



Francis Rocha de Asevedo

**Abordagem Linear Generalizada para Estimar
Perdas Não Técnicas de Energia Elétrica**

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

Maio de 2011



Francis Rocha de Asevedo

**Abordagem Linear Generalizada para Estimar
Perdas Não Técnicas de Energia Elétrica**

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

Profa. Karla Tereza Figueiredo Leite
UEZO

Prof. Lucio de Medeiros
ICF International

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 16 de maio de 2011

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

Francis Rocha de Asevedo

Formado em Estatística pela ENCE/IBGE - Rio (2008). Atualmente, finaliza o seu mestrado (2011) na PUC-Rio. Dentre os temas de sua linha de pesquisa destacam-se: regulação do serviço de distribuição elétrica, comercialização de energia, perdas não técnicas de energia elétrica, modelos lineares generalizados e modelagem de dados em painel.

Ficha Catalográfica

Asevedo, Francis Rocha de

Abordagem linear generalizada para estimar perdas não técnicas de energia elétrica / Francis Rocha de Asevedo ; orientador: Reinaldo Castro Souza. – 2011.

76 f. ; 30 cm

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

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Regulação do serviço de distribuição de energia elétrica. 3. Perdas não técnicas. 4. Abordagem linear generalizada. 5. Família exponencial. 6. Distribuição gama. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus pais Francisco e Jacqueline pelo apoio, amor e carinho recebidos
ao longo de minha vida.

Agradecimentos

Aos meus amados pais, Francisco e Jacqueline e ao meu irmão, Filipe, pelas alegrias compartilhadas, por todo o carinho, incentivo, confiança, apoio, fé e exemplo.

Ao meu professor e orientador Reinado Castro Souza, “Rei”, pela motivação, ensinamentos, suporte, atenção, paciência e confiança oferecidos a mim desde o meu primeiro dia como mestrando.

A professora Marley Vellasco, que me abriu as portas desse programa de pós-graduação, sempre de mãos estendidas a mim.

Aos meus professores do mestrado e da graduação por terem me ajudado a chegar até aqui.

A Ana Paiva e ao Flávio, equipe do meu professor Reinaldo, pela imensurável ajuda e atenção desprendidas a mim ao longo do mestrado.

Ao professor Luiz Carlos da Rocha, pela atenção, apoio, e pelas longas conversas filosóficas ao longo da minha vida acadêmica.

Ao professor Jorge Najjar pelas horas dispensadas a mim, e por ser uma referência como pessoa e acadêmico.

Aos meus amigos, principalmente aos integrantes da “república dos mineiros”, ao “chat da amizade da ENCE”, ao Anderson e a Gica, pois tiveram participação direta na conclusão dessa etapa da minha vida.

A todos da Siglasul, Light e Duke Energy pela ótima convivência e aprendizado diário.

Resumo

Asevedo, Francis Rocha de; Souza, Reinaldo Castro (Orientador). **Abordagem Linear Generalizada para Estimar Perdas Não Técnicas de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro. 2011. 76p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A necessidade de simular um ambiente de mercado competitivo para incentivar ganhos de eficiência fez a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estipular metas para indicadores gerenciáveis, dentre eles o nível de perdas não técnicas (PNT's) das distribuidoras de energia elétrica. Os prejuízos causados pelas perdas não técnicas de energia chegam à ordem de oito bilhões de reais anuais e impactam diretamente nos valores tarifários em exercício. É nesse contexto que a ANEEL, inspirada nas práticas de regulação por incentivo, estabeleceu um modelo econométrico que relaciona o nível aceitável de perdas não técnicas com a complexidade social das áreas de concessão das distribuidoras brasileiras. Entretanto, entidades do setor enxergam no modelo espaços para melhoria nos resultados e na robustez teórica do modelo, com isso, surge a idéia de propor uma abordagem de estimação diferenciada. É importante ressaltar que além da previsão, tem-se por objetivo testar novas variáveis potencialmente relevantes nesta análise, baseadas na recente literatura acerca do tema. O presente estudo demonstra que a variável de interesse, perdas não técnicas, não segue a distribuição normal, sendo assim, buscou-se a verdadeira distribuição dos dados e a modelagem se deu seguindo os arcabouços da abordagem linear generalizada. Os resultados corroboraram a aderência de uma distribuição que pertence a família exponencial (condição para a aplicação da abordagem linear generalizada). Além disso, o modelo proposto obteve boas estimativas, trazendo inclusive novas variáveis importantes para explicar as perdas não técnicas não utilizadas antes em outros estudos sobre estas perdas. O modelo proposto pode ser visto como uma alternativa viável ao modelo praticado pela ANEEL, sendo assim, sua discussão fundamental para o próximo ciclo de revisão tarifária.

Palavras-chave

Regulação do Serviço de Distribuição de Energia Elétrica; Perdas Não Técnicas; Abordagem Linear Generalizada; Família Exponencial; Distribuição Gama.

Abstract

Asevedo, Francis Rocha de; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **Generalized Linear Approach to Estimate Non-Technical Losses of Electrical Energy**. Rio de Janeiro, 2011. 76p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The need of simulating a competitive market environment in order to encourage efficiency gains made the National Electrical Energy Agency (ANEEL) fix targets for manageable indicators, including the level of non-technical losses (NTL's) of electricity distributors. The financial damage caused by losses not techniques reach the order of eight billion reais per year and directly impacts on the electricity tariffs. In this context, ANEEL inspired by the practice of regulation by incentives, established an econometric model that relates the acceptable level non-technical losses to the social complexity in concession areas of each Brazilian distributor. However, entities in the sector find gaps in the model and improvement in the results and robustness of the model should be done, this brings idea of proposing a different approach to the estimation. It is important to emphasize that in addition to forecasting, there is the willing of testing new variables potentially relevant in this analysis, based on recent literature on the subject. This study proves that the variable of interest, non-technical losses, does not follow the Gaussian distribution, thus, we sought the true distribution of data and modeling took place in the frameworks of general linear approach. The results confirm adherence to a distribution that belongs to the exponential family (condition for applying the generalized linear approach model), in addition, the proposed model obtained good estimates, including the use of new important variables to explain the non-technical losses not used in other studies. The proposed model can be seen as possible alternative to the model used by ANEEL, so, its discussion is really important to the next review cycle of electricity rates.

Keywords

Regulation on Electric Energy Distribution; Non-Technical Losses; Generalized Linear Approach; Exponential Family; Gamma Distribution.

Sumário

1	Introdução	12
1.1.	O Setor Elétrico Brasileiro	12
1.2.	O Problema	14
1.3.	Motivação	15
1.4.	Estruturação do trabalho	18
2	Análise Bibliográfica	20
2.1.	Principais Trabalhos Acadêmicos	20
2.2.	Marco Regulatório	22
2.3.	Contribuições das Distribuidoras	23
3	Análise de Dados	25
3.1.	Variáveis Explicativas	25
3.2.	Fatores	27
3.3.	Construção das Variáveis	39
3.4.	Variável de Interesse	40
4	Modelos Lineares Generalizados	44
4.1.	Introdução aos MLG's	44
4.2.	Estrutura do Modelo	45
4.3.	Estimação	49
4.4.	Pós-estimação	51
5	Resultados	56
5.1.	Resultados da Estimação dos Coeficientes	56
5.2.	Escolha do Modelo	58
5.3.	Diagnóstico dos Resíduos	60
6	Conclusões	67
6.1.	Trabalhos Futuros	68
7	Bibliografia	70
8	Anexos	73
8.1.	Legislação Citada	73
8.2.	Principais Rotinas usadas no STATA	74
8.3.	Resumo das Estimativas e Estatísticas	75

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Lista de Variáveis	27
Tabela 2 – Estatísticas Descritivas	40
Tabela 3 – Algumas distribuições e tipos de dados	45
Tabela 4 - Modelo Gama Link Log	56
Tabela 5 – Modelo Normal Inversa Link Log	57
Tabela 6 – Resumo das Estimativas	64

Lista de Figuras

Figura 1– Composição da Tarifa de Energia Elétrica	13
Figura 2 – Ligações Irregulares em uma Favela Carioca	28
Figura 3 – Top 10 distribuidoras com maior percentual de domicílios com densidade de moradores maior do que três por cômodo	29
Figura 4 – Top 10 distribuidoras com maior percentual de domicílios precários	30
Figura 5 – Top 10 distribuidoras com menor percentual de cobertura de água encanada	31
Figura 6 – Top 10 distribuidoras com menor percentual de cobertura de rede de esgoto	31
Figura 7 – Top 10 distribuidoras com maior índice de óbitos por agressão a cada cem mil habitantes	32
Figura 8 – Problemas em áreas de risco durante uma ação de combate as perdas não técnicas	33
Figura 9 – Top 10 distribuidoras com maior percentual de chefe do domicílio com recebem até $\frac{1}{2}$ salário	34
Figura 10 – Top 10 distribuidoras com maior índice de desemprego	35
Figura 11 – Top 10 distribuidoras com maior percentual de chefes de domicílio que ganham até três salários	36
Figura 12 – Top 10 distribuidoras com maior taxa de inadimplência no setor de crédito	37
Figura 13 – Demanda Acentuada por Eletrodomésticos	38
Figura 14 – Histograma da variável de interesse - % de Perdas Não Técnicas	41
Figura 15 – Caso 1 Distribuição Simétrica	42
Figura 16 – Caso 2 Distribuição Assimétrica Positiva	43
Figura 17 – QQ-Plot dos Resíduos	61
Figura 18 – Histograma dos Resíduos	61
Figura 19 – Resíduos x Observações	62
Figura 20 – Resíduos x Preditor Linear	63
Figura 21 – Distâncias de Cook	64

"I will never believe that God plays dice with the Universe"

Einstein, Albert.