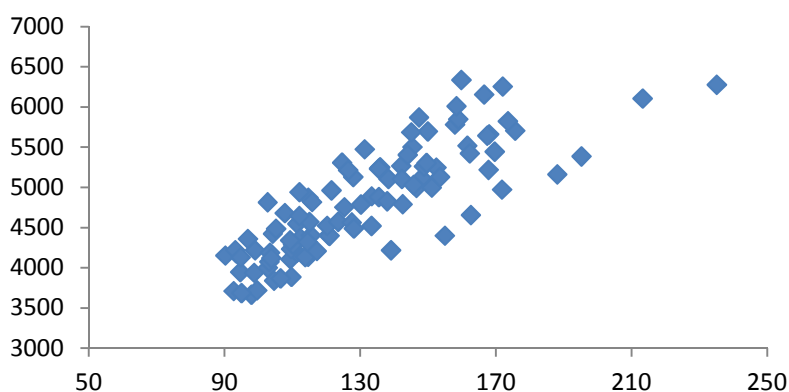


Gráfico 11 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) versus vendas reais no varejo (YC)

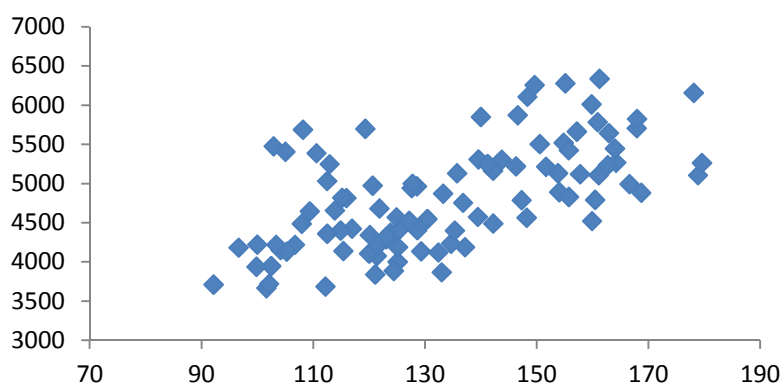


Gráfico 12 - Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) versus produção industrial de máquinas e equipamentos (LC)

Tabela 3 - Coeficientes de correlação linear entre ConsumoC e suas variáveis preditoras defasadas

	t-0	t-1	t-2	t-3	t-4
PC	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69
YC	0,82	0,81	0,81	0,85	0,87
LC	0,59	0,63	0,62	0,63	0,66

O consumo de energia elétrica do setor comercial foi modelado por meio de um modelo de regressão linear múltipla com uso das variáveis independentes PC, YC e LC e suas defasagens em até 4 unidades de tempo, ou seja, PC_{t-1} , PC_{t-2} , PC_{t-3} , PC_{t-4} , YC_{t-1} , ..., LC_{t-3} e LC_{t-4} . Foram retiradas pelo método *backward* variáveis com nível descritivo maior do que 0,1. As variáveis restantes ao final do método, bem como seus coeficientes, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo para ConsumoC ao final do método *backward*

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	p-valor
Constante	1497,80	244,37	6,13	0,00
PC _{t-1}	-12,96	2,52	-5,15	0,00
PC _{t-4}	14,19	2,29	6,19	0,00
YC	5,65	0,98	5,74	0,00
YC _{t-1}	3,44	0,97	3,55	0,00
YC _{t-2}	4,01	1,01	3,96	0,00
YC _{t-3}	6,51	1,00	6,50	0,00
YC _{t-4}	7,67	0,96	8,00	0,00
LC _{t-4}	-3,97	1,10	-3,61	0,00

O coeficiente de determinação ajustado obtido é 94,38% de ajuste aos dados. Observa-se pela estatística Durbin-Watson (1,20) que o modelo apresenta indícios de autocorrelação serial dos resíduos. De acordo com o teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF), rejeita-se a hipótese nula que os resíduos desse modelo são não-estacionários (estatística de teste: -6,062; valor crítico a um nível de 5% de significância: -3,462). Após a análise do correlograma dos resíduos, apresentado na Figura 5, nota-se que é possível o ajuste de um modelo ARMA aos resíduos. Dessa forma houve a adição dos termos AR(1), AR(7), MA(2) e MA(5) ao modelo.

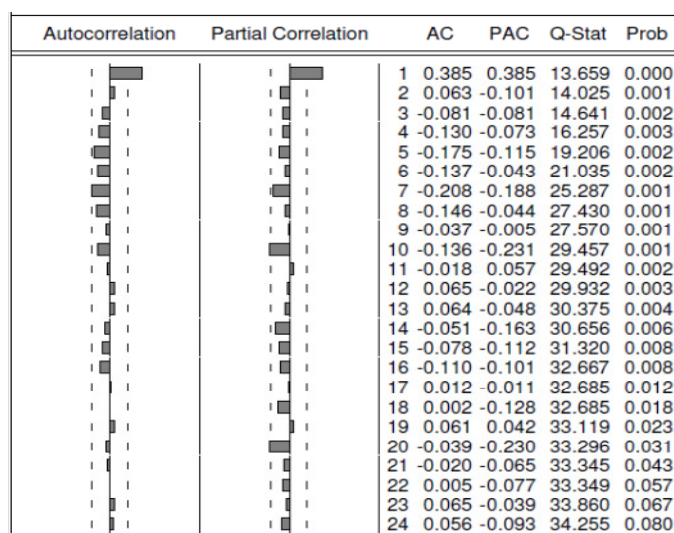


Figura 5 - Correlograma dos resíduos (ConsumoC) ao final do método *backward*

Após inclusão dos termos ARMA, tem-se o seguinte modelo final apresentado na Tabela 5 para a variável dependente ConsumoC.

Tabela 5 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo final para ConsumoC

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística-t	p-valor
Constante	1031,24	243,60	4,23	0,00
PC _{t-1}	-5,71	2,77	-2,06	0,04
PC _{t-4}	8,63	2,38	3,62	0,00
YC	5,52	0,61	9,09	0,00
YC _{t-1}	3,36	0,69	4,86	0,00
YC _{t-2}	2,63	0,74	3,57	0,00
YC _{t-3}	6,65	0,65	10,16	0,00
YC _{t-4}	9,12	0,58	15,60	0,00
LC _{t-4}	-4,02	0,90	-4,47	0,00
AR(1)	0,30	0,12	2,44	0,02
AR(7)	-0,33	0,13	-2,41	0,02
MA(2)	-0,23	0,09	-2,51	0,01
MA(5)	-0,71	0,09	-7,82	0,00

O modelo final para o consumo comercial apresenta um coeficiente de determinação ajustado de 95,91%. A análise do correlograma dos resíduos (apresentado na Figura 6) indica ausência de autocorrelação serial dos resíduos.

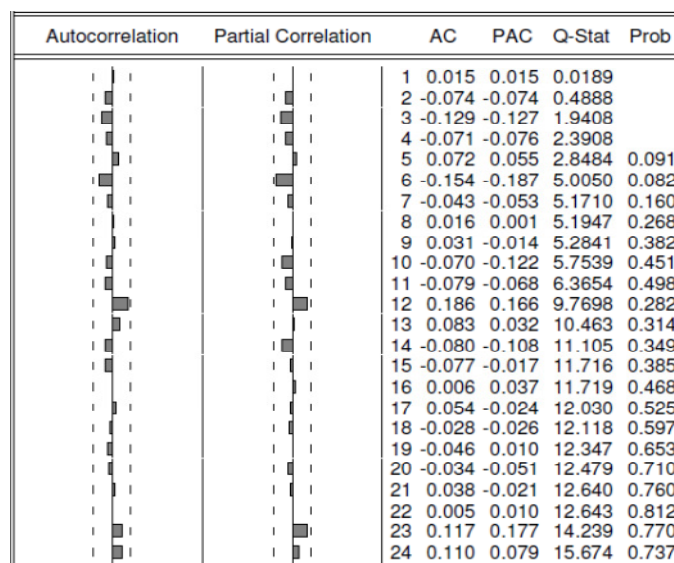


Figura 6 - Correlograma dos resíduos para o modelo final de ConsumoC

O Gráfico 13 apresenta o histograma dos resíduos. Nota-se que os resíduos parecem oriundos da distribuição normal. O teste de Jarque-Bera apresentou um nível descritivo de 0,348 sugerindo que há evidência de que os resíduos são oriundos da distribuição normal. O teste de Breush-Godfrey indica que não há evidências que os resíduos do modelo

apresentam autocorrelação serial (nível descritivo do teste de 0,861). O teste de White (nível descritivo de 0,940) indica ausência de indícios de heterocedasticidade dos resíduos.

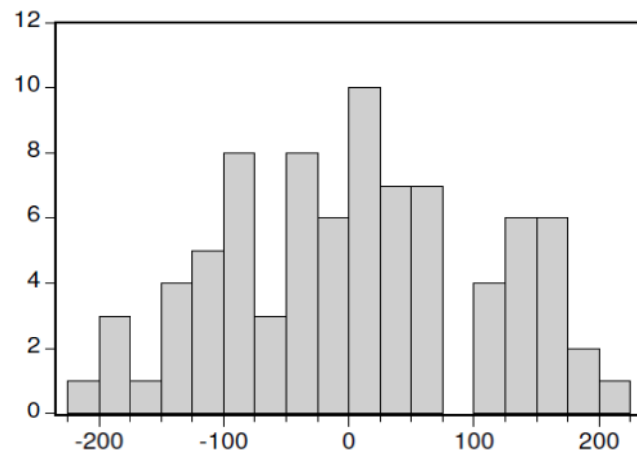


Gráfico 13 - Histograma dos resíduos do modelo final para ConsumoC

O Gráfico 14 apresenta valores projetados e seus respectivos intervalos com 95% de confiança para o consumo comercial com base na previsão dinâmica para o período de Outubro de 2010 a Fevereiro de 2011. Visualmente há indicação de que as previsões acompanharam relativamente as oscilações da série. Os valores reais para os cinco meses selecionados de validação estão todos dentro dos limites inferior e superior de previsão. Obteve-se um valor de 2,05% para o MAPE e de 144,13 para o RMSE.

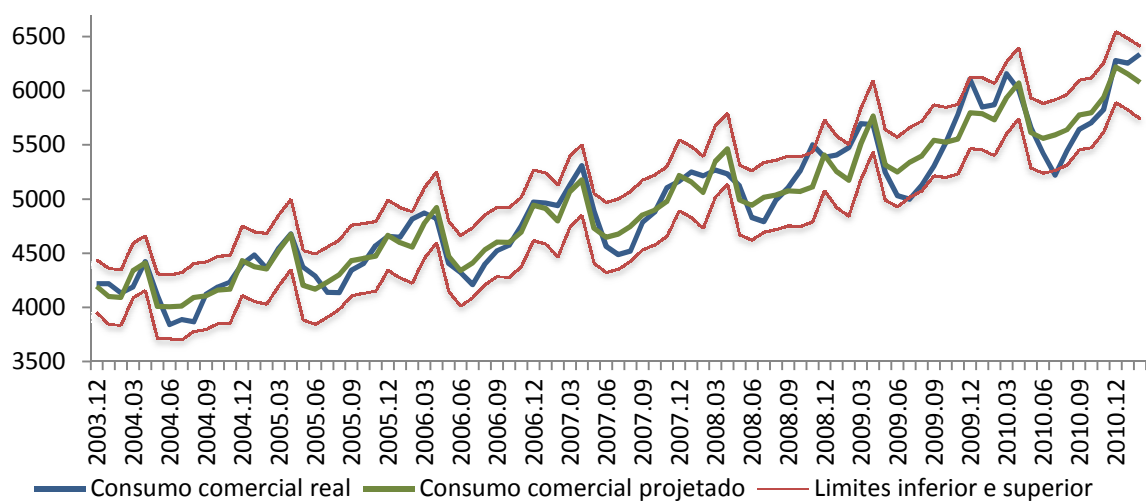


Gráfico 14 - Valores reais e projetados de ConsumoC

A Tabela 6 apresenta os valores reais, projetados e o intervalo com 95% de confiança para o consumo comercial de energia. Nota-se que os valores reais estão dentro do intervalo de confiança.

Tabela 6 - Valores reais e projetados de ConsumoC para a amostra de validação

Mês	Consumo comercial real	Consumo comercial projetado	Limite inferior	Limite superior
2010.10	5705	5796,1	5473,4	6118,7
2010.11	5823	5936,6	5615,3	6257,8
2010.12	6277	6218,0	5889,3	6546,8
2011.01	6255	6152,2	5822,2	6482,3
2011.02	6336	6074,0	5739,0	6409,0

5.2 Setor industrial

O consumo de energia elétrica do setor industrial ao longo do tempo é apresentado no Gráfico 15. No eixo vertical a variável ConsumoI registra a quantidade mensal de Gigawatts consumidos, segundo dados apresentados pelo boletim SIESE. A série contém 98 pontos mensais - Janeiro de 2003 a Fevereiro de 2011 – dos quais se utilizaram os 93 primeiros para ajustar o modelo e os 5 restantes foram utilizados para verificar a qualidade do modelo.

