

PREVISÃO DECENAL DE CARGA DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

Miriam Terumi Okamoto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA  
CIVIL.

Aprovada por:

---

Prof. Nelson Francisco Favilla Ebecken, D.Sc.

---

Prof<sup>a</sup>. Beatriz de Souza Leite Pires de Lima, D.Sc.

---

Prof. Guilherme Saad Terra, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
SETEMBRO DE 2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

OKAMOTO, MÍRIAM TERUMI

Previsão Decenal de Carga de Energia  
Elétrica Utilizando Inteligência Computacional  
[Rio de Janeiro] 2008

X, 71 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Engenharia Civil, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, COPPE

1. Previsão, 2. Planejamento, 3. Cenários,  
4. Energia Elétrica

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais por ser quem sou.

A meu marido que sempre me incentivou.

À minha família pela presença e apoio, inclusive pelos exemplos de Renato, Vânia e Fábio que cursam mestrado e doutorado.

Aos meus amigos e colegas de Furnas: Mayse, Kátia, Marcus, Patrícia, Cínara, Luzimar, Mozart, Luiz Paulo, Gláucia, Sylvio, Miguel, Mauricio, Luiz Henrique, Cristiane, Cristina, Sergio Paulo, Sergio Serra e Nelma pelas oportunidades e carinho. Um especial agradecimento às minhas amigas Claudia Segond e Teresa Puzzy por estarem sempre prontas para me apoiar e ajudar.

Aos meus amigos e colegas do Setor Elétrico que me ajudaram direta ou indiretamente, com informações, idéias, conhecimento ou simplesmente com palavras de apoio: Camargo (Eletrobrás), Nelson Leon (Eletrobrás), Sarto (Eletronorte), Ícaro (Eletronorte), Lúcia Ribas (Chesf), Nivia (Ampla), Giovanna (CPFL), Regina (Energias do Brasil), Cláudio Veloso (EPE), Inah (EPE), Caio (CESP), Denesmar (ANEEL), Wanderlon (CEB), Rosana (CERON), Natale (Eletropaulo), Gustavo (CELG), Mauro (CEMIG), Sette (CEMIG), Márcia Santos (ONS), Vanessa Kfuri (Eletrobrás) e tantos outros.

Para o meu orientador Nelson, por seu exemplo de grande sabedoria aliada à simplicidade.

Ao Alexandre Evsukof por sempre estar disponível tirando minhas dúvidas.

E ao Guilherme pelo seu entusiasmo e cordialmente me ajudando.

Pela presteza e cortesia das meninas Egna, Ana Cristina e Solange da COPPE, pois sem elas os processos não andam. E também ao Jairo.

E finalmente pelo apoio recebido dos amigos da Transpetro: Ubiracyr, Eliezer, Patrícia Hermógenes, Bruno Erthal, Rosi e Arbex.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PREVISÃO DECENAL DE CARGAS DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

Miriam Terumi Okamoto

Setembro /2008

Orientador: Nelson Francisco Favilla Ebecken

Programa: Engenharia Civil

O objetivo deste trabalho é fazer a previsão de mercado de energia elétrica para os próximos 10 anos utilizando paradigmas de Inteligência Artificial, como Redes Neurais Artificiais, Sistema Fuzzy e comparar com o modelo estatístico clássico de Regressão Dinâmica. Este estudo utiliza variáveis econômicas como o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e o crescimento da população como variáveis explicativas que são altamente correlacionadas com o crescimento da demanda de energia elétrica brasileira. Por se tratarem de projeções de longo prazo requerem a utilização de cenários, devido às grandes incertezas envolvidas no horizonte em estudo.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## DECENAL FORECAST ENERGY USING INTELIGENCY COMPUTING

