



**Paulo Roberto Bastos Maia**

**Análise Comparativa da Previsão de Demanda  
de Energia Elétrica Industrial no Período  
Pós - Crise: Uma Aplicação dos Modelos VAR e  
BVAR**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-  
graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de  
Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro

Abril de 2011



**Paulo Roberto Bastos de Maia**

**Análise Comparativa da Previsão de Demanda de Energia Elétrica Industrial no Período Pós- Crise: Uma Aplicação dos Modelos VAR e BVAR**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Reinaldo Castro Souza**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

**Prof. André Luís Marques Marcato**  
UFJF

**Prof. José Francisco Moreira Pessanha**  
UERJ

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 8 de abril de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

## Paulo Roberto Bastos de Maia

Graduou-se em Ciências Estatísticas pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE/IBGE) em 2005. No ano de 2006 trabalhou na empresa Controllab no ramo de controle estatístico de processo. Entre 2007 e 2009 trabalhou na empresa Ampla Serviços e Energia S.A na área de previsão de demanda. Atualmente, trabalha como consultor na empresa Siglasul S.A. com projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D Aneel) para empresas do ramo de energia elétrica.

### Ficha Catalográfica

Maia, Paulo Roberto Bastos

Análise comparativa da previsão de demanda de energia elétrica industrial no período pós-crise : uma aplicação dos modelos VAR e BVAR / Paulo Roberto Bastos Maia; orientador: Reinaldo Castro Souza. – 2011.

75 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Raiz unitária. 3. Co-integração. 4. Demanda de energia. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

## Agradecimentos

A Deus, que rege minha vida e tornou tudo isso possível. Os obstáculos até aqui enfrentados foram transpostos com a ajuda que Ele me proporcionou.

A minha mãe Wanda Bastos e avó Nair Freitas (*in memoriam*) que desde os primeiros passos sempre estiveram ao meu lado. Nunca chegaria aqui sem vocês.

A minha namorada Marcia Oliveira pelo apoio e paciência dispensados.

Ao Prof. Dr. Reinaldo Castro Souza pela orientação prestada no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários desta Casa por toda assessoria prestada.

Aos amigos Luiz Orleans e Rodrigo Pinto Moreira pela oportunidade e auxílio oferecidos na coleta e manipulação de dados.

A CAPES pelo auxílio fornecido.

E por fim a todos aqueles que me ajudaram de uma forma ou de outra, a realizar uma travessia como esta. São pessoas especiais que não preciso indicar seus nomes, pois elas sabem que são.

## Resumo

Maia, Paulo Roberto Bastos; Souza, Reinaldo Castro (Orientador). **Análise Comparativa da Previsão de Demanda de Energia Elétrica Industrial no Período Pós-Crise : Uma Aplicação dos Modelos VAR e BVAR.** Rio de Janeiro, 2011. 75p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esse estudo tem como objetivo efetuar previsões não condicionadas de demanda de energia elétrica no Brasil para a classe industrial entre os meses de Janeiro e Dezembro de 2010. Para tanto, verificou-se a causalidade entre as variáveis em estudo, em seguida se as mesmas eram estacionárias ou processos integrados. Posteriormente procedeu-se ao teste de co-integração, cujo intuito era determinar se as séries apresentavam alguma tendência comum ao longo do tempo. As previsões foram estimadas através do Modelo de Correção de Erros na abordagem Clássica (VAR/VEC) e Bayesiana (BVAR/BVEC) e, ao fim, efetuou-se uma análise comparativa através da média dos erros. Os resultados obtidos mostraram que a metodologia Bayesiana se fez mais acurada do que a metodologia Clássica.

## Palavras-chave

Raiz Unitária, Co-integração, Demanda de Energia.

## Abstract

Maia, Paulo Roberto Bastos; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **Forecasting the Industrial Electric Energy Demand During the Post Crisis Period Using VAR and BVAR Models: A Comparison Analysis.** Rio de Janeiro, 2011. 75p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis describes two multivariate statistical based approaches to generate unconditional monthly forecasts for the brazilian industrial electricity demand covering the lead time spanning from Jan/2010 to Dec/2010. For that, it was first checked the causality among the series involved followed by stationarity tests. It was also carried out cointegration tests to check the existence of long range trend among the series. The two approaches adopted were, respectively, the Classical Error Correction Vector Model (VAR/VEC) and the Bayesian counterpart (BVAR/BVEC); both modelling simultaneously the series involved in the study as a vector of time series that follow a kind of vector autoregressive structure. The results obtained with both, were compared, and, a main conclusion of the thesis, the Bayesian model produced better results, in terms of accuracy, than the Classical counterpart.

## Keywords

Unit Root, Cointegration, Energy Demand.