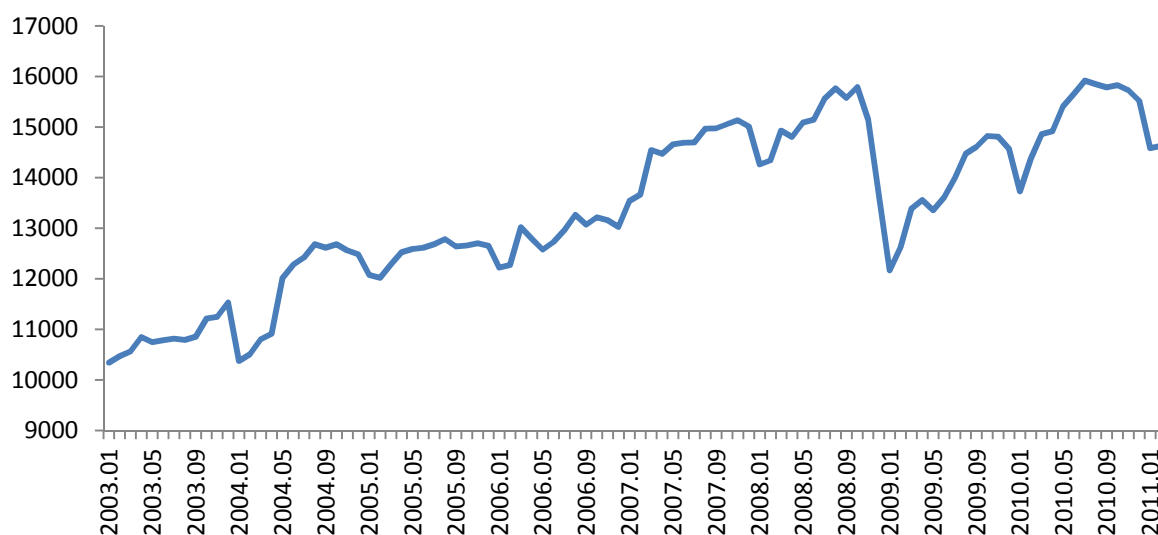


Gráfico 15 - Consumo industrial de energia elétrica (Consumo I)

A inspeção visual do Gráfico 15 revela uma tendência de crescimento no consumo industrial de energia elétrica. A série mostra uma variabilidade não constante ao longo do tempo. Nota-se também que há indícios de sazonalidade na série com vales nos meses de Janeiro quando a produção industrial e conseqüentemente o consumo energético do setor caem drasticamente. Nota-se o efeito da crise mundial que atingiu o consumo de energia industrial brasileiro no final de 2008.

A análise dos gráficos de dispersão entre a variável predita ConsumoI e as variáveis predictoras: faturamento real da indústria (YI), produção industrial de bens intermediários (LI) e preço do barril de petróleo (SI) (Gráfico 17, Gráfico 18 e Gráfico 19) indica que as variáveis independentes YI, LI e SI apresentam relação com a variável dependente. A Tabela 7 apresenta os coeficientes de correlação linear de Pearson entre a variável ConsumoI e essas variáveis em nível e em até quatro unidades de tempo defasadas. A variável SI, não apresenta alterações em seu coeficiente de correlação com a variável ConsumoI para diferentes defasagens de tempo. As variáveis YI e LI apresentam diminuições em seus coeficientes de correlação com a variável ConsumoI conforme aumentam as defasagens de tempo.

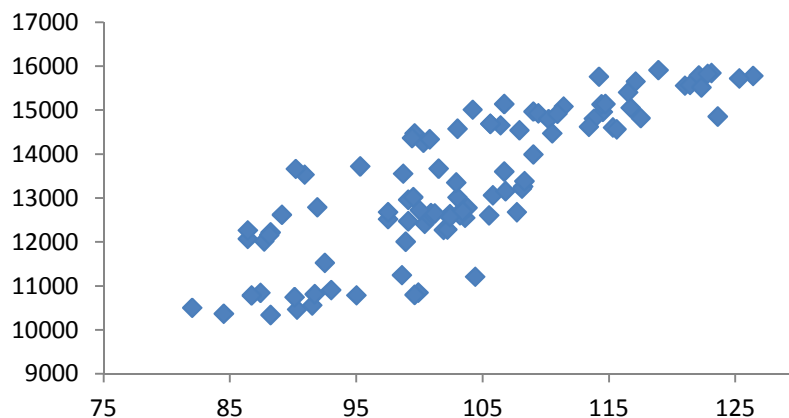


Gráfico 16 - Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) versus faturamento real da indústria (YI)

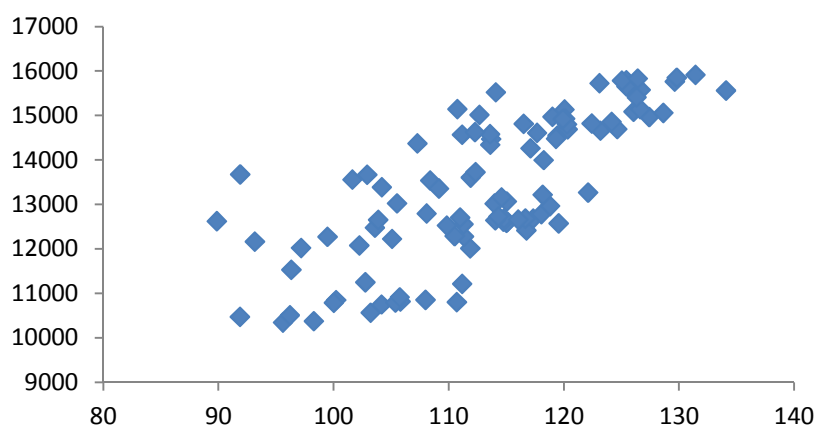


Gráfico 17 - Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) versus produção industrial de bens intermediários (LI)

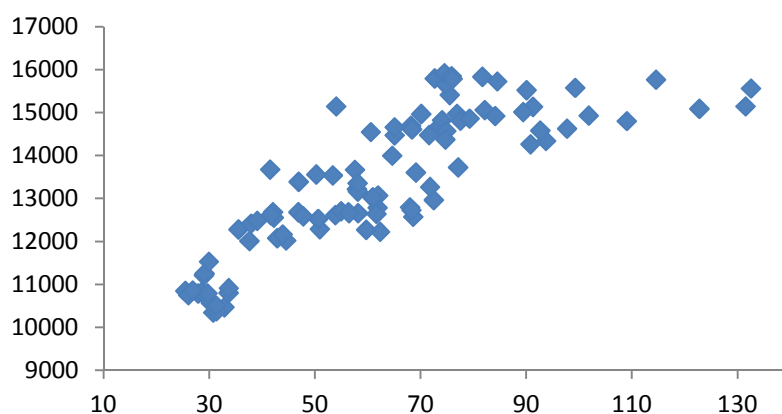


Gráfico 18 - Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) versus preço do barril de petróleo (SI)

Tabela 7 - Coeficientes de correlação linear entre ConsumoI e suas variáveis preditoras defasadas

	t-0	t-1	t-2	t-3	t-4
YI	0,81	0,77	0,70	0,63	0,57
LI	0,72	0,74	0,71	0,63	0,56
SI	0,82	0,84	0,83	0,80	0,76

O consumo de energia elétrica do setor industrial foi modelado por meio de um modelo de regressão linear múltipla com o uso das variáveis independentes YI, LI e SI e suas defasagens em até 4 unidades de tempo, ou seja, YI_{t-1} , YI_{t-2} , YI_{t-3} , YI_{t-4} , LI_{t-1} , ..., SI_{t-2} , SI_{t-3} e SI_{t-4} . Foram retiradas pelo método *backward* variáveis com níveis descritivos maiores que 0,1. As variáveis mantidas ao final do método são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo para ConsumoI ao final do método *backward*

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	p-valor
YI _{t-2}	26,53	13,29	2,00	0,05
YI _{t-3}	54,46	18,76	2,90	0,00
YI _{t-4}	29,06	11,16	2,60	0,01
LI	38,65	12,85	3,01	0,00
LI _{t-1}	53,84	18,19	2,96	0,00
LI _{t-3}	-74,16	21,05	-3,52	0,00

O coeficiente de determinação linear obtido é de 73,47%. Observa-se pela estatística Durbin-Watson (0,29) que o modelo apresenta indícios de autocorrelação serial dos resíduos. De acordo com o teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF), rejeita-se a hipótese nula que os resíduos desse modelo são não-estacionários (estatística de teste: -4,073; valor crítico a um nível de 5% de significância: -3,462). Após a análise do correlograma dos resíduos, apresentado na Figura 7, nota-se que é possível o ajuste de um modelo ARMA aos resíduos. Dessa forma houve a adição dos termos AR(1) e AR(12) ao modelo.

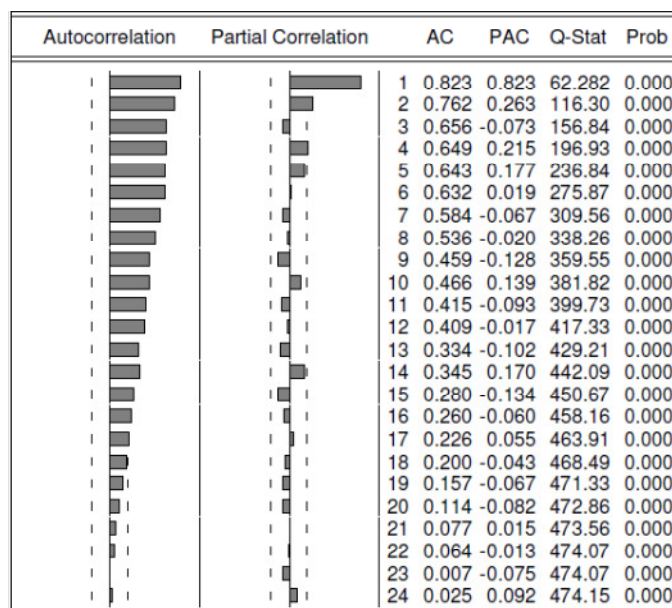


Figura 7 - Correlograma dos resíduos (ConsumoI) ao final do método *backward*

Após inclusão dos termos AR, tem-se o seguinte modelo final para a variável dependente ConsumoI, apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo final para ConsumoI

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	p-valor
YI_{t-2}	14,12	4,73	2,99	0,00
YI_{t-3}	25,37	7,42	3,42	0,00
YI_{t-4}	15,58	4,40	3,54	0,00
LI	51,36	5,15	9,98	0,00
LI_{t-1}	50,60	6,39	7,92	0,00
LI_{t-3}	-28,60	9,98	-2,87	0,01
AR(1)	0,69	0,08	9,16	0,00
AR(12)	0,17	0,06	2,78	0,01

O modelo final para o consumo industrial apresenta um coeficiente de determinação linear de 93,98%. A análise da estatística Durbin-Watson (1,64), e o correlograma dos resíduos (apresentado na Figura 8) indicam ausência de autocorrelação serial dos resíduos.

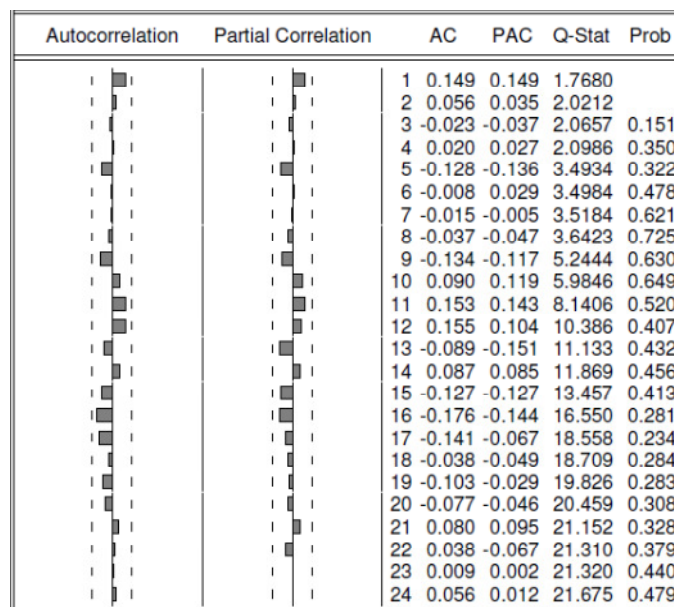


Figura 8 - Correlograma dos resíduos para o modelo final de ConsumoI

O Gráfico 19 apresenta o histograma dos resíduos. Nota-se que os resíduos parecem oriundos de uma distribuição normal. O teste Jarque-Bera apresentou um nível descritivo de 0,590 sugerindo que há evidência de que os resíduos são oriundos da distribuição normal. O teste de Breuch-Godfrey indica que não há evidências que os resíduos do modelo apresentam autocorrelação serial (nível descritivo do teste de 0,2132). O teste de White (nível descritivo de 0,834) indica ausência de indícios de heterocedasticidade dos resíduos.

O Gráfico 20 apresenta valores projetados e seus respectivos intervalos com 95% de confiança para o consumo industrial com base na previsão dinâmica para o período de Outubro de 2010 a Fevereiro de 2011. Visualmente há indicação de que as previsões acompanharam relativamente as oscilações da série. Observa-se que, mesmo com os efeitos de queda no consumo energético do setor industrial causados pela crise financeira do final de 2008, o modelo acompanha a série ao longo do tempo. Os valores reais para os cinco meses selecionados de validação estão dentro dos limites inferior e superior de previsão. Obteve-se um valor de 1,09% para o MAPE e 185,54 para o RMSE.

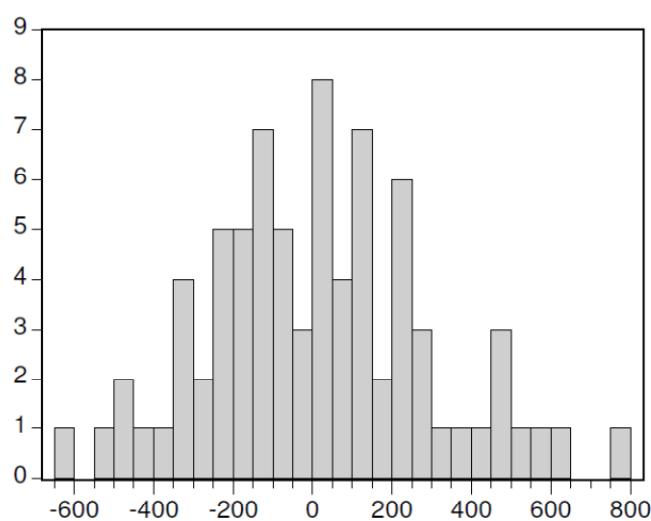


Gráfico 19 - Histograma dos resíduos do modelo final para ConsumoI

A Tabela 10 apresenta os valores reais, projetados e o intervalo com 95% de confiança para o consumo industrial de energia. Nota-se que os valores reais estão dentro do intervalo de confiança.