Miriam Terumi Okamoto

September /2008

Advisor: Nelson Francisco Favilla Ebecken

Department: Civil Engineering

The objective of this work is to forecast the demand of electric energy for the next 10 years using paradigms of Artificial Intelligence, as Artificial Neural Networks, Fuzzy systems and compare with the statistical model of classical Regression Dynamics. This study uses economic variables such as gross domestic product (GDP) and the growth of the Brazilian population as explanatory variables that are highly correlated with growth in demand for electricity. Due to large uncertainties involved in the horizon under study, these long terms predictions require the use of scenarios.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABELAS .....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2.1. Características do Setor Elétrico .....	5
2.2. Modelo Institucional do Setor Elétrico.....	9
2.3. Sistema de Geração Hidráulica .....	13
2.4. Sistema de Transmissão .....	15
2.5. Modelos de Mercado – Contratação de Energia Elétrica .....	16
3. PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO .....	17
3.1. Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006-2015 .....	18
3.2. Objetivo do PDE .....	21
4. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRO .....	22
4.1. Participação do Consumo por Subsistema.....	23
4.2. Classes de Consumo.....	25
4.2.1. Consumo Residencial .....	25
4.2.2. Consumo Industrial .....	26
4.2.3. Consumo Comercial.....	26
4.2.4. Outros Consumos .....	27
4.2.5. Evolução do Consumo de Energia Elétrica.....	27
5. CENÁRIOS .....	28
5.1. Metodologia dos Estudos de Cenários .....	28
5.1.1. Componentes dos Cenários.....	30
5.1.2. Aplicações dos Estudos de Cenários.....	30
5.2. Cenários de Mercado.....	31
5.3. Cenários Macroeconômicos .....	32
5.4. Cenários Demográficos .....	33
5.5. Cenários Para Projeção da Carga .....	33
6. PREVISÃO DA CARGA.....	35
6.1. Premissas Básicas.....	35
7. PREPARAÇÃO DOS DADOS .....	37
7.1. Dados de entrada .....	37
7.2. Cenários Utilizados .....	39
7.2.1. Cenários Macroeconômicos.....	41
7.2.2. Cenário Crescimento da População e do Número de Consumidores ..	42
7.2.3. Cenários de Crescimento da Carga – Eletrobrás/FGV .....	43

8.	MODELOS UTILIZADOS NA PREVISAO DA CARGA.....	44
8.1.	Modelo Utilizando RNA.....	44
8.1.1.	RNA utilizada .....	45
8.2.	Modelo Utilizando Sistema Fuzzy.....	48
8.3.	Modelo Causa e Efeito.....	53
8.3.1.	Mineração de Dados .....	53
8.3.2.	Projeto de P&D de FURNAS.....	54
8.3.3.	O modelo Causa e Efeito Utilizando a Carga .....	56
8.4.	Regressão Dinâmica.....	58
9.	RESULTADOS .....	61
9.1.	Previsão da Carga nos três cenários e diversos modelos:.....	64
9.1.1.	Resultado Utilizando RNA .....	64
9.1.2.	Resultado Utilizando Sistema Fuzzy – TSK de ordem 1 .....	65
9.1.3.	Resultado Utilizando o Modelo Causa e Efeito.....	66
9.1.4.	Resultado Utilizando Regressão Dinâmica.....	67
10.	CONCLUSÃO .....	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Interligações que definem o Sistema Elétrico Brasileiro - MME.....	5
Figura 2: Diversidade Hidrográfica Brasileira – Fonte: ONS .....	6
Figura 3: Potencial Hidráulico Brasileiro – Fonte: MME .....	7
Figura 4: Matriz de Energia Elétrica por Fonte – Fonte: MME .....	7
Figura 5: Interconexões Energéticas 2006– Fonte MME .....	8
Figura 6: Subsistema Elétrico Brasileiro.....	9
Figura 7: Estrutura do Setor Elétrico - ONS .....	10
Figura 8: Agentes de Geração Hidráulica - ONS.....	12
Figura 9: Agentes de Distribuição por Estado .....	13
Figura 10: Parque Gerador Elétrico - ONS.....	14
Figura 11: Sistema de Transmissão do SIN por nível de tensão .....	15
Figura 12: Planejamento Energético 2030 – Fonte MME.....	18
Figura 13: Capacidade Instalada e Características de Mercado – Fonte MME .....	22
Figura 14: Histórico da carga e cenários de crescimento até 2015.....	23
Figura 15: Participação do consumo por região geográfica. Fonte:EPE.....	24
Figura 16: Participação do consumo por classe segundo a EPE – 2007 .....	25
Figura 17: Histórico mensal do consumo de EE – Fonte: EPE .....	27
Figura 18: Metodologia - Eletronorte .....	31
Figura 19: Cenários do Mercado de Energia Elétrica e Planejamento – CCEE.....	32
Figura 20: Metodologia para a previsão de carga .....	34
Figura 21: Utilização de cenários para a projeção de cenários de carga.....	36
Figura 22: Cenários para a taxa de crescimento do PIB .....	42
Figura 23: Rede neural artificial.....	46
Figura 24: Saídas do treinamento e teste da RNA.....	46
Figura 25: Comparativo da evolução da carga – Real x RNA .....	47
Figura 26: Clusterização da base de dados .....	49
Figura 27: Funções de pertinência triangulares para cada variável.....	51
Figura 28: Comparativo da evolução da carga.....	52
Figura 29: Comparativo das taxas de crescimento (%) da carga.....	52
Figura 30: KDD .....	53
Figura 31: Relação PIB / Densidade de Consumo (Fonte: Relatório de P&D).....	55
Figura 32: Comparação da correlação entre os indicadores e das variáveis.....	56
Figura 33: Previsão Utilizando Regressão Dinâmica - Cenário de Referência .....	60
Figura 34: Evolução do crescimento da carga (% a.a.).....	62

