



Luiz Felipe Moreira do Amaral

**Um Modelo de Múltiplos Regimes Auto
Regressivo Periódico com Transição Suave
Aplicado a Previsão de Curto Prazo de Carga
de Energia Elétrica**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro

Março de 2007



Luiz Felipe Moreira do Amaral

**Um Modelo de Múltiplos Regimes Auto-
Regressivo Periódico com Transição Suave
Aplicado a Previsão de Curto Prazo de Carga
de Energia Elétrica**

Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor 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.

Dr. Reinaldo Castro Souza
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica/PUC-Rio

Dr. Marcelo Cunha Medeiros
Departamento de Economia/PUC-Rio

Dr. Plutarcho Maravilha Lourenço
CEPEL

Dr. Alexandre Pinto Alves da Silva
UFRJ

Dr. Lúcio de Medeiros
ICF Consulting

Dra. Mônica Barros
Departamento de Engenharia Elétrica/PUC-Rio

Dr. Henrique Steinherz Hippert
UFJF

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de março de 2007

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

Luiz Felipe Moreira do Amaral

graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2000), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2003) na área de Métodos de Apoio a Decisão. Tem experiência na área de Economia, Finanças e Energia com ênfase em Métodos Quantitativos, atuando principalmente nos seguintes temas: séries temporais, modelos STAR, econometria e estatística.

Ficha Catalográfica

Amaral, Luiz Felipe Moreira do

Um modelo de múltiplos regimes auto-regressivo periódico com transição suave aplicado a previsão de curto prazo de carga de energia elétrica / Luiz Felipe Moreira do Amaral ; orientador: Reinaldo Castro Souza . – 2007.

59 f. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Séries temporais. 3. Modelo periódico e auto-regressivo. 4. Modelo STAR. 5. Previsão de carga. 6. Multiplicador de Lagrange. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Departamento de Engenharia Elétrica por ter me recebido desde o mestrado e pelas amizades formadas na PUC-Rio. Agradeço a todos que de certa forma compõe o time!

Em seguida, agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro no Brasil e a CAPES pelo apoio financeiro enquanto eu estava na Austrália realizando o programa “sanduíche”. Sem a bolsa teria sido impossível continuar com os meus estudos!

Em seguida agradeço as pessoas que me ajudaram. O meu orientador no Brasil, Prof. Reinaldo Castro Souza, por ter acreditado no meu trabalho e pela união formada nesses 6 anos de convivência; sem a sua ajuda, nada disso teria acontecido! Agradeço também o meu orientador na Austrália, Prof. Maxwell Stevenson, que me ajudou muito no ano que morei em Sydney e tenho certeza que nossa amizade será para o resto da vida. Além destes dois, obrigado pelos amigos formados na PUC, NEC e LEC.

Por último agradeço em especial a minha família. Minha mãe Arlete, meu pai Luiz Augusto, meu irmão e irmãs Rafael, Ana Cláudia e Maria Cecília e minha esposa Maria Manuela. Vocês todos são as pessoas mais importantes na minha vida e sem vocês não consigo fazer nada! Obrigado pela paciência e pelo incentivo durante todos estes anos!

Resumo

Amaral, Luiz Felipe Moreira do; Souza, Renaldo Castro (Orientador). **Um Modelo de Múltiplos Regimes Auto-Regressivo Periódico com Transição Suave Aplicado a Previsão de Curto Prazo de Carga de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2007. 59p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Essa tese considera um modelo não linear para se obter previsões de curto prazo de carga de energia elétrica. O modelo combina um modelo de múltiplos regimes auto-regressivo com transição suave com um periódico auto-regressivo criando o modelo de múltiplos regimes periódico com transição suave (STPAR). Um método de construção do modelo e' desenvolvido com métodos estatísticos simples e um teste de linearidade contra a hipótese de modelo periódico auto-regressivo com transição suave. Outros dois destes foram elaborados para se avaliar o modelo estimado: um teste de Multiplicador de Lagrange (LM) para a hipótese de auto-correlação serial dos resíduos e outro teste LM para a hipótese de não linearidade remanescente. Um experimento de Monte Carlo foi implementado para avaliar a performance dos testes propostos. Estimação por mínimos quadrados não lineares e' considerado. Finalmente, dados de carga de energia elétrica do estado de New South Wales na Austrália são apresentados e foram usados como exemplo real. Outros modelos foram utilizados para comparar a performance do modelo.

Palavras-chave

Séries temporais, modelo periódico e auto-regressivo, modelo STAR, previsão de carga, Multiplicador de Lagrange.

Abstract

Amaral, Luiz Felipe Moreira do; Souza, Renaldo Castro (Advisor). **A Smooth Transition Periodic Auto Regressive Model for Short Term Electricity Load Forecast**. Rio de Janeiro, 2007. 59p. PhD Thesis – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis considers a non linear approach to obtain short term forecast for electricity load. The model combines a smooth transition autoregressive process with a periodic autoregressive time series model, creating the Smooth Transition Periodic Autoregressive (STPAR) model. A model-building procedure is developed and a linearity test against smooth transition periodic auto-regressive is proposed. Other two tests were created to evaluate the model: a Lagrange multiplier (LM) test for the hypothesis of no error autocorrelation and LM-type test for the hypothesis of no remaining non-linearity. A Monte Carlo experiment was implemented to evaluate the performance of the proposed tests. Estimation by nonlinear least squares is considered. Finally, load data from New South Wales State in Australia's electricity retail market is presented and will be used as a real example. Other models were used to compare the performance of the proposed model.

Keywords

Time series, periodic and autoregressive model, STAR model, load forecast, Lagrange multiplier tests.

Summary

1. Introduction	8
2. The model	10
3. Model Implementation	15
3.1. Model Specification	15
3.2. Linearity Test	16
3.3. Estimation	18
3.4. Model Evaluation	20
3.4.1. Test of Serial Independence	20
3.4.2. Test of no remaining nonlinearity	23
3.5. Forecasting	25
4. Monte Carlo Study	27
5. Analysis with Real Loads Data	34
5.1. Introduction	34
5.2. The Data Set	36
5.3. Models	41
5.4. Results	44
5.4.1. Univariate	44
5.4.2. Vector	48
6. Conclusions	52
7. References	53