Tabela 10 - Valores reais e projetados de ConsumoI para a amostra de validação

Mês	Consumo industrial real	Consumo industrial projetado	Limite inferior	Limite superior
2010.10	15832	15573,1	14656,7	16489,6
2010.11	15726	15702,2	14790,1	16614,2
2010.12	15523	15308,7	14392,1	16225,3
2011.01	14581	14786,1	13868,7	15703,4
2011.02	14627	14755,7	13845,1	15666,4

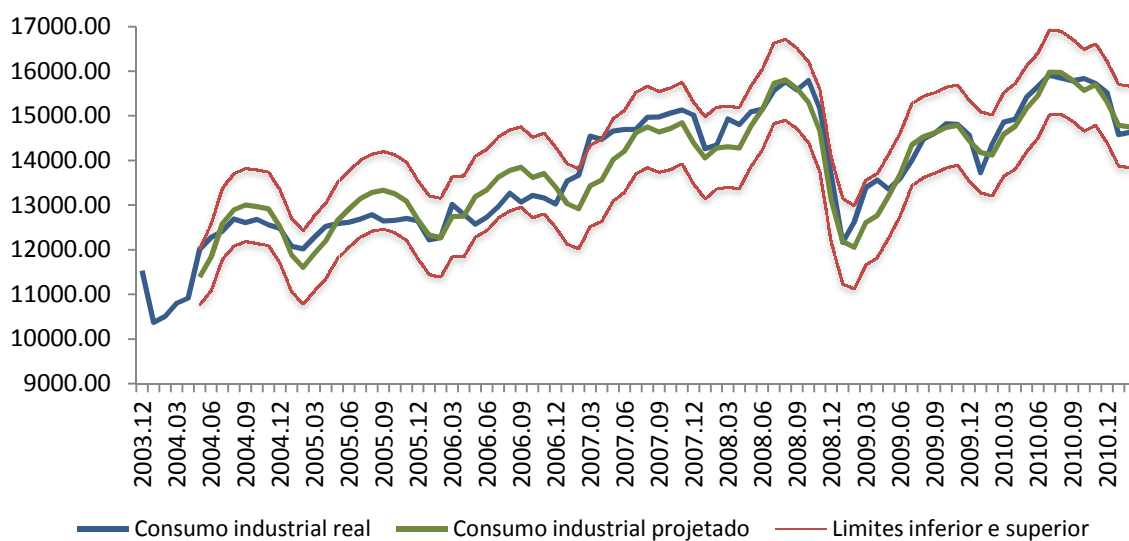


Gráfico 20 - Valores reais e projetados de ConsumoI

5.3 Setor residencial

O consumo de energia elétrica do setor residencial ao longo do tempo é apresentado no Gráfico 21. No eixo vertical a variável ConsumoR registra a quantidade mensal de Gigawatts consumidos, segundo dados apresentados pelo boletim SIESE. A série contém 98 pontos mensais - Janeiro de 2003 a Fevereiro de 2011 – dos quais se utilizaram os 93 primeiros para ajustar o modelo e os 5 restantes foram utilizados para verificar a qualidade do modelo.

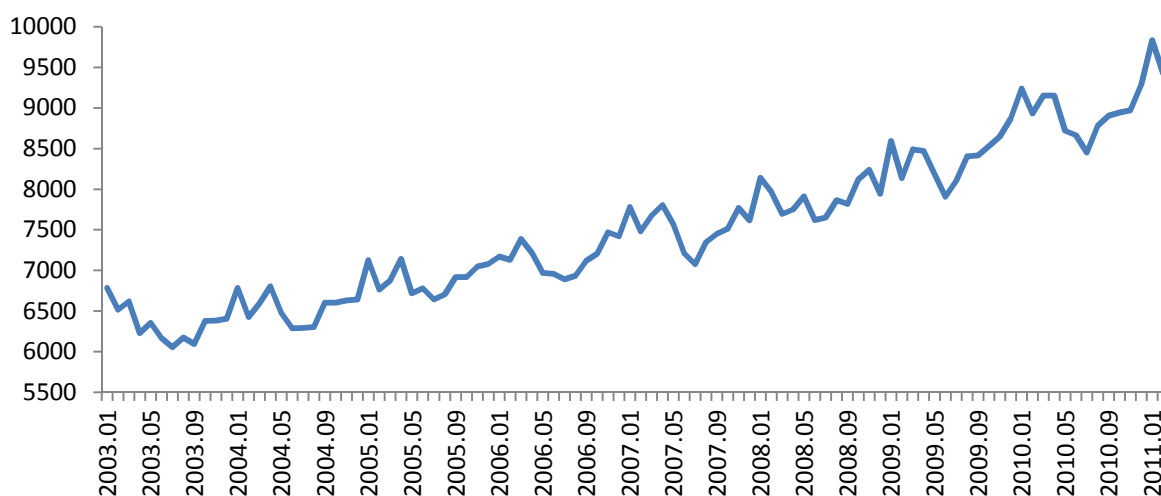


Gráfico 21 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR)

A inspeção visual do Gráfico 21 revela uma tendência de crescimento no consumo residencial de energia elétrica. A série mostra uma variabilidade constante ao longo do tempo. Nota-se também claro indício de sazonalidade na série. Nota-se pela análise visual gráfica que a série tem picos nos meses de Janeiro e Abril e vales nos meses de Junho e Julho.

A análise dos gráficos de dispersão entre a variável predita ConsumoR e as variáveis predictoras: tarifa média residencial de energia elétrica (PR), rendimento médio real habitual – pessoas ocupadas – regiões metropolitanas (YR) e vendas reais no varejo de móveis e eletrodomésticos (LR) (Gráfico 22, Gráfico 23 e Gráfico 24) indica que as variáveis independentes YR e PR apresentam relação com a variável dependente e que não existe uma relação clara entre a variável ConsumoR e a variável PR. A variável YR aparenta estar mais fortemente relacionada à variável ConsumoR no nível do que as demais, como é confirmado pelo seu maior coeficiente de correlação linear de Pearson com a variável ConsumoR. A Tabela 11 apresenta os coeficientes de correlação linear de Pearson entre a variável ConsumoR e essas variáveis em nível e em até 4 unidades de tempo defasadas, ou seja, PR_{t-1} , PR_{t-2} , PR_{t-3} , PR_{t-4} , YR_{t-1} , ... , LR_{t-3} e LR_{t-4} . A variável PR não apresenta grandes alterações em seu coeficiente de correlação com a variável ConsumoR para diferentes defasagens de tempo. As variáveis YR e LR apresentam pequenos aumentos em seus coeficientes de correlação com a variável ConsumoR conforme aumentam suas defasagens de tempo.

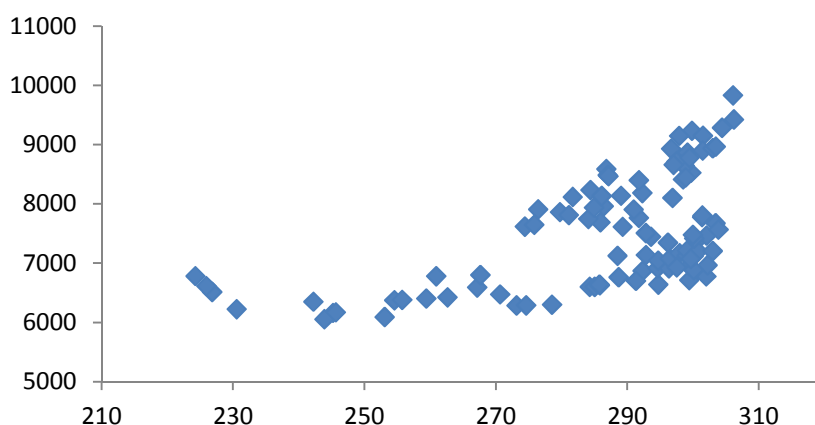


Gráfico 22 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR) versus tarifa média residencial de energia elétrica (PR)

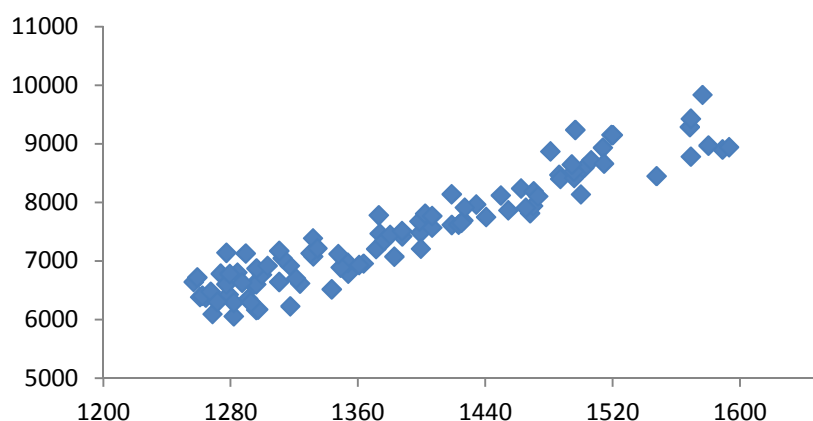


Gráfico 23 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR) versus rendimento médio habitual – pessoas ocupadas – regiões metropolitanas (YR)

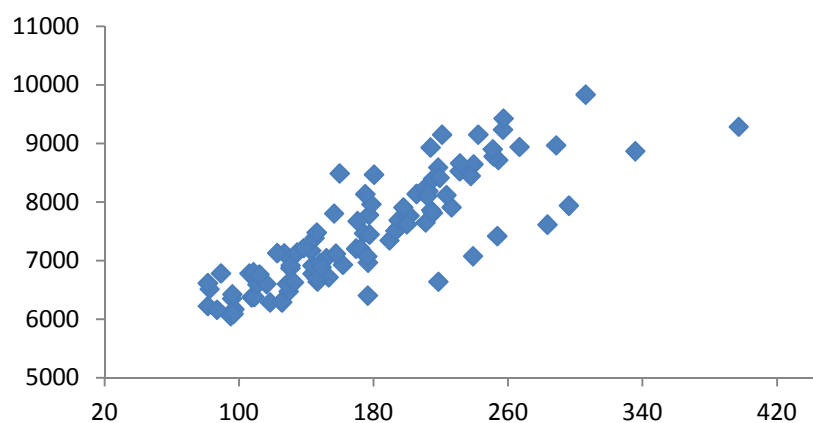


Gráfico 24 - Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoC) versus vendas reais no varejo de móveis e eletrodomésticos (LR)

O consumo de energia elétrica do setor residencial foi modelado por meio de um modelo de regressão linear múltipla com o uso das variáveis independentes PR, YR, LR e SR e suas defasagens em até quatro unidades de tempo, ou seja, PR_{t-1} , PR_{t-2} , PR_{t-3} , PR_{t-4} , YR_{t-1} , ... , LR_{t-3} e LR_{t-4} . Foram retiradas pelo método *backward* as variáveis com níveis descritivos superiores a 0,1. As variáveis mantidas ao final do método *backward* são apresentado na Tabela 12.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação linear entre ConsumoR e suas variáveis preditoras defasadas

	t-0	t-1	t-2	t-3	t-4
PR	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58
YR	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92
LR	0,83	0,89	0,84	0,88	0,87

Tabela 12 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo para ConsumoR ao final do método *backward*

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	p-valor
PR	17,85	3,70	4,82	0,00
PR _{t-4}	-14,44	3,28	-4,40	0,00
YI _{t-2}	3,09	0,27	11,63	0,00
LI _{t-1}	4,66	0,56	8,37	0,00
LI _{t-2}	1,06	0,61	1,73	0,09
LI _{t-3}	3,38	0,60	5,66	0,00
LI _{t-4}	3,55	0,57	6,21	0,00

O coeficiente de determinação obtido é 96,14%. Observa-se pela estatística Durbin-Watson (1,21) que o modelo tem indícios de autocorrelação serial dos resíduos. De acordo com o teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF), rejeita-se a hipótese nula que os resíduos desse modelo são não-estacionários (estatística de teste: -6,112; valor crítico a um nível de 5% de significância: -3,462). Após a análise do correlograma dos resíduos, apresentado na Figura 9, nota-se que é possível o ajuste de um modelo ARMA aos resíduos. Dessa forma houve a adição dos termos AR(1) e SAR(12) ao modelo.

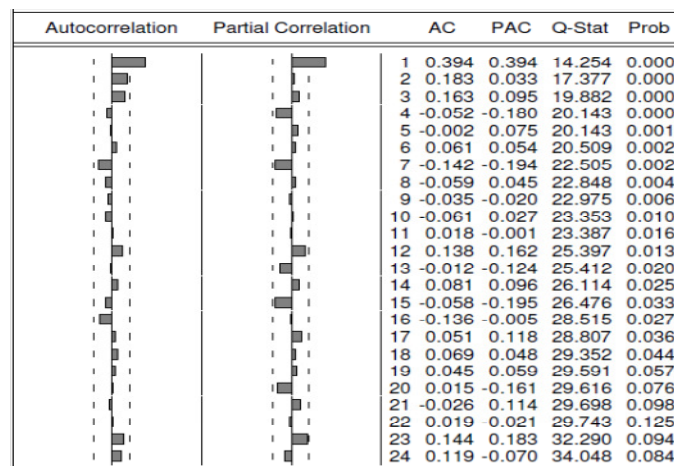


Figura 9 - Correlograma dos resíduos (ConsumoR) ao final do método *backward*

Após inclusão dos termos AR e SAR, tem-se o seguinte modelo final para a variável dependente ConsumoR, apresentado na Tabela 13.

O modelo final para o consumo comercial apresenta um coeficiente determinação ajustado de 96,03%. A análise do correlograma do resíduos (apresentado na Figura 10) indica ausência de autocorrelação serial dos resíduos.

Tabela 13 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e nível descritivo (p-valor) para o modelo final para ConsumoR

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística-t	p-valor
PR	12,43	5,07	2,45	0,02
PR _{t-4}	-8,06	4,51	-1,79	0,08
YI _{t-2}	2,85	0,69	4,13	0,00
LI _{t-1}	4,37	0,76	5,77	0,00
LI _{t-2}	1,43	0,74	1,95	0,06
LI _{t-3}	3,95	0,73	5,43	0,00
LI _{t-4}	3,13	0,77	4,04	0,00
AR(1)	0,45	0,12	3,90	0,00
SAR(12)	0,25	0,12	2,00	0,05

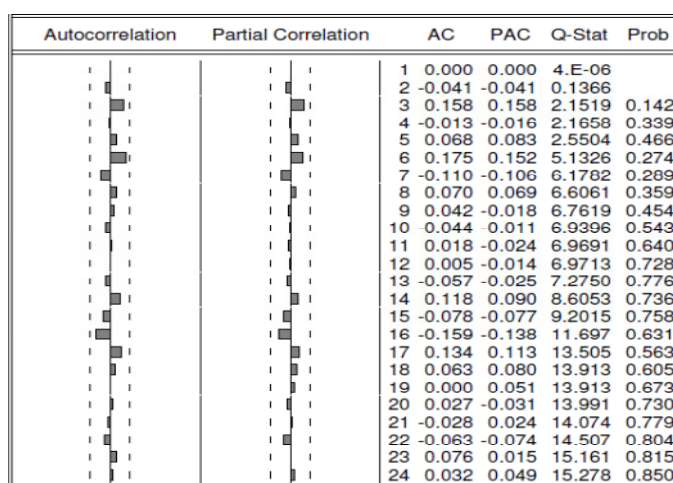


Figura 10 - Correlograma dos resíduos para o modelo final de ConsumoR

O Gráfico 25 apresenta o histograma dos resíduos. Nota-se que os resíduos parecem oriundos da distribuição normal. O teste Jarque-Bera apresentou um nível descritivo de 0,314 sugerindo que há evidência de que os resíduos são oriundos da distribuição normal. O teste de Breusch-Godfrey indica que não há evidências que os resíduos do modelo apresentam autocorrelação serial (nível descritivo do teste de 0,714). O teste de White (nível descritivo de 0,305) indica ausência de indícios de heterocedasticidade dos resíduos.