Figura 35: Previsão da carga utilizando diversas técnicas - cenário de referência.....	64
Figura 36: Cenários de crescimento da carga utilizando RNA.....	65
Figura 37: Cenários de crescimento da carga utilizando Fuzzy.....	66
Figura 38: Cenários de crescimento da carga utilizando Causa e Efeito.....	66
Figura 39: Cenários de crescimento da carga utilizando Regressão Dinâmica.....	67

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo Energia Elétrica e Número de Consumidores por Região .....	24
Tabela 2 – Estilos de Planejamento .....	29
Tabela 3 – Dados de Entrada.....	38
Tabela 4 – Matriz de Correlação das Variáveis.....	39
Tabela 5 – Cenários do PIB.....	41
Tabela 6 – Projeção da População e NC .....	43
Tabela 7 – Projeção da Carga - SIN.....	43
Tabela 8 – Cálculo do fator $A_t+B$ para as duas retas.....	57
Tabela 9 – Relatório de Saída do FORECAST PRO.....	58
Tabela 10 – Comparação das Taxas de Crescimento nos Diversos Modelos .....	61
Tabela 11 – Comparativo dos Erros de Cada Modelo.....	63

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para o desenvolvimento e crescimento do Brasil, por isso se faz necessário um planejamento de longo prazo. O planejamento é um método que visa racionalizar o processo de decisões.

O Brasil é um país de dimensões continentais, possuindo uma complexa rede de geração, transmissão e distribuição de energia, que constitui o Sistema Interligado Nacional - SIN, operado de forma otimizada pelo Operador Nacional do Sistema - ONS. Por ser um país em desenvolvimento, a demanda de energia elétrica vem apresentando taxas de crescimento superiores às taxas de crescimento da economia.

O planejamento da expansão do sistema elétrico nacional é estruturado considerando as características do Sistema Elétrico Brasileiro, destacando-se:

- ❖ organização institucional complexa, em função das dimensões do País, das diferenças regionais e da necessidade de participação de diversos agentes públicos e privados, de forma direta e indireta, nas atividades relacionadas com o suprimento de energia elétrica.
- ❖ predominância hidrelétrica, com usinas de grandes reservatórios de regularização plurianual. Apesar da existência de um grande potencial hidrelétrico a aproveitar, justifica-se estrategicamente planejar um programa termelétrico e de fontes alternativas complementares, tanto pelo custo das usinas ou por sua distância em relação aos mercados.
- ❖ grandes distâncias das usinas aos principais centros de consumo e conexões inter-regionais motivadas pela diversidade hidrológica entre bacias hidrográficas, ensejando grande economia na expansão e na operação dos sistemas, com importantes reduções para o consumidor.