# Sumário

1. Introdução.....	14
1.1 - A Crise Econômico - Financeira de 2008 .....	15
1.2 - Objetivo.....	15
1.3 - Justificativa .....	16
2. O Setor Elétrico Brasileiro .....	17
2.1 - Histórico do Setor de Energia Elétrica.....	18
2.2 - Estrutura do Setor Elétrico .....	24
2.3 - Consumo Industrial de Energia Elétrica no Brasil.....	26
3. Metodologia.....	28
3.1 - Introdução aos Modelos de Equações Múltiplas.....	28
3.2 - Revisão de Literatura .....	30
3.3 - Teste de Causalidade.....	33
3.4 - Teste de Raiz Unitária – Teste ADF .....	34
3.5 - Teste de Cointegração .....	35
3.6 - O Modelo VAR.....	37
3.6.1 - Estimção .....	39
3.6.2 - Especificação.....	40
3.6.3 - Modelos Vetoriais de Correção de Erros (MVEC) .....	41
3.6.4 - Inclusão de Termos Determinísticos.....	42
3.6.5 - Teste para Quebra Estrutural.....	43
3.6.6 - Análise de Resíduos .....	45
3.6.6.1 - Teste Multiplicadores de Lagrange.....	46
3.6.6.2 - Teste para Normalidade dos Resíduos do VAR.....	47
3.7 - O Modelo BVAR .....	50
3.7.1 - Estatística Bayesiana Econométrica.....	51
3.7.1.1 - Litterman ou Minnesota <i>Priors</i> .....	52
3.8 - Previsões não Condicionadas e o Teste CP.....	53
4. Estudo de Caso .....	55
4.1 - Dados.....	55
4.2 - Estatísticas Descritivas .....	56
4.2.1 - Consumo Industrial .....	56
4.2.2 - Produção Física Industrial.....	59
4.2.3 - Pessoal Ocupado .....	59
4.2.4 - Tarifa Média.....	60
4.3 - Modelagem.....	61
4.3.1 - Modelagem VAR .....	61
4.3.2 - Modelagem BVAR.....	65
4.3.3 - Análise Comparativa das Predições VAR e BVAR.....	65
5. Conclusões.....	68

Referências bibliográficas .....	69
Anexo 1 – Especificação e Testes para o Modelo VAR.....	73
Anexo 2 – Especificação e Testes para o Modelo BVAR.....	75

## Lista de figuras

Figura 2.1: Evolução do Consumo Industrial	26
Figura 2.2: Participação das Classes de Consumo de Energia Elétrica – 2010	27
Figura 4.1: Consumo Industrial de Energia Elétrica em MWh - Série Histórica	56
Figura 4.2: Histograma da Série	57
Figura 4.3: QQ Plot da Série	57
Figura 4.4: A FAC da Série	58
Figura 4.5: FAC da Primeira Diferença da Série	58
Figura 4.6: Produção Física Industrial 2002=100 - Série Histórica	59
Figura 4.7: Pessoal Ocupado na Indústria 2001=100 - Série Histórica	60
Figura 4.8: Tarifa Média Industrial por Mwh em R\$- Série Histórica	60
Figura 4.9: Comportamento das Séries ao Longo do Tempo	64
Figura 4.10: Valores Previstos – “Out of Sample”	67

## Lista de tabelas

Tabela 4.1: Teste de Causalidade de Granger	62
Tabela 4.2: Teste de Raiz Unitária – ADF	62
Tabela 4.3: Teste de Raiz Unitária -ADF - Em Primeira Diferença	63
Tabela 4.4: Teste do Traço para os Vetores	63
Tabela 4.5: Critério de Seleção da Defasagem do VAR	64
Tabela 4.6: Valores Estimados para 2010 – Modelo VAR	66
Tabela 4.7: Valores Estimados para 2010 – Modelo BVAR	66

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ACL- Ambiente de Contratação Livre

ACR- Ambiente de Contratação Regulada

ADF- Augmented Dickey Fuller Test

ADL- Autoregressive Distribution Lag

AIC- Akaike Information Criteria

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

ARIMA- Autoregressive Integrated Moving Average

ARMA- Autoregressive Moving Average

BP- Break Point Test

BVAR- Bayesian Vector Autoregressive

BVEC- Bayesian Vector Error Correction

CCEE- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CDB- Certificado de Depósito Bancário

CHESF- Companhia Hidrelétrica do São Francisco

CMSE- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

CNPE- Conselho Nacional de Política Energética

CP- Capacidade Preditiva

ELETOBRÁS- Centrais Elétricas do Brasil S.A

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

FAC- Função de Autocorrelação

FDP- Função Densidade de Probabilidade

HQ- Hannan-Quinn Information Criteria

IAEA- International Atomic Energy Agency

IPCA- Índice de Preços ao Consumidor Amplo

IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LM - Lagrange Multiplier Test

MAE- Mercado Atacadista de Energia

MAPE- Mean Absolute Percentage Error

MCEV - Modelo de Correção de Erros Vetoriais

MME- Ministério de Minas e Energia

MQO- Mínimos Quadrados Ordinários

MV- Máximo Verossimilhança

MWh- Mega Watt Hora

ONS- Operador Nacional do Sistema

PIB- Produto Interno Bruto

PLD- Preço de Liquidação de Diferenças

PROINFA- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

R\$- Unidade Monetária Real Brasileiro

SELIC- Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SIC/BIC- Schwartz/Bayesian Information Criteria

SIN- Sistema Interligado Nacional

SQR- Soma dos Quadrados dos Resíduos

STAR- Smooth-Transition Autoregressive

VAR- Vector Autoregressive

VEC- Vector Error Correction

VECM- Vector Error Correction Models

*Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário  
que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.*

Martin Luther King