O Gráfico 26 apresenta os valores projetados e seus respectivos intervalos com 95% de confiança para o consumo residencial com base na previsão dinâmica para o período de Outubro de 2010 a Fevereiro de 2011. Visualmente há indicação de que as previsões acompanharam relativamente bem o sentido das oscilações da série real. Os valores reais para os cinco meses de validação estão dentro dos limites inferior e superior de previsão. Obteve-se um valor de 1,27% para o MAPE e 158,40 para o RMSE.

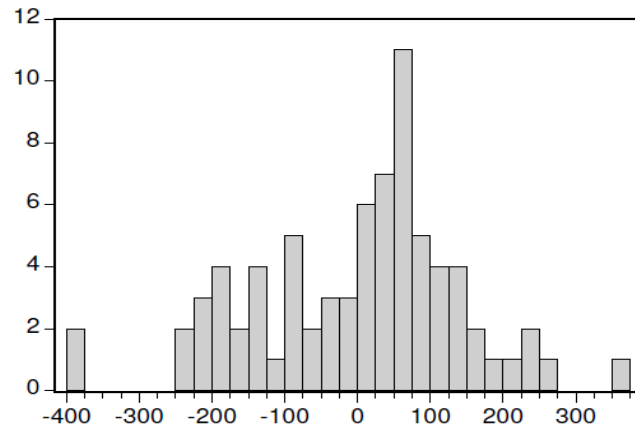


Gráfico 25 - Histograma dos resíduos do modelo final para ConsumoR

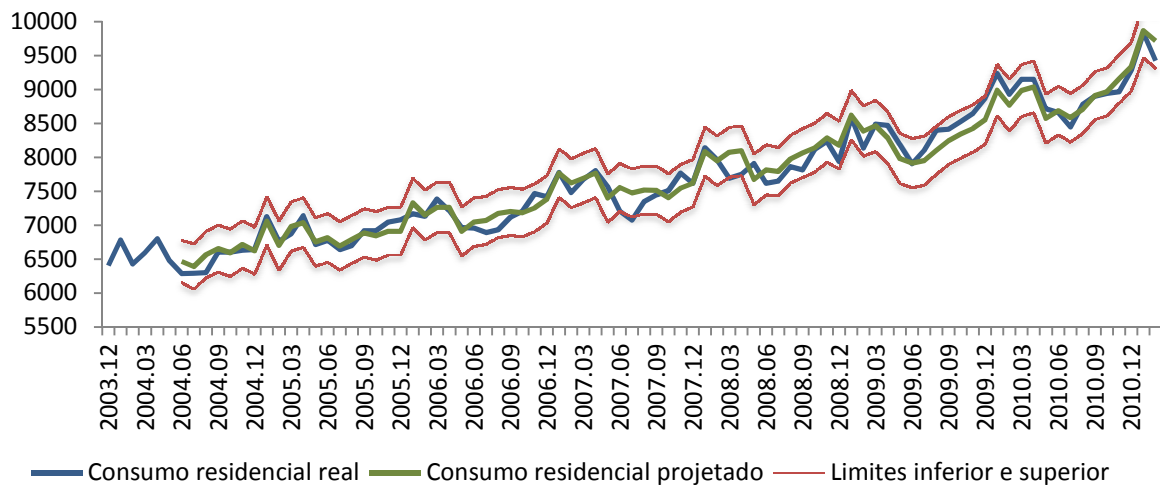


Gráfico 26 - Valores reais e projetados de ConsumoR

A Tabela 14 apresenta os valores reais, projetados e o intervalo com 95% de confiança para o consumo residencial de energia. Nota-se que os valores reais estão dentro do intervalo de confiança.

Tabela 14 - Valores reais e projetados de ConsumoR para a amostra de validação

Mês	Consumo residencial real	Consumo residencial projetado	Limite inferior	Limite superior
2010.10	8943	8967,9	8612,4	9323,4
2010.11	8970	9158,4	8802,3	9514,6
2010.12	9287	9335,9	8977,2	9694,5
2011.01	9835	9869,8	9468,3	10271,3
2011.02	9427	9719,8	9311,2	10128,4

6 CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho são apresentadas a seguir:

- a) A previsão da demanda de energia elétrica nacional para os três maiores setores pode ser feita com base na metodologia de Box & Jenkins com a inclusão de variáveis exógenas, gerando bons resultados empíricos em termos de acurácia e adequação aos pressupostos do modelo geral;
- b) A viabilidade da utilização de variáveis macroeconômicas como variáveis predictoras do consumo de energia elétrica nos setores comercial, industrial e residencial foi testada, sendo encontrados resultados satisfatórios. Encontrou-se uma boa acurácia nos modelos voltados a cada um dos três setores de acordo com as medidas MAPE e RMSE. O coeficiente de determinação ajustado foi superior a 95%;
- c) Foi previsto o consumo de energia elétrica por setores através da regressão linear múltipla com os resíduos modelados pela metodologia de Box & Jenkins. O consumo comercial foi modelado por meio de um modelo ARMAX com coeficiente de determinação ajustado de 95,91%. O consumo industrial foi modelado por meio de um modelo ARX com coeficiente de determinação ajustado de 93,98% O consumo residencial foi modelado por meio de um modelo SARX com um coeficiente de determinação ajustado de 96,04%;
- d) A viabilidade dos modelos SARMAX pode ser considerada em termos de adequação dos modelos estimados à premissa do modelo geral e, em termos da acurácia das previsões geradas para a amostra de dados escolhida, estes apresentam indícios de serem uma boa aplicação empírica no caso do consumo de energia elétrica no Brasil;
- e) Estudos realizados com base de dados mensais, como Assimakopoulos e Psarras (1991), encontram 2,65% de MAPE para o pico mensal de consumo estimado na Grécia; Azadeh *et al* (2008) encontram valores de MAPE que variam de 24% a 0,01% conforme varia a técnica de estimação do consumo energético no Irã; e Gabreyohanes (2010) encontra um MAPE de 2,86% para o método SETAR e 3,61% para o método AR do consumo energético da Etiópia. Os valores de MAPE de 2,05%, 2,45% e 1,27% para os setores comercial, industrial e residencial do consumo de energia elétrica encontrados neste estudo parecem ser relativamente satisfatórios para estimar o consumo energético no Brasil;

- f) Por fim, sugere-se para estudos seguintes a avaliação do fator relativo às condições climáticas sobre o consumo energético, e possíveis redimensionamentos sobre a base geográfica da amostra, reduzindo sua abrangência ao nível de municípios ou ao nível de cobertura de algum agente do setor, como por exemplo a empresa ELETROPAULO no estado de São Paulo, ou ENERSUL no estado do Mato Grosso do Sul.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. F. S.; SANT'ANNA, A. P. Estimativa do consumo de energia elétrica no Brasil por classes. **Relatórios de pesquisa em engenharia de produção**. v.9, n.5, 2009.

AKAY, D.; ATAK, M. Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey. **Energy**. v.32, p.1670-1675, 2007.

AKMAL, M.; STERN, D. I. Residential energy demand in Australia: an application of dynamic OLS. **Working papers in ecological economics**. Canberra: Centre for resource and environmental studies, n. 104, 2001.

AL-FARIS, A. R. F. The demand for electricity in the GCC countries. **Energy policy**. v.30, p.117-124, 2002.

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

AMJADI, M. H.; NEZAMABADI-POUR, H.; FARSANGI, M. M. Estimation of electricity demand of Iran using two heuristic algorithms. **Energy conversion and management**. v.51, p.493-497, 2010.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório ANEEL 10 anos**. Brasília, 2008.

ASSIMAKOPOULOS, V.; PSARRAS, J. A double horizon peak demand forecast model. **Energy economics**. Abril, 1992.

ATAKHANOVA, Z.; HOWIE, P. Electricity demand in Kazakhstan. **Energy policy**. v.35, p.3729-3743, 2007.

AZADEH, A.; GHADERI, S. F.; SOHRABKHANI, S. Annual electricity consumption forecasting by neural network in high energy consuming industrial sectors. **Energy conversion and management**. v.49, p.2272-2278, 2008.

BADRI, M. A. Analysis of demand for electricity in the United States. **Energy**. v.17, n.7, p.725-733, 1992.

BAKHAT, M.; ROSSELLÓ, J. Estimation of tourism-induced electricity consumption: the case study of Balearics Islands, Spain. **Energy economics**. (2011) doi: 10.1016 /j.eneco. 2010.12.09.

BECCALI, M.; CELLURA, M.; LO BRANO, V.; MARVUGLIA, A. Short-term prediction of household electricity consumption: Assessing weather sensitivity in a Mediterranean area. **Renewable and sustainable energy review**. v.12, p.2040-2065, 2008.

BERG, S. V.; LOUNGANI, P. Modelling state energy consumption: forecasts to Florida, 1987-2006. **Energy economics**. Julho, 1990.

BESSEC, M.; FOUQUAU, J. The non-linear link between electricity consumption and temperature in Europe: a threshold panel approach. **Energy economics**. v.30, p.2705-2721, 2008.

BOSE, R. K.; SHUKLA, M. Elasticities of electricity demand in India. **Energy policy**. v.27, p.137-146, 1999.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis forecasting and control**. San Francisco: Holden-day, 1976.

BRANCO, A. C. G. O. C. **Projeção de demanda de energia elétrica**. Salvador, 2003. Dissertação (Mestrado em regulação da indústria de energia). Universidade Salvador – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Salvador UNIFACS. 2003.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Luz para Todos**. 2005. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/progrms_display.do?chn=682>. Último acesso em Dezembro de 2010.

BRASIL. **Balanco 4 anos 2007-2010** - Programa de Aceleração do Crescimento. 2010a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2019**. Brasília: MME/EPE, 2010b.

BRASIL. **Relatório PAC: 11º balanço**. 2010c. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/pac/relatorios/nacionais/11o-balanco-4-anos>>. Último acesso em Dezembro de 2010.

CASTRO, J. B. B.; MONTINI, A. A. Previsão do consumo residencial de energia elétrica no Brasil: Aplicação do modelo ARX. *In*: XII SEMEAD, 2010, São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2010.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **O processo de comercialização**. Disponível em <<http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vnextoid=dbaaa5c1de88a010VgnVC M100000aa01a8c0RCRD>>. Último acesso em Julho de 2011.

CEYLAN, H.; OZTURK, H. K. Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach. **Energy conversion and management**. v.45, p.2525-2537, 2004.

CHERN, W. S.; BOUIS, H. E. Structural changes in residential electricity demand. **Energy Economics**. Julho, 1988.

COLLARD, F.; FÈVE, P.; PORTIER, F. Electricity consumption and ICT in the French service sector. **Energy economics**. v.27, p.541-550, 2005.

CRUZEIRO DO SUL. **Consórcio energético**. Disponível em: <<http://www.consorcio Cruzeiro do Sul.com.br/a-usina>>. Último acesso em Junho de 2011.

CUSTÓDIO JR., S. S. **A importância do papel institucional de uma agência reguladora no desenvolvimento da indústria de energia elétrica no Brasil – estudo de caso: ANEEL**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

DIAS, E. D. M. **Previsão de médio prazo do consumo de energia elétrica no Brasil: Estimção via metodologia de Box & Jenkins e regressão dinâmica**. Juiz de Fora, 2008. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Juiz de Fora – Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada da Faculdade de Economia e Administração da Universidade Federal de Juiz de Fora.

DONATOS, G. S.; MERGOS, G. J. Residential demand for electricity: the case of Greece. **Energy economics**. v. 13, p. 41-47, 1991.

EDIGER, V. S.; AKAR, S. ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. **Energy policy**. v.35, p.1701-1708, 2007.

EGELIOGLU, F.; MOHAMAD, A. A.; GUVEN, H. Economic variables and electricity consumption in Northern Cyprus. **Energy**. v.26, p.355-362, 2001.

ELSEVIER. **Produtos > Science direct**. Disponível em: <http://www.americalatina.elsevier.com/sul/pt-br/science_direct.php>. Último acesso em Abril de 2011.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. 2nd ed. USA: Wiley, 2004.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Rio de Janeiro: 17/04/2006.

_____. **Balço energético nacional 2010**: Ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE. 2010.

_____. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Rio de Janeiro: n. 47, 2011a.

_____. **Balço energético nacional 2011**: Ano base 2010 (resultados preliminares). Rio de Janeiro: EPE. 2011b.

FLAIG, G. Household production and the short and long-run demand for electricity. **Energy economics**. Abril, 1990.

FLORES, C. E.; PHELAN, P. E.; MOU, J.-I.; BRYAN, H. Forecasting the electricity consumption of the Mexican border states maquiladoras. **International journal of energy research**. v.28, p.641-660, 2004.

GABREYOHANES, E. A nonlinear approach to modelling the residential electricity consumption in Ethiopia. **Energy economics**. v.32, p.515-523, 2010.

GALHANO, P. P. P. **Competências críticas e gestão do conhecimento em empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica após o advento do marco regulatório**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Administração). Universidade de São Paulo - Programa de Pós-graduação em Administração, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

GHOSH, S. Electricity supply, employment and real GDP in India: evidence from cointegration and Granger-causality tests. **Energy policy**. v.37, p.2926-2929, 2009.

GLASURE, Y. U.; LEE, A.-R. Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy: The case of South Korea and Singapore. **Resource and energy economics**. v.20, p.17-25, 1997.

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

HALVORSEN, B.; LARSEN, B. M. Norwegian residential electricity demand – a microeconomic assessment of the growth from 1976 to 1993. **Energy policy**. v.29, p.227-236, 2001.

HEKKENBERG, M.; BENDERS, R. M. J.; MOLL, H. C.; UITERKAMP, A. J. M. S. Indications for a changing electricity demand pattern: The temperature dependence of electricity demand in Netherlands. **Energy policy**. v.37, p.1542-1551, 2009.

HOLTEDAHL, P.; JOUTZ, F. L. Residential electricity demand in Taiwan. **Energy economics**. v.26, p.201-224, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **Contas nacionais trimestrais**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/>. Último acesso em Junho de 2011.

IRFFI, G.; CASTELAR, I.; SIQUEIRA.; LINHARES, F. Previsão da demanda por energia elétrica para as classes de consumo na região Nordeste usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia aplicada**. v. 13, n. 1, p. 624-663, 2009.

IPEADATA. Disponível em: <www.ipeadata.gov.br>. Último acesso em Setembro de 2011.

KUCUKALI, S.; BARIS, K. Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by *fuzzy* logic approach. **Energy policy**. v.38, p.2438-2445, 2010.

LAM, J. C. Climatic and economic influences on residential electricity consumption. **Energy conversion management**. v.39, n.7, p.663-629, 1998.

LAM, J. C.; TANG, H. L.; LI, D. H. W. Seasonal variations in residential and commercial sector electricity consumption in Hong Kong. **Energy**. v.33, p.513-523, 2008.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1997.

MELLO, H. C. F. **Setor elétrico brasileiro: visão política e estratégica**. Rio de Janeiro, 1999. Monografia (Altos Estudos de Política Estratégica). Escola Superior de Guerra.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MODIANO, E. M. Elasticidade renda e preços da demanda de energia elétrica no Brasil. **Textos para discussão**. Rio de Janeiro: Departamento de Economia da PUC, n. 68. 1984.

MODIANO, E. M. Elasticidade renda e preços da demanda de Energia elétrica no Brasil. **Texto para discussão, n.68**. Rio de Janeiro: Departamento de Economia da PUC, 1984.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

ODIAMBO, N. M. Electricity consumption and economic growth in South Africa: A trivariate causality test. **Energy economics**. v.31, p.635-640, 2009.

OLIVEIRA, A.; SILVEIRA, G. B.; BRAGA, J. M. Diversidade sazonal do consumo de energia elétrica no Brasil. **Pesquisa e planejamento econômico**. v.30, n.2, p.211-258, 2000.

PAO, H-T. Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan's electricity consumption. **Energy**. v.31, p.2129-2141, 2006.

PAPPAS, S. Sp.; EKONOMOU, L.; KARAMOUSANTAS, D. Ch.; CHATZARAKIS, G. E.; KATSIKAS, S. K.; LIATIS, P. Electricity demand loads modeling using AutoRegressive Moving Average (ARMA) models. **Energy**. v.33, p.1353-1360, 2008.

PASCHOALINO, F. F.; LOUREIRO, T. Y. C. **Previsão de demanda de energia elétrica no Brasil com base em redes neurais de elman**. Niterói, 2007. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) Universidade Fluminense.

PÊGO, B.; NETO, C. A. S. C. O PAC e o setor elétrico: desafios para o abastecimento do mercado brasileiro (2007-2010). **Texto para discussão**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, n. 1239, 2008.

PILLI-SIHVOLA, K.; AATOLA, P.; OLLIKAINEN, M.; TUOMENVITA, H. Climate change and electricity consumption – witnessing increasing or decreasing use cost? **Energy policy**. v.38, p.2409-2419, 2010.

SAAB, S.; BADR, E.; NASR, G. Univariate modeling and forecasting of energy consumption: the case of electricity in Lebanon. **Energy**. v.26, p.1-14, 2001.

SAED, A. B. J. Estimation of total energy consumption in Jordam 1980-1999: evidence from cointegration and stock. **Journal of economics & administrative sciences**. v. 20, n. 1, pg. 71-82, 2004.

SARI, R.; SOYTAS, U. Disaggregate energy consumption, employment and income in Turkey. **Energy economics**. v.26, p.335-344, 2004.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista brasileira de economia**. v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

SHUMWAY, R. H.; STOFFER, D. S. **Time series analysis and its applications with R examples**. Springer: New York, 2006.

SILK, J. I.; JOUTZ, F. L. Short and long-run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach. **Energy economics**. v. 19, pg. 493-513, 1997.

SIQUEIRA, M. L.; CORDEIRO JR., H. H.; CASTELAR, I. A demanda por energia elétrica no Nordeste brasileiro após racionamento de 2001-2002: previsões de longo prazo. **Pesquisa e planejamento econômico**. v. 36, n. 1, p.137-178, 2006.

SIQUEIRA, M. L.; HOLLANDA, H. A demanda setorial por energia elétrica no pós-racionamento de 2001: previsões de longo prazo para o nordeste brasileiro. *In: X Encontro Regional de Economia*. 2005.

SOUZA, R. C.; CAMARGO, M. **Análise e previsão de séries temporais: os modelos ARIMA**. Ujuí: Editora Unijuí, 1996.

TSAY, R. S. **Analysis of financial time series**. John Willey & Sons: Canada, 2002.

ZACHARIADIS, T.; PASHOURTIDOU, N. An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus. **Energy economics**. v.29, p. 183-198, 2007.

ZIRAMBA, E. The demand for residential electricity in South Africa. **Energy policy**. v36, p.3460-3466, 2008.

YUAN, J.; ZHAO, C.; YU, S.; HU, Z. Electricity consumption and economic growth in China: Cointegration and co-feature analysis. **Energy economics**. v.29, p.1179-1191, 2007.

WANGPATTARAPONG, K.; MANEEWAN, S.; KETJOY, N.; RAKWICHIAN, W. The impacts of climatic and economic factors on residential electricity consumption of Bangkok metropolis. **Energy and buildings**. v.40, p.1419-1425, 2008.

WIKIPÉDIA. **Crise financeira**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Crise_financeira>. Último acesso em Julho de 2011.

WOLDE-RUFAEL, Y. Electricity consumption and economic growth: a time series experience for 17 African countries. **Energy policy**. v.34, p.1106-1114, 2006.

APÉNDICE

Quadro 1 – Estudos sobre previsão da demanda energética

Estudo	Frequência dos dados	Período	Região de estudo	Variáveis preditas	Variáveis preditoras	Modelos ajustados
Abosedra, Dah e Ghosh (2009)	Mensal	1995(1)-2005(12)	Líbano	consumo de energia elétrica	importações, temperatura, umidade relativa	VAR
Abreu e Sant'anna (2009)	Mensal	2003(1)-2008(12)	Brasil	consumo de energia elétrica: residencial, comercial, e industrial	tarifa, rendimento médio habitual, IPA-EP bens de consumo duráveis, vendas reais no varejo, IPA-OG material elétrico, faturamento real da indústria, IPA-EP bens finais, máquinas e equipamentos industriais, IPA-EP combustíveis e lubrificantes para produção	ARX
Akay e Atak (2007)	Anual	1970-2004	Turquia	consumo de energia elétrica: total, e industrial	valores defasados da série	GPRM
Akmal e Stern (2001)	Trimestral	1969(3)-1998(2)	Austrália	consumo residencial de energia elétrica	preço dos combustíveis, consumo <i>per capita</i> real médio, <i>dummies</i> trimestrais	VAR
Al-Faris (2002)	Anual	1970-1997	Arábia Saudita, Kuwait, Bahrain, Qatar, e Emirados Árabes Unidos	consumo de energia elétrica	tarifa, preço do petróleo, PIB real	VAR
Al-Janabi (1979)	Anual	1967-1977	Países da OPEC	consumo de petróleo, consumo de gás natural	valores defasados da série	projeção tendência
Altinay e Karagol (2005)	Anual	1950-2000	Turquia	consumo de energia elétrica	PIB	VAR
Alvarez-Ramirez e Escarela-Perez (2010)	Diário	2000(1)-2008(6)	Ontário e Alberta	consumo de energia elétrica, preço da eletricidade no mercado <i>spot</i>	consumo de energia elétrica, preço da eletricidade no mercado <i>spot</i>	<i>detrended fluctuation analysis</i>
Amjadi, Nezamabadi-pour e Farsangi (2010)	Anual	1980-2000	Irã	consumo de energia elétrica	produto doméstico bruto, tamanho populacional, número de consumidores de eletricidade, tarifa	algoritmos genéticos

Amusa, Amusa e Mabugu (2009)	Anual	1960-2007	África do Sul	consumo de energia elétrica	tarifa, PIB total	<i>autoregressive with distributed lags</i>
Andrade e Lobão (1997)	Anual	1963-1995	Brasil	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, preço dos eletrodomésticos, log PIB <i>per capita</i> real	VAR
Ang, Go e Liu (1992)	Semestral e bimensal	1972-1990	Singapura	consumo residencial de energia elétrica <i>per capita</i>	tarifa, PIB <i>per capita</i> , temperatura máxima, temperatura média, média de dias chuvosos, nível de umidade, <i>dummies</i> para os anos de 1979, 1981 e 1982	regressão linear múltipla
Arsenault et al (1995)	Anual	1962-1990	Quebec	consumo desagregado de gás natural, óleo combustível e energia elétrica para os setores residencial, comercial, industrial e iluminação pública	tarifa, renda domiciliar disponível, PIB, PIB comercial, PIB industrial, índice de temperatura, preço do óleo combustível, preço do carvão	regressão linear múltipla
Assimakopoulos e Psarras (1992)	Mensal	1970(1)-1988(12)	Grécia	pico de consumo de eletricidade	valores defasados da série	alisamento exponencial
Atakhanova e Howie (2007)	Anual	1994-2003	Cazaquistão, dados para 19 estados	consumo de energia elétrica: total, industrial, comercial, e residencial <i>per capita</i>	tarifa, PIB, <i>dummy</i> para anos pós 1998, tamanho da população, participação da indústria no PIB, eficiência do setor industrial, eficiência do setor comercial, gasto real <i>per capita</i>	regressão com dados em painel
Athukorala e Wilson (2010)	Anual	1960-2007	Sri Lanka	consumo <i>per capita</i> de energia elétrica	tarifa, PIB, preço da querosene, preço do gás natural	VAR
Azadeh et al (2008)	Mensal	1992(4)-2004(2)	Irã	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	lógica <i>fuzzy</i>
Azadeh, Ghaderi e Sohrabkhani (2008)	Anual	1979-2003	Irã	consumo de energia elétrica por setor da economia	tarifa, número de consumidores em cada setor, preço médio dos combustíveis fósseis, intensidade elétrica em indústrias de alto consumo, valor adicionado em cada setor	redes neurais

Badri (1992)	Anual	1988-1990	EUA, dados para 50 estados	consumo de energia elétrica: residencial, industrial, e comercial	tarifa, número de consumidores, preços do gás natural, renda <i>per capita</i> , custo da mão-de-obra,	regressão com dados em painel
Bakhat e Rossello (2011)	Diário	1995(1)-2007(9)	Ilhas Baleares	consumo de energia elétrica	índice para temperatura, número de habitantes, número de turistas, variáveis <i>dummy</i> para os dias da semana e para o mês em análise	AR, ARMAX, SARIMA, <i>generalized autoregressive conditional heteroskedasticity</i>
Berg e Loungani (1990)	Anual	1970-1986	Flórida	consumo de energia elétrica: residencial, industrial, comercial, e transportes	tarifa da energia elétrica, preço do gás natural, preço do petróleo, preço do carvão, índice de temperatura, desemprego	regressão linear múltipla
Besse e Fouquau (2008)	Mensal	1985(1)-2000(12)	15 países da União Européia	consumo de energia elétrica	número de habitantes, <i>dummy</i> para Agosto, índice para temperatura	regressão com dados em painel
Bianco et al (2010)	Anual	1975-2008	Romênia	consumo não residencial de energia elétrica	tarifa, PIB	alisamento exponencial
Bianco, Manca e Nardini (2009)	Anual	1970-2007	Itália	consumo de energia elétrica: doméstico e não-doméstico	tarifa, PIB, PIB <i>per capita</i>	regressão linear múltipla
Boluk e Koç (2010)	Anual	1980-2001	Turquia	consumo de energia elétrica: residencial, industrial, e outros de setores	tarifa, PIB <i>per capita</i> , custo da força de trabalho, investimentos do setor de manufatura, preço do capital, taxa de retorno da poupança	função translog de custos
Bose e Shukla (1999)	Anual	1985-1994	Índia, dados para 19 estados	consumo de energia elétrica: grande industrial, pequeno industrial, agrícola, e residencial	tarifa por setor, participação do setor no PIB do estado	regressão com dados em painel

Castro e Montini (2010a)	Mensal	2003(1)-2009(12)	Brasil	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, rendimento real de pessoas, 10 anos ou mais, ocupadas, regiões metropolitanas, IPA-EP - Bens de consumo duráveis	ARX
Castro e Montini (2010b)	Mensal	2003(1)-2009(12)	Brasil	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, rendimento real de pessoas, 10 anos ou mais, ocupadas, regiões metropolitanas, IPA-EP - Bens de consumo duráveis	ARX
Beccali et al (2008)	Horário	2002(6)-2003(9)	Cidade de Palermo	consumo de energia elétrica	índice para temperatura mínima e máxima, índice do grau de umidade do ar, velocidade do vento, radiação solar global, pressão atmosférica	redes neurais
Ceylan e Ozturk (2004)	Anual	1970-2001	Turquia	consumo de energia	importações, exportações, PIB, tamanho populacional	algoritmos genéticos
Charleson e Weber (1992)	Anual	1961-1991	Austrália	consumo de gás natural, consumo de carvão, consumo de petróleo	preço do gás natural, preço do carvão, preço do petróleo, PIB	VAR
Chen, Kuo e Chen (2007)	Anual	1971-2001	10 países asiáticos	consumo de energia elétrica, PIB	consumo de energia elétrica, PIB	regressão com dados em painel
Cheng e Lai (1997)	Anual	1955-1993	Taiwan	consumo de energia elétrica, PIB, taxa de desemprego	consumo de energia elétrica, PIB, taxa de desemprego	VAR
Chern e Bouis (1988)	Anual	1955-1978	EUA, dados para 48 estados	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, renda <i>per capita</i> , número de consumidores, tamanho médio das residências, índice de temperatura, preço do gás natural	regressão com dados em painel

Chern e Just (1982)	Anual	1955-1974	Estados da região da Nova Inglaterra (EUA)	consumo e tarifa de energia elétrica: residencial, comercial, e industrial	tarifa por setor, custo de vida, número de consumidores por setor, renda <i>per capita</i> , índice para temperatura, custos de geração e transmissão de energia elétrica, preço do gás natural, vendas totais da indústria, valor adicionado pela manufatura, número de consumidores industriais de gás natural	regressão com dados em painel
Clements (1985)	Anual	1968-1980	Austrália	consumo de energia de quatro fontes: óleo, gás, eletricidade, outros combustíveis	preço de cada fonte de energia	regressão linear múltipla
Collard, Fève e Portier (2005)	Anual	1978-1999	França	consumo de energia elétrica no setor de serviço	produção comercial, intensidade do gasto elétrico, participação de recursos computacionais no capital total, participação de recursos de comunicação no capital total	regressão com dados em painel
Cristodoulakis e Kalyvitis (1997)	Anual	1970-1990	Grécia	consumo de energia por setores <i>tradable e non-tradable</i>	preço do petróleo importado, preço do carvão importado, tarifa da eletricidade, <i>dummy</i> 1986, 1974, 1980	equações simultâneas
De Vita, Endresen e Hunt (2006)	Trimestral	1980(1)-2002(4)	Namíbia	consumo de energia total, consumo de eletricidade, consumo de petróleo, consumo de diesel	preço de cada tipo de energia, PIB, temperatura do ar, taxa de incidência de HIV	<i>autoregressive distributed lags</i>
Dergiades e Tsoulfidis (2008)	Anual	1965-2006	EUA	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, índice para temperatura, PIB, tamanho populacional, preço do óleo combustível	<i>autoregressive distributed lags</i>

Diabi (2000)	Anual	1980-1992	Arábia Saudita, dados para cinco regiões	consumo de energia elétrica	PIB, tarifa, preço médio dos aparelhos de ar-condicionado, número de telefones em operação, amplitude térmica	regressão com dados em painel, <i>cross-sectionally heteroskedastic and correlated time-wise autoregressive</i>
Dilaver e Hunt (2010)	Anual	1960-2008	Turquia	consumo industrial de energia elétrica	tarifa, valor adicionado pela indústria	séries temporais estruturais
Donatos e Mergos (1991)	Anual	1961-1986	Grécia	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, renda <i>per capita</i> disponível, média ponderada de dias quentes, preço médio do gás liquefeito de petróleo (LGP), vendas de eletrodomésticos, número de consumidores, preço médio do óleo diesel	VAR
Ediger e Akar (2007)	Anual	1950-2003	Turquia	consumo primário de energia desagregado em 12 matérias primas diferentes	valores defasados da série	ARIMA
Ediger e Tathdil (2002)	Anual	1950-2000	Turquia	consumo de energia elétrica	tamanho populacional, população urbana, alisamento exponencial, PIB	regressão linear múltipla, alisamento exponencial
Egelioglu, Mohamad e Guven (2001)	Anual	1988-1997	Cyprus	consumo de energia elétrica	tarifa, número de consumidores, número de turistas, índice de temperatura, renda <i>per capita</i> , tamanho populacional	regressão linear múltipla
Erbaykal (2008)	Anual	1970-2003	Turquia	consumo de óleo combustível, consumo de energia elétrica	PIB	<i>autoregressive distributed lags</i>
Erdal, Erdal e Esengun (2008)	Anual	1970-2006	Turquia	consumo primário de energia	PIB	VAR
Erdogdu (2007)	Trimestral	1984(1)-2004(4)	Turquia	consumo de energia elétrica <i>per capita</i>	tarifa, PIB real <i>per capita</i>	VAR, ARIMA

Flaig (1990)	Anual	1964-1983	Alemanha	consumo de energia elétrica	estoque de aparelhos domésticos: lavadora de pratos, máquina de lavar roupas, torradeira, freezer e refrigerador, <i>dummy</i> para tipo de domicílio, renda residencial líquida, preço dos aparelhos domésticos, preço do óleo combustível, preço do serviço de lavanderias	regressão com dados em painel
Flores et al (2004)	Anual	1990-2001	México e EUA	consumo industrial de energia elétrica	número de estabelecimentos, número de empregados, valor produzido pela indústria, tarifa, preço do gás natural	alisamento exponencial, regressão linear múltipla
Francis, Mosoley e Iyare (2007)	Anual	1971-2002	Haiti, Jamaica e Trinidad e Tobago	consumo de energia <i>per capita</i>	PIB	VAR bayesiano
Gabreyohanes (2010)	Mensal	1984(7)-2002(6)	Etiópia	consumo de energia elétrica	valores defasados da série, <i>dummies</i> para cada mês	SETAR, STR, ARX
Garcia-Cerruti (2000)	Anual	1983-1997	44 municípios da Califórnia	consumo residencial <i>per capita</i> de energia elétrica e gás natural	tarifa da energia elétrica, tarifa do gás natural, índice para dias quentes, índice para dias frios, preço do gás natural, renda disponível, <i>dummy</i> para 1980	regressão linear múltipla
Ghosh (2009)	Anual	1970-2006	Índia	fornecimento de energia elétrica, PIB, taxa de emprego no setor público e privado	fornecimento de energia elétrica, PIB, taxa de emprego no setor público e privado	VAR – <i>autoregressive distributed lags</i>
Glasure (2002)	Anual	1961-1990	Coréia	consumo de energia elétrica	gastos do governo, preço do óleo combustível, PIB, oferta de moeda	VAR
Glasure e Lee (1997)	Anual	1961-1990	Coréia do Sul e Singapura	PIB, consumo de energia elétrica	PIB, consumo de energia elétrica	VAR

González-Romera, Jaramillo-Morán e Carmona-Fernández (2008)	Mensal	1975(1)-2002(12)	Espanha	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	análise de Fourier, redes neurais, ARIMA
Gowdy (1985)	Anual	1969-1981	Cidade de Nova York	consumo industrial de energia elétrica	tarifa, preço do barril do óleo combustível, preço da mão-de-obra, PIB do setor de manufatura, valor adicionado do setor de manufatura	regressão linear múltipla
Gutiérrez, Gutiérrez-Sánchez e Nafidi (2006)	Anual	1980-2001	Marrocos	consumo total de potência elétrica	PIB <i>per capita</i> , consumo doméstico final, formação do capital bruto	<i>time-homogeneous gompertz diffusion process</i>
Haliciouglu (2007)	Anual	1968-2005	Turquia	consumo residencial de eletricidade <i>per capita</i>	tarifa, grau de urbanização, renda	VAR, <i>autoregressive distributed lags</i>
Halvorsen (1975)	Anual	1960-1969	EUA, dados para 48 estados	consumo <i>per capita</i> de energia elétrica	renda <i>per capita</i> , índice de temperatura, índice de venda de material elétrico, temperatura média de Julho, porcentagem da população morando em áreas rurais, custo da mão-de-obra, tamanho médio dos domicílios, porcentagem de geração própria de energia, custo do combustível por geração de energia, proporção do consumo industrial e residencial	regressão com dados em painéis

Halvorsen e Larsen (2001)	Anual	1976-1993	Noruega, pesquisa amostral	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, número de eletrodomésticos adquiridos no domicílio no último ano, número de eletrodomésticos total do domicílio, renda anual do domicílio, índice de temperatura, preço da querosene, preço do óleo combustível, 10 variáveis de características do domicílio	regressão com dados em painel
Hanzacebi (2007)	Anual	1970-2004	Turquia	consumo de energia elétrica: residencial, industrial, agrícola, e do setor de transporte	valores defasados da série	redes neurais
Hekkenberg et al (2009)	Diário	1970-2007	Holanda	consumo de energia elétrica	temperatura média	regressão linear simples
Hirschhausen e Andres (2000)	Anual	Cenários de 2000 até 2010	China	consumo de energia elétrica	tarifa, PIB	função cobb-douglas
Ho e Siu (2007)	Anual	1966-2002	Hong Kong	PIB, consumo de energia elétrica	PIB, consumo de energia elétrica	VAR
Holtedahl e Joutz (2004)	Anual	1955-1995	Taiwan	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, renda real disponível, preço do óleo combustível, índice de temperatura, pessoas vivendo em cidades com mais de 100.000 pessoas	VAR
Hondroyannis (2004)	Mensal	1986(1)-1999(12)	Grécia	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, índice de temperatura, PIB, tamanho da população (para ajustar a variável de temperatura)	VAR
Hondroyannis, Lolos e Papapetrou (2002)	Anual	1960-1996	Grécia	consumo de energia elétrica: total, residencial, e industrial	PIB, índice de preços ao consumidor, tarifa, <i>dummy</i> para 1973	VAR
Hsiao et al (1987)	Mensal	1967(1)-1982(12)	Municípios de Ontário	consumo de energia elétrica	tarifa, renda, índice para dias quentes, índice para dias frios	regressão linear múltipla

Hsing (1994)	Anual	1981-1990	5 estados dos EUA	consumo de energia elétrica	tarifa, índice para dias quentes, índice para dias frios, preço do gás natural, renda disponível	regressão linear múltipla
Huq e Dynes (1982)	Trimestral	1969(2)-1980(4)	Região de abrangência de uma empresa de comercialização (EUA)	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, renda real disponível, índice para aquecimento de água	regressão linear múltipla
Inglesi (2010)	Anual	1980-2005	África do Sul	consumo de energia elétrica	tarifa, PIB real, renda real disponível, tamanho populacional	VAR
Irffi <i>et al.</i> (2009)	Anual	1970-2003	Nordeste (NE)	consumo de energia elétrica: residencial, comercial, e industrial	tarifa, IPA-OG - eletrodomésticos, PIB <i>per capita</i> do NE, IPA-OG - material elétrico total, PIB do NE - setor de serviços, IPA-OG máquinas e equipamentos industriais, PIB setor industrial do NE, IPA-OG combustíveis e lubrificantes	VAR
Jobert e Karanfil (2007)	Anual	1960-2003	Turquia	consumo de energia: total, residencial, e industrial	PIB, valor adicionado pela indústria	VAR
Jumbe (2004)	Anual	1970-1999	Malawi	PIB, PIB agrícola, PIB não-agrícola, consumo de energia elétrica	PIB, PIB agrícola, PIB não-agrícola, consumo de energia elétrica	VAR
Kaboudan (1989)	Anual	1965-1984	Zimbábue	consumo de energia elétrica: residencial, agrícola, de mineração, industrial, e de outros setores	tarifa, tamanho da população, índice de preços de importações mundiais, participação de cada setor no PIB, taxa de desemprego por setor, formação de capital	equações simultâneas
Kamerschen e Porter (2004)	Anual	1973-1998	EUA	consumo de energia elétrica: total, industrial, e residencial	preço esperado do gás natural, tarifa, renda real, índice para dias quentes e frios, tamanho médio do domicílio, custo da mão-de-obra, custo do capital	equações simultâneas
Karanfil (2008)	Anual	1970-2005	Turquia	consumo de energia	PIB	VAR

Kavaklioglu (2011)	Anual	1975-2006	Turquia	consumo de energia eléctrica	tamanho populacional, PIB, importações, exportações	regressão linear múltipla
Kavaklioglu et al (2009)	Anual	1975-2006	Turquia	consumo de energia eléctrica	tamanho populacional, PIB, importações, exportações	redes neurais
Kucukali e Baris (2010)	Anual	1980-2008	Turquia	consumo de energia eléctrica	PIB	lógica <i>fuzzy</i>
Lai et al (2008)	Mensal	2000(1)-2006(12)	Macau	consumo de energia eléctrica	temperatura média, tamanho populacional, chegadas de turistas, taxa de ocupação hoteleira, dias por mês	regressão linear múltipla, redes neurais
Lai et al (2011)	Trimestral	1999(1)-2008(4)	Macau	consumo de energia eléctrica	PIB, tamanho populacional, chegadas de turistas	VAR
Lam (1998)	Mensal	1971(1)-1993(12)	Hong Kong	consumo residencial de energia eléctrica	índice para temperatura, índice para entalpia latente, índice para radiação, renda média domiciliar, tarifa	regressão linear múltipla
Lam, Tang e Li (2008)	Mensal	1979(1)-2006(12)	Hong Kong	consumo de energia eléctrica, residencial e comercial	índices de temperatura, radiação solar, índice de claridade, velocidade do vento	regressão linear múltipla
Lean e Smyth (2010)	Anual	1971-2006	Malásia	consumo de energia eléctrica <i>per capita</i>	exportações reais <i>per capita</i> , PIB <i>per capita</i> , participação da força de trabalho na formação do PIB <i>per capita</i>	VAR
Lee e Chang (2005)	Anual	1954-2003	Taiwan	consumo de: energia, carvão, óleo combustível, gás natural, e eletricidade	PIB	VAR
Lijessen (2007)	Horário	2003(1)-2003(12)	Holanda	consumo de energia eléctrica	<i>dummy</i> para feriado, <i>dummies</i> para dias da semana, temperatura máxima do dia, preços do mercado <i>spot</i> de energia eléctrica	regressão linear múltipla

Lise e Montfort (2007)	Anual	1970-2003	Turquia	consumo primário de energia	tamanho populacional, PIB	VAR
Maddigan e Rizy (1984)	Anual	1969-1979	EUA	demanda de energia elétrica de cooperativas rurais	tarifa, custo de vida, número de consumidores, renda <i>per capita</i> , índice para temperatura, custos de operação, custo do capital financeiro, milhas de energia elétrica distribuída, vendas de sistemas de irrigação	equações simultâneas
Masih e Masih (1996)	Anual	1955-1991	Índia, Paquistão, Malásia, Singapura, Indonésia e Filipinas	PIB, consumo de energia elétrica	PIB, consumo de energia elétrica	VAR
Mattos (2005)	Anual	1974-2002	Brasil	consumo industrial de energia elétrica	tarifa, PIB industrial, IPA - OG	VAR
Mattos e Lima (2005)	Anual	1970-2002	Minas Gerais	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, PIB <i>per capita</i>	VAR
McRae (1979)	Anual	1958-1973	Canadá	valor gasto com energia termal, valor gasto com energia não-termal	preço do óleo cru, preço do carvão, preço do gás natural, preço da energia elétrica, <i>dummies</i> para regiões geográficas, índice do gasto nacional bruto, extensão da rede de distribuição de gás natural	regressão com dados em painel
Meng e Niu (2011)	Anual	1990-2007	China	consumo de energia elétrica	PIB da indústria primária, PIB da indústria secundária, PIB da indústria terciária, consumo das residências rurais, consumo das residências urbanas, consumo do governo	regressão linear múltipla, redes neurais
Mirasgedis et al (2006)	Diário	1993-2002	Grécia	consumo de energia elétrica	índices de temperatura, umidade relativa do ar, <i>dummies</i> para os dias da semana, <i>dummies</i> para feriados, <i>dummies</i> para meses	regressão linear múltipla

Modiano (1984)	Anual	1963-1981	Brasil	consumo de energia elétrica: residencial, industrial, e comercial	tarifa, PIB	regressão linear múltipla
Mohamed e Bodger (2005)	Anual	1965-1999	Nova Zelândia	consumo de energia elétrica: residencial e não-residencial	tarifa, tamanho da população, PIB	regressão linear múltipla
Morimoto e Hope (2004)	Anual	1960-1998	Sri Lanka	PIB	produção de energia elétrica	regressão linear simples
Mozumder e Marathe (2007)	Anual	1971-1999	Bangladesh	consumo de energia elétrica <i>per capita</i>	PIB <i>per capita</i>	VAR
Murray et al (1978)	Mensal	1958(1)-1973(12)	Virgínia	consumo de energia elétrica: total, comercial, industrial, e residencial	tarifa, tamanho da população, índice para temperatura, renda média	regressão linear múltipla
Nakajima e Hamori (2010)	Trimestral	1993(1)-2008(4)	EUA, dados para 11 estados	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, renda <i>per capita</i> real, tamanho populacional, índice para temperatura	regressão com dados em painel
Narayan e Popp (2009)	Anual	1960-2002	Países do G7	consumo de energia elétrica: residencial e industrial	valores defasados da série	projeção de tendência
Narayan e Prasad (2008)	Anual	1970-2002	30 Países da OECD	consumo de energia elétrica	PIB	VAR
Narayan e Smyth (2005)	Anual	1969-2000	Austrália	consumo residencial de energia elétrica <i>per capita</i>	tarifa, renda <i>per capita</i> , índice de temperatura, preço do gás natural	<i>autoregressive distributed lags</i>
Narayan, Narayan e Popp (2010)	Anual	1980-2006	93 países	consumo de energia elétrica	PIB	VAR
Narayan, Smyth e Prasad (2007)	Anual	1978-2003	Países do G7	consumo residencial de energia elétrica <i>per capita</i>	tarifa, renda <i>per capita</i> , preço do gás natural	regressão com dados em painel
Nasr, Badr e Younes (2002)	Mensal	1995(1)-1999(12)	Líbano	consumo de energia elétrica	índice para temperatura, PIB, importações	redes neurais
Nguyen e Nabney (2010)	Diário	2004(10)-2007(5)	Reino Unido	consumo de energia elétrica, preço do gás natural	valores defasados da série	ARIMA, <i>generalized autoregressive conditional heteroskedasticity</i> , redes neurais

Nguyen, Chern e Reister (1979)	Anual	1956-1975	EUA	demandas por eletricidade na indústria do papel, dividida em 8 produtos	tarifa, produção industrial	regressão linear múltipla
Odhiambo (2009)	Anual	1971-2006	África do Sul	consumo de energia elétrica residencial <i>per capita</i> , PIB real <i>per capita</i> , taxa de desemprego do setor de manufaturas	consumo de energia elétrica residencial <i>per capita</i> , PIB real <i>per capita</i> , taxa de desemprego do setor de manufaturas	VAR
Oh e Lee (2004)	Anual	1970-1999	Coréia	consumo de energia	PIB, índice para produção da manufatura, horas de trabalho anuais	VAR
Ozturk e Ceylan (2005)	Anual	1980-2001	Turquia	consumo de energia elétrica: total e industrial	tamanho da população, PIB, exportações, importações	algoritmos genéticos
Ozturk et al (2005)	Anual	1970-2000	Turquia	consumo de energia elétrica: total e industrial	PIB, tamanho populacional, importações, exportações	algoritmos genéticos
Pao (2006)	Mensal	1990(1)-2002(12)	Taiwan	consumo de energia elétrica	renda, tamanho da população, PIB, índice de preços ao consumidor, temperatura média	redes neurais, regressão linear múltipla, ARMA, ARMAX
Pao (2009)	Anual	1980-2007	Taiwan	consumo de energia elétrica	PIB	VAR, SARIMA, <i>error corection state space model</i>
Pappas et al (2008)	Diário	2004(1), 2005(12)	Grécia	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	ARMA
Peck, Bosch e Weyant (1988)	Anual	1958-1982	EUA	consumo industrial de energia: elétrica e não-elétrica	capital industrial, mão-de-obra empregada, materiais (insumos), produção industrial	regressão linear múltipla

Pilli-Sihvola et al (2010)	Mensal	1985(1)-2008(11)	Finlândia, Alemanha, Holanda, França, Espanha	consumo de energia elétrica	índice de temperatura, <i>dummiess</i> para cada mês	ARX
Rancharran (1990)	Anual	1970-1986	Jamaica	consumo de energia elétrica, PIB	consumo de energia elétrica, PIB	regressão linear múltipla
Ranjan e Jain (1999)	Mensal	1984(1)-1993(12)	Nova Deli	consumo de energia elétrica	tamanho da população, índice para temperatura, umidade relativa, duração da luz do dia, índice pluviométrico	regressão linear múltipla
Reister (1987)	Anual	1960-1982	EUA	consumo de: energia elétrica e combustíveis	preço dos combustíveis, preço da eletricidade, estoque de capital e mão-de-obra, investimento anual	regressão linear múltipla
Saab, Badr e Nars (2001)	Mensal	1970(1)-1999(5)	Líbano	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	ARIMA
Saad (2009)	Anual	1973-2007	Coréia do Sul	consumo residencial de energia elétrica <i>per capita</i>	tarifa, PIB <i>per capita</i> ,	séries temporais estruturais
Saed (2004)	Anual	1980-1999	Jordania	consumo de energia	tarifa, PIB, <i>dummy</i> para 1990	VAR
Sari e Soytaş (2004)	Anual	1969-1999	Turquia	consumo de: carvão, óleo combustível, energia hidráulica, 'asphaltite', 'lignite' e madeira	taxa de desemprego, PIB	VAR
Schmidt e Lima (2004)	Anual	1969-1999	Brasil	consumo de energia elétrica: residencial, comercial, e industrial	tarifa, preço bens de consumo duráveis, rendimento real dos assalariados - trabalho principal, IPA-OG - materiais elétricos, PIB a preços de mercado - preços constantes, IPA-OG - combustíveis e lubrificantes, IPA-OG - máquinas e equipamentos industriais	VAR
Shiu e Lam (2004)	Anual	1971-2000	China	consumo de energia elétrica, PIB	consumo de energia elétrica, PIB	VAR

Silk e Joutz (1997)	Anual	1949-1993	EUA	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, <i>dummy</i> para 1964, índice para dias quentes, índice para dias frios, renda disponível real, preço real do óleo diesel destilado, taxa de rendimento de hipotecas	VAR
Siqueira e Holanda (2005)	Anual	1970-2000	Nordeste brasileiro	consumo de energia elétrica: residencial, comercial, e industrial	tarifa, IPA-DI bens de consumo duráveis, PIB <i>per capita</i> , IPA-OG materiais elétricos totais, PIB do setor de serviços, IPA-OG máquinas e equipamentos industriais, IPA-OG combustíveis e lubrificantes	VAR
Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006)	Anual	1970-2003	Nordeste brasileiro	consumo de energia elétrica: residencial, comercial, e industrial	tarifa, IPA-OG - eletrodomésticos, PIB <i>per capita</i> do NE, IPA-OG - material elétrico total, PIB do NE - setor de serviços, IPA-OG máquinas e equipamentos industriais, PIB do setor industrial do NE, IPA-OG combustíveis e lubrificantes	VAR, regressão linear múltipla
Smith (1980)	Anual	1957-1972	EUA	consumo de energia elétrica	renda <i>per capita</i> , índice de preços ao consumidor, preço do gás natural	regressão linear múltipla
Soytas e Sari (2003)	Anual	1950-1994	Países do G7 e 10 maiores economias em desenvolvimento	consumo de energia	PIB	VAR
Soytas e Sari (2007)	Anual	1968-2002	Turquia	consumo industrial de energia elétrica	empregos na manufatura, valor adicionado pela manufatura ao PIB, investimentos da manufatura	VAR
Stern (2000)	Anual	1948-1994	EUA	consumo de energia	PIB	VAR

Sumer, Goktas e Hepsag (2009)	Mensal	1997(1)-2005(12)	Região de uma empresa de distribuição (EUA)	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	ARIMA, SARIMA
Tang (2008)	Trimestral	1972(1)-2003(4)	Malásia	PIB, consumo de energia elétrica	PIB, consumo de energia elétrica	VAR – <i>autoregressive distributed lags</i>
Thatcher (2007)	Horário	2001-2004	Região de abrangência empresa de uma comercialização da Austrália	consumo de energia elétrica	índice de temperatura, umidade relativa do ar	regressão linear múltipla
Trapero e Pedregal (2009)	Horário	60 dias de 2005	14 estados norte-americanos	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	análise de Fourier, ARIMA
Tripathy (1997)	Anual	1965-1990	EUA	consumo de energia elétrica: industrial, doméstica, agrícola, comercial, ferroviária, e de outros setores	consumo privado final, número de residências urbanas, valor adicionado dos setores de: manufatura, mineração, e pedreiras (<i>quarry</i>)	regressão linear múltipla
Tserkezos (1992)	Mensal e trimestral	1975(1)-1989(12)	Grécia	consumo de energia elétrica residencial	tarifa, índice de produção industrial, índice de temperatura	ARIMA, <i>linear transfer function</i>
Uri (1983)	Mensal	1974(1)-1980(12)	Coréia	consumo industrial de energia elétrica dividido em 8 tipos de indústria	tarifa, preço do petróleo, preço do carvão, produção industrial	regressão linear múltipla
Uri (1994)	Anual	1971-1992	EUA	consumo agrícola de energia elétrica	média de temperatura, eletricidade demandada na irrigação, índice de fontes de energia alternativas à eletricidade	regressão linear múltipla

Walker (1979)	Mensal	1972(1)-1975(12)	EUA	consumo residencial de energia elétrica	tarifa, índice para dias frios, <i>dummies</i> para 1972 e 1973	regressão linear múltipla
Wang et al (2009)	Mensal	2004(1)-2008(9)	Noroeste da China	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	SVR, ARIMA
Wangpattarapong et al (2008)	Mensal	2002(1)-2006(12)	Cidade de Bangkok	consumo residencial de energia elétrica	umidade relativa do ar, índice pluviométrico, índice de dias quentes, índice de dias frios, velocidade do vento, tamanho da população, número de domicílios, renda domiciliar	regressão linear múltipla
Wolde-Rufael (2006)	Anual	1971-2001	17 países africanos	consumo de energia elétrica	PIB <i>per capita</i>	unrestricted error correction model, autoregressive distributed lags
Yan (1998)	Mensal	1980(1)-1994(12)	Hong Kong	consumo residencial de energia elétrica	temperatura média, umidade relativa, pressão atmosférica, cobertura de nuvens, índice de insolação	regressão linear múltipla
Yang (2000)	Anual	1954-1997	Taiwan	consumo de energia: total, óleo combustível, carvão, gás natural, e eletricidade	PIB	VAR
Ying e Pan (2008)	Anual	1981-2000	Taiwan	consumo de energia elétrica	valores defasados da série	lógica <i>fuzzy</i>
Yoo (2005)	Anual	1970-2002	Coréia	PIB, consumo de energia elétrica	PIB, consumo de energia elétrica	VAR
Yoo (2006)	Anual	1971-2002	Indonésia, Malásia, Singapura e Tailândia	PIB, consumo de energia elétrica	PIB, consumo de energia elétrica	VAR
Yu e Hwang (1984)	Anual	1947-1979	EUA	consumo de energia elétrica, PIB, taxa de desemprego	consumo de energia elétrica, PIB, taxa de desemprego	regressão linear simples
Yu e Jim (1992)	Mensal	1974(1)-1990(4)	EUA	consumo de energia elétrica	índice de produção da manufatura, número de trabalhadores não-agrícolas,	VAR

					<i>dummies mensais</i>	
Yuan et al (2007)	Anual	1978-2004	China	consumo de energia elétrica, PIB	consumo de energia elétrica, PIB	VAR
Zachariadis e Pashourtidor (2007)	Anual	1960-2004	Cyprus	consumo residencial e comercial de energia	tarifa, consumo privado real, valor real adicionado pelos setores de serviços e construção, índice de dias quentes e frios	VAR
Ziramba (2008)	Anual	1978-2005	África do Sul	consumo residencial de energia elétrica	PIB <i>per capita</i> , tarifa	<i>autoregressive distributed lags</i>

Tabela 1 – Consumo comercial de energia elétrica (ConsumoC) - GWh

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	4182	4153	4221	3948	3938	3711	3667	3720	3686	4001	4076	4219
2004	4219	4132	4189	4424	4106	3840	3887	3868	4121	4189	4234	4400
2005	4486	4360	4548	4681	4372	4291	4140	4135	4342	4404	4570	4656
2006	4646	4815	4871	4818	4405	4321	4209	4399	4523	4574	4754	4973
2007	4963	4941	5131	5308	4890	4564	4489	4521	4787	4881	5106	5163
2008	5249	5214	5267	5233	5119	4829	4791	4993	5105	5261	5502	5386
2009	5405	5475	5697	5686	5247	5031	4998	5130	5304	5519	5782	6105
2010	5848	5871	6155	6010	5661	5423	5219	5445	5643	5705	5823	6277
2011	6255	6336										

FONTE: ELETROBRÁS

Tabela 2 – Consumo industrial de energia elétrica (ConsumoI) - GWh

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	10345	10471	10565	10850	10750	10788	10818	10793	10855	11215	11251	11531
2004	10375	10508	10803	10914	12012	12278	12417	12684	12612	12682	12556	12479
2005	12078	12022	12289	12526	12587	12613	12684	12785	12642	12659	12704	12655
2006	12225	12271	13019	12795	12574	12728	12965	13268	13068	13217	13161	13024
2007	13538	13668	14547	14472	14659	14692	14696	14967	14973	15060	15135	15015
2008	14263	14341	14930	14802	15087	15144	15562	15765	15577	15794	15144	13675
2009	12164	12623	13389	13559	13357	13606	13997	14477	14610	14822	14812	14570
2010	13726	14372	14860	14921	15411	15657	15916	15851	15785	15832	15726	15523
2011	14581	14627										

FONTE: ELETROBRÁS

Tabela 3 – Consumo residencial de energia elétrica (ConsumoR) - GWh

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	6786	6518	6618	6228	6354	6165	6058	6175	6095	6378	6385	6407
2004	6784	6428	6595	6805	6477	6290	6293	6304	6604	6605	6631	6643
2005	7129	6767	6874	7142	6719	6781	6644	6705	6920	6919	7048	7079
2006	7173	7132	7389	7217	6970	6957	6891	6933	7120	7207	7469	7421
2007	7781	7482	7677	7807	7570	7210	7076	7349	7449	7512	7769	7617
2008	8141	7965	7693	7751	7912	7621	7653	7865	7816	8120	8238	7942
2009	8592	8137	8490	8471	8188	7909	8105	8402	8417	8529	8646	8870
2010	9237	8933	9152	9151	8719	8663	8449	8782	8903	8943	8970	9287
2011	9835	9427										

FONTE: ELETROBRÁS

Tabela 4 – Tarifa média comercial de energia elétrica (PC) - R\$/GWh

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	205,4	204,8	207,0	210,6	223,9	214,9	230,6	243,0	239,5	238,9	249,6	236,3
2004	240,1	244,1	241,0	242,2	250,4	257,2	258,5	264,1	266,4	269,3	268,8	266,2
2005	262,3	268,1	268,3	269,3	284,5	283,5	278,6	279,4	280,3	282,2	281,6	280,4
2006	279,9	278,0	279,5	279,8	292,1	291,0	292,9	292,8	293,4	292,6	292,2	286,4
2007	286,5	283,6	285,3	280,8	292,9	294,5	293,0	289,6	285,5	285,0	282,4	276,7
2008	272,5	272,1	273,3	271,7	270,1	271,6	272,3	275,6	275,3	275,9	275,8	272,5
2009	273,9	274,6	273,3	274,3	285,5	285,1	287,4	280,0	288,6	289,1	286,2	280,9
2010	280,8	282,0	281,9	281,3	287,8	287,7	291,7	289,9	291,9	292,7	290,5	286,3
2011	6255,0	6336,0										

FONTE: ELETROBRÁS

Tabela 5 – Tarifa média industrial de energia elétrica (PI) - R\$/GWh

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	116,4	115,7	116,5	118,0	134,3	137,1	137,4	140,4	141,5	141,3	143,6	137,0
2004	142,7	152,9	141,8	146,1	161,3	161,5	163,7	162,6	167,8	170,7	171,8	165,4
2005	176,6	178,3	177,8	180,7	198,3	199,9	199,4	197,6	203,3	205,8	206,3	198,8
2006	205,3	200,3	200,8	203,6	221,1	218,0	222,0	222,4	225,3	224,6	226,8	216,7
2007	221,2	215,1	215,6	213,5	231,1	234,0	232,9	230,5	226,5	228,2	227,3	217,4
2008	215,0	210,2	211,7	209,1	216,4	217,3	215,7	218,1	219,1	219,8	225,0	217,9
2009	225,5	219,0	217,2	217,5	237,5	234,6	233,1	233,5	236,9	238,0	237,1	226,7
2010	233,5	230,4	227,6	226,5	238,0	237,7	240,7	239,7	242,9	244,4	242,1	233,9
2011	241,2	235,2										

FONTE: ELETROBRÁS

Tabela 6 – Tarifa média residencial de energia elétrica (PR) - R\$/GWh

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	224,3	226,8	225,9	230,5	242,2	245,2	243,9	245,6	253,1	254,5	255,7	259,4
2004	260,9	262,6	267,1	267,6	270,6	273,1	274,6	278,5	284,3	285,0	285,8	285,7
2005	288,5	288,7	292,3	292,8	299,4	302,0	294,7	291,3	294,6	296,3	294,7	296,4
2006	297,9	299,0	300,6	299,1	302,2	299,4	300,1	297,5	300,1	300,7	302,0	300,2
2007	301,3	300,0	303,4	301,4	303,8	303,0	299,6	296,2	293,6	292,8	291,7	289,3
2008	289,0	286,4	285,9	284,0	276,4	274,4	275,8	279,7	281,1	281,7	284,4	284,9
2009	286,8	286,1	287,0	287,1	292,3	290,9	296,9	291,7	298,5	299,7	298,7	299,1
2010	299,8	296,7	301,5	297,9	297,5	297,0	298,9	299,4	301,4	303,0	303,4	304,4
2011	306,1	306,2										

FONTE: ELETROBRÁS

Tabela 7 – Vendas reais no varejo (YC) - R\$

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	93,4	90,2	93,1	94,6	98,7	92,7	97,9	99,6	95,0	102,7	103,2	139,1
2004	99,0	94,7	103,4	104,2	109,4	104,6	109,7	106,5	103,7	111,3	109,6	154,9
2005	105,2	96,8	111,4	107,8	112,3	110,1	114,6	113,8	109,3	115,5	115,0	162,6
2006	112,0	102,7	114,7	115,8	120,6	114,5	117,2	120,9	120,2	123,5	125,3	171,8
2007	121,5	112,1	127,9	124,6	133,3	127,5	128,1	133,3	130,2	135,5	138,3	188,1
2008	135,8	126,4	142,0	135,5	148,1	137,9	142,5	146,5	142,2	148,8	145,3	195,2
2009	143,9	131,3	149,9	145,0	152,4	145,7	151,1	153,5	149,5	161,6	157,9	213,2
2010	158,9	147,3	166,5	158,4	168,0	162,3	167,8	169,6	167,4	175,7	173,5	235,1
2011	172,0	159,8										

FONTE: PMC; IBGE

Tabela 8 – Faturamento real da indústria (YI) - R\$

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	88,2	90,3	91,5	87,4	90,1	86,7	91,7	95,0	99,9	104,4	98,6	92,5
2004	84,5	82,0	99,6	93,0	98,9	101,9	100,4	107,7	105,5	103,2	103,6	99,1
2005	86,4	87,7	102,2	97,5	100,8	103,2	97,5	103,8	102,4	100,9	103,4	101,2
2006	88,2	86,4	103,0	91,9	102,4	100,0	99,1	108,2	105,8	108,1	106,8	99,5
2007	90,9	90,2	107,9	99,6	106,4	105,6	105,6	114,5	109,0	116,7	114,4	104,2
2008	100,3	100,8	109,4	110,2	111,4	114,7	121,0	114,2	121,4	122,1	106,7	101,5
2009	88,1	89,1	108,3	98,7	102,9	106,7	109,0	110,5	115,3	117,5	113,8	115,6
2010	95,3	99,4	123,6	110,9	116,5	117,1	118,9	123,1	126,4	122,8	125,3	122,3
2011	103,0	113,4										

FONTE: CNI

Tabela 9 – Rendimento médio real habitual – pessoas ocupadas - regiões metropolitanas (YR) - R\$

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	1353,7	1343,3	1323,4	1317,3	1290,8	1296,0	1281,8	1297,1	1268,5	1264,2	1260,7	1262,1
2004	1273,6	1278,6	1294,2	1284,1	1267,3	1281,8	1292,5	1271,5	1295,9	1277,2	1287,1	1256,6
2005	1289,3	1299,5	1296,1	1277,2	1258,9	1279,3	1310,4	1320,9	1317,1	1303,1	1312,5	1331,8
2006	1310,4	1330,0	1331,6	1334,4	1353,5	1363,4	1349,0	1360,6	1347,5	1371,3	1373,6	1387,7
2007	1373,0	1399,0	1398,4	1402,1	1406,5	1399,4	1382,7	1376,3	1380,1	1387,6	1406,5	1418,8
2008	1418,7	1434,2	1426,0	1440,4	1427,0	1423,1	1424,9	1454,3	1468,0	1449,6	1462,3	1469,9
2009	1502,1	1499,9	1497,2	1486,3	1470,3	1465,3	1473,0	1487,0	1495,7	1495,5	1494,2	1480,8
2010	1496,4	1513,7	1519,1	1519,9	1506,4	1514,5	1547,5	1569,0	1589,0	1593,1	1580,1	1568,5
2011	1576,4	1569,1										

FONTE: PME; IBGE

Tabela 10 – Produção industrial de máquinas e equipamentos (LC) - Quantum

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	96,6	104,1	99,9	102,4	99,8	92,1	101,6	102,1	112,2	125,1	121,3	106,7
2004	103,3	105,2	125,1	116,9	120,0	121,1	124,4	133,0	132,4	137,1	134,6	114,9
2005	107,9	112,5	130,4	121,8	123,8	123,0	115,4	129,3	120,1	125,3	124,9	113,8
2006	109,3	115,9	133,2	115,1	128,6	123,0	121,5	135,3	127,1	139,4	136,8	120,6
2007	128,5	127,6	153,8	139,6	154,0	148,2	142,2	159,9	147,3	168,7	161,1	142,2
2008	141,2	151,6	164,2	162,7	157,7	155,7	160,4	166,6	178,8	179,5	150,5	110,5
2009	105,0	102,9	119,3	108,1	112,9	112,5	127,7	135,7	143,7	154,8	160,9	148,3
2010	140,0	146,6	178,1	159,8	157,1	155,7	146,3	164,0	162,9	167,9	167,9	155,1
2011	149,6	161,2										

FONTE: PMI; IBGE

Tabela 11 – Produção industrial de bens intermediários (LI) - Quantum

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	95,6	91,9	103,2	100,2	104,2	100,0	105,8	105,4	108,0	111,2	102,7	96,3
2004	98,3	96,2	110,7	105,7	111,9	111,3	116,7	117,3	115,1	116,6	111,3	103,6
2005	102,2	97,2	110,5	109,8	115,0	114,7	114,8	118,0	114,0	116,0	111,0	103,9
2006	105,1	99,5	114,0	108,1	119,5	114,3	118,8	122,1	115,0	118,1	114,6	105,5
2007	108,4	102,9	119,4	113,7	123,2	120,3	124,6	127,4	119,0	128,6	120,0	112,7
2008	117,1	113,6	120,1	120,3	126,0	126,6	134,1	129,6	126,6	125,4	110,7	91,9
2009	93,1	89,8	104,2	101,6	109,1	111,9	118,2	119,3	117,7	122,4	116,5	111,1
2010	112,3	107,3	124,1	119,9	126,3	125,4	131,4	129,8	125,0	126,4	123,1	114,1
2011	113,6	112,3										

FONTE: PMI; IBGE

Tabela 12 – Vendas reais no varejo de móveis e eletrodomésticos (LR) - R\$

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	89,3	82,5	81,5	81,5	95,9	87,0	95,0	97,3	96,8	107,6	109,1	176,6
2004	106,1	96,1	110,9	108,6	129,5	118,5	125,7	125,3	116,4	128,5	132,8	218,6
2005	126,9	112,2	130,6	134,6	153,4	143,8	146,7	146,1	130,7	143,7	152,0	239,2
2006	142,9	122,8	145,0	138,5	176,7	148,3	149,1	161,8	157,7	169,7	174,3	253,7
2007	177,3	146,3	170,5	156,6	195,0	172,2	176,3	189,5	177,6	193,1	201,4	283,5
2008	205,6	178,8	194,9	200,1	226,5	199,9	211,0	214,3	215,3	223,4	210,5	296,3
2009	218,5	175,1	159,9	180,4	212,6	197,8	211,9	215,6	219,4	231,3	239,6	335,7
2010	257,1	213,9	242,3	220,8	254,2	231,4	237,9	251,5	251,0	266,9	288,7	397,3
2011	306,2	257,3										

FONTE: PMC; IBGE

Tabela 13 – Preço do barril de petróleo (SI) - US\$/barril

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	30,8	32,9	30,4	25,5	26,1	27,9	28,6	29,7	26,9	29,0	29,1	30,0
2004	31,4	31,3	33,7	33,7	37,6	35,5	37,9	42,1	41,7	46,9	42,2	39,1
2005	42,9	44,6	50,9	50,6	47,8	53,9	56,4	61,9	61,7	58,2	55,0	56,5
2006	62,4	59,7	60,9	68,0	68,6	68,3	72,5	71,8	62,0	58,0	58,1	61,0
2007	53,4	57,6	60,6	65,1	65,1	68,2	73,7	70,1	76,9	82,2	91,3	89,4
2008	90,8	93,8	101,8	109,1	122,8	131,5	132,6	114,6	99,3	72,7	54,0	41,5
2009	43,9	41,8	47,0	50,3	58,1	69,1	64,7	71,6	68,4	74,1	77,6	74,9
2010	77,1	74,7	79,3	84,1	75,5	74,7	74,5	75,9	76,1	81,7	84,5	90,1
2011	92,7	97,7										

FONTE: FMI

Tabela 14 – Estatísticas descritivas

Variável	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
ConsumoC	4828,2	4803,0	6336,0	3667,0	669,9
ConsumoI	13381,5	13242,5	15916,0	10345,0	1605,9
ConsumoR	7504,6	7405,0	9835,0	6058,0	921,1
PC	272,0	279,6	294,5	204,8	21,7
PI	201,6	216,5	244,4	115,7	36,1
PR	285,9	292,6	306,2	224,3	19,6
YC	131,9	127,7	235,1	90,2	28,6
YI	103,8	103,1	126,4	82,0	10,5
YR	1390,5	1378,3	1593,1	1256,7	96,5
LC	133,5	129,8	179,5	92,1	21,9
LI	113,1	114,0	134,1	89,8	9,9
LR	178,6	175,7	397,3	81,5	61,5
SI	62,3	61,3	132,6	25,5	24,1