Em função desses aspectos e dos prazos de maturação dos projetos e dos estudos que antecedem sua concepção, o planejamento da expansão do sistema elétrico nacional é desenvolvido para diversos horizontes temporais, conforme a seguir:

- ❖ estudos de Longo Prazo, com horizonte de até 30 anos, que buscam analisar as estratégias de desenvolvimento do sistema elétrico, a

composição futura do parque gerador, os principais troncos e sistemas de transmissão, estabelecendo um programa de desenvolvimento tecnológico e industrial e promovendo inventários de bacias hidrográficas. São definidas as diretrizes para os estudos de médio e curto prazo e determinados os custos marginais de expansão em longo prazo.

- ❖ estudos com horizonte de 10 anos, onde são apresentadas as decisões relativas à expansão da geração e da transmissão, definindo os empreendimentos e sua alocação temporal, sendo realizadas as análises das condições de suprimento ao mercado.

O Plano Decenal de Expansão do Setor Elétrico (PDE) é revisto anualmente, onde as previsões de mercado são reavaliadas, em seguida, o programa de obras de geração e transmissão é ajustado ao mercado previsto levando-se em conta as restrições físicas, financeiras, legais e sócio-ambientais.

Contudo, para expandir o Sistema Interligado Nacional (SIN), por suas características únicas, é indispensável à existência de um processo de planejamento que possa orientar futuras ações governamentais e fornecer uma correta sinalização aos agentes do setor elétrico brasileiro, para induzir uma alocação eficiente dos investimentos, base para a modicidade tarifária futura.

A necessidade de coordenação no processo da expansão e da operação do Sistema Elétrico Brasileiro decorre do setor basear-se predominantemente na hidroeletricidade e na integração elétrica dos diversos sistemas regionais através de grandes troncos de transmissão.

Os estudos prospectivos sobre a demanda de energia constituem-se em uma importante etapa do planejamento energético nacional, fornecendo elementos fundamentais para a avaliação das alternativas de expansão da oferta de energia no País.

O mestrado iniciado em 2005 foi motivado pelo trabalho realizado em FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. De 2000 a 2003 no DPL.T/DEPE.T – Departamento de Planejamento da diretoria técnica da empresa, mais especificamente na Divisão de Estudos de Planejamento da Expansão da geração, realizando estudos de inventário

de bacias hidrográficas e de viabilidade técnica para a construção de usinas hidrelétricas, além do interesse em estudos de fontes alternativas de energia elétrica. Com a mudança de área de trabalho em 2004 a 2006 para o DGM.T/DEEM.T – Departamento de Estudos Gerenciais e de Mercado de energia elétrica, na Divisão de Estudos Econômicos e de Mercado, manteve-se o interesse no planejamento com horizonte 10 anos na tomada das decisões gerenciais de investimento.

Outro fator que contribuiu para a realização deste mestrado foi a oportunidade gerada pelo projeto de P&D de FURNAS em parceria com os centros de excelência e pesquisa e pesquisadores das universidades UFF e UFRJ/COPPE para se criar uma ferramenta de predição decenal de consumo de energia elétrica utilizando inteligência computacional.

Esta dissertação está dividida nos capítulos descritos a seguir:

- ❖ O capítulo 2 apresenta uma visão sobre o setor elétrico brasileiro, suas características únicas e os principais agentes envolvidos.
- ❖ O capítulo 3 descreve como se dá o planejamento do setor elétrico para diversos horizontes de estudo.
- ❖ O capítulo 4 mostra como é classificado o mercado de energia elétrica, algumas particularidades e estatísticas.
- ❖ Os capítulos 5 e 6 demonstram a metodologia de estudos de cenários para balisar estudos de longo prazo e a sua importância na tomada de decisão. Além disso, são explicadas as premissas básicas da previsão da carga de energia elétrica e dos três cenários que o setor elétrico utiliza.
- ❖ O capítulo 7 fala sobre os dados utilizados neste estudo, além da preparação dos dados e de suas respectivas fontes.
- ❖ O capítulo 8 discorre sobre todos os modelos utilizados neste estudo para a previsão decenal.
- ❖ O capítulo 9 apresenta todos os resultados encontrados para os três cenários de crescimento da carga para todos os modelos.
- ❖ E finalmente no capítulo 10 estão as conclusões do trabalho e sugestões para desenvolvimentos futuros.

Enfim, o presente estudo consiste em utilizar paradigmas de Inteligência Artificial, como Redes Neurais Artificiais, Mineração de Dados e Sistema Fuzzy, para realizar previsões de mercado de energia elétrica no horizonte temporal de 10 anos. Baseou-se em variáveis macroeconômicas e demográficas, e estudos setoriais dos

mercados de energia elétrica, derivados de petróleo e outros energéticos, de modo a fazer projeções da demanda de energia, para o período a ser analisado. Em seguida, analisou a consistência dos resultados, relativamente à evolução da tendência e às premissas adotadas, comparando os resultados obtidos com aqueles provenientes do modelo estatístico clássico de Regressão Dinâmica.

Os desafios e limitações do estudo são provenientes das relações complexas entre o mercado de energia elétrica, o consumo global de energia, o crescimento econômico e a política industrial. Sobretudo, em função do processo e do estágio de desenvolvimento econômico de Brasil, que demandam do Setor Elétrico a formulação de metodologias próprias para avaliar a evolução do seu mercado.

Desse modo, as ferramentas e os modelos disponíveis para se fazer as previsões de mercado de energia elétrica estão em constante aprimoramento.

Finalmente cabe ressaltar que projeções de longo prazo envolvem diversas incertezas e nem sempre incorporam os riscos de mudanças políticas, crises econômicas, inovações tecnológicas e alterações de comportamento de consumo.

## 2. SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

### 2.1. Características do Setor Elétrico

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.

Segundo informações do Ministério de Minas e Energia de dezembro de 2006, apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Interligações que definem o Sistema Elétrico Brasileiro - MME

O nível dos reservatórios das bacias hidrológicas no Brasil é um importante indicador das condições da oferta de energia elétrica. Esta importância é determinada

pelo alto grau de participação das hidroelétricas na oferta total da energia elétrica, situada em torno dos 85%.

Além disso, podemos destacar as seguintes características, assim como representado na Figura 2:

- ❖ O sistema interligado explora a diversidade hidrológica entre as bacias, por exemplo, os períodos secos e úmidos complementares entre as regiões sul e sudeste;
- ❖ Além disso, a operação do sistema pode aproveitar períodos hidrológicos favoráveis para reduzir o consumo de combustível nas termoeletricas.



Figura 2: Diversidade Hidrográfica Brasileira – Fonte: ONS

O imenso potencial hidrológico a explorar por região, segundo o Ministério de Minas e Energia está ilustrado na Figura 3. Cabe destacar que a região amazônica, na região norte, possui um enorme potencial hídrico ainda não explorado, porém distante dos grandes centros consumidores de energia, como a região sudeste.



Figura 3: Potencial Hidráulico Brasileiro – Fonte: MME

O Brasil é um país que possui uma matriz energética privilegiada e de recursos naturais abundantes. A matriz de energia elétrica brasileira em 2006, por fonte de geração, mostra a predominância hidráulica, ou seja, somado à participação de 4% de biomassa, representa 89% de fontes renováveis, enquanto que mundialmente esse percentual é de 18%, conforme ilustrada na Figura 4.

Outra característica da matriz de energia é a presença de usinas hidrelétricas com grandes reservatórios de capacidade de regularização plurianual, capazes de armazenar a energia na forma de água para uma geração futura de eletricidade.

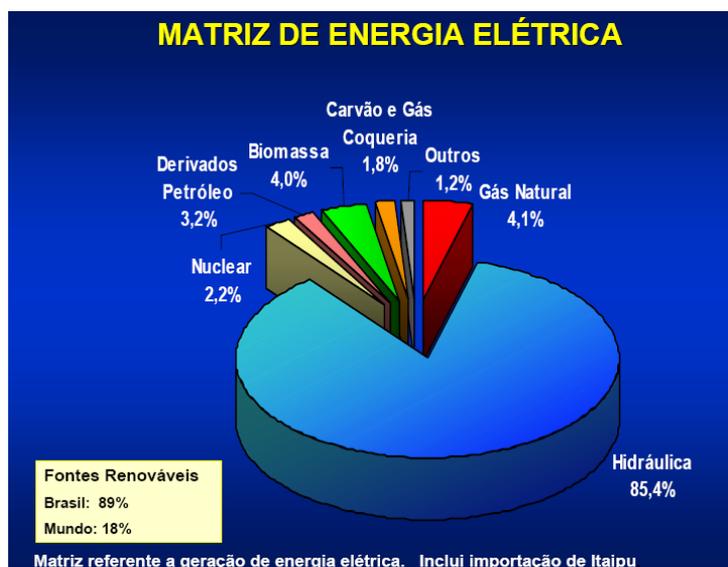


Figura 4: Matriz de Energia Elétrica por Fonte – Fonte: MME

Apesar da primazia da geração hidrelétrica, se faz necessário diversificar as fontes de geração para aproveitar os diferentes potenciais energéticos do território nacional e, além disso, de fontes renováveis, com isso aproveitar a geração de termelétricas provenientes da biomassa (bagaço de cana), assim como explorar no futuro, o grande potencial eólico, solar e das marés.

As principais interconexões energéticas do Brasil com os países vizinhos são ilustradas na Figura 5, assim como as respectivas capacidades e tipo de energia.



Figura 5: Interconexões Energéticas 2006– Fonte MME

O Brasil é um país de dimensões continentais, possuindo uma complexa rede de geração, transmissão e distribuição de energia, que forma o Sistema Interligado Nacional - SIN. Este é formado de 4 subsistemas interligados. Apenas o subsistema correspondente ao Norte Isolado, ainda não integra o SIN, conforme representado na Figura 6.



Figura 6: Subsistema Elétrico Brasileiro

## 2.2. Modelo Institucional do Setor Elétrico

### **CNPE – Conselho Nacional de Política Energética**

Órgão de assessoramento do Presidente da República para formulação de políticas nacionais e diretrizes de energia, visando, dentre outros, o aproveitamento natural dos recursos energéticos do país, rever periodicamente a matriz energética e estabelecer diretrizes para programas específicos. É um órgão multi-ministerial presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia.

### **MME – Ministério de Minas e Energia**

Encarregado de formulação, do planejamento e implementação de 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, com a função precípua de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletro energético em todo o território.

### **EPE – Empresa de Pesquisa Energética**

A EPE é uma empresa pública, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. Sua finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

### **CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**

Pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob regulação e fiscalização da ANEEL, com finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – SIN. Administra os contratos de compra e venda de energia elétrica, sua contabilização e liquidação.

### **ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico**

Pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob regulação e fiscalização da ANEEL, tem por objetivo executar as atividades de coordenação e controle da operação de geração e transmissão, no âmbito do SIN.

### **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica**

Autorarquia sobre regime especial, vinculada ao MME, com finalidade de regular a fiscalização a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia, em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo Federal.

A Figura 7 ilustra o modelo institucional brasileiro no que se refere ao setor energético.

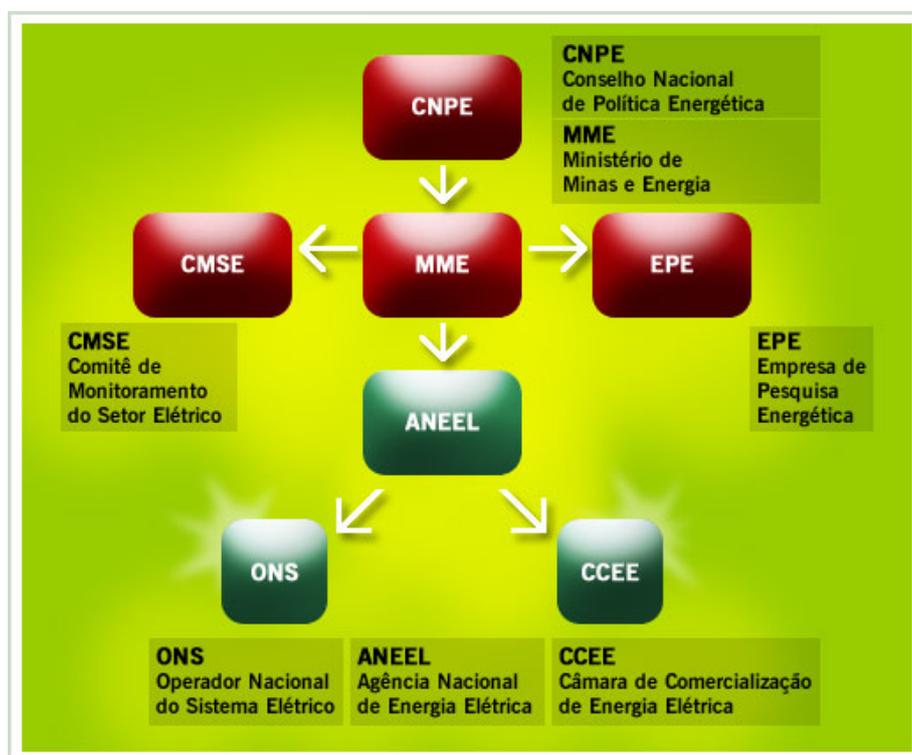


Figura 7: Estrutura do Setor Elétrico - ONS

Os Agentes Setoriais, por sua vez, também possuem funções distintas nesse meio ambiente.

- ❖ **Agentes Geradores** – São autorizados ou concessionários de geração de energia elétrica, que operam plantas de geração e prestam serviços ancilares. Veja por exemplo a Figura 8.
- ❖ **Agentes de Transmissão** – Agentes detentores de concessão para transmissão de energia elétrica, com instalações na rede básica.
- ❖ **Agentes de Distribuição** – Operam um sistema de distribuição na sua área de concessão, participando do Sistema Interligado e sendo usuários da Rede Básica. Contratam serviços de transmissão de energia e serviços ancilares do Operador Nacional do Sistema Elétrico, como ilustrado na Figura 9.
- ❖ **Consumidores Livres** – Consumidores que têm a opção de escolher seu fornecedor de energia elétrica, negociando a compra de energia elétrica de qualquer concessionário, permissionário ou autorizado do sistema interligado. A energia comprada pode ser para atender a totalidade ou parte da sua demanda.
- ❖ **Consumidores Cativos** – Consumidores que não têm a opção de escolher seu fornecedor de energia elétrica, ficando obrigados a comprar das distribuidoras de energia locais.
- ❖ **Agentes Importadores** – São agentes titulares de autorização para implantação de sistemas de transmissão associados à importação de energia elétrica.
- ❖ **Agentes Exportadores**- São agentes titulares de autorização para implantação de sistemas de transmissão associados à exportação de energia elétrica.
- ❖ **Agentes Comercializadores** - São agentes titulares outorgada pelo Poder Concedente para vender energia elétrica a consumidores finais e para comprar e vender energia elétrica no âmbito do CCEE. Geradores e distribuidores são automaticamente agentes de comercialização.
- ❖ **Agente Comercializador da Energia de Itaipu**- Itaipu é uma entidade binacional, pertencente ao Brasil e ao Paraguai. O relacionamento entre os dois países segue tratados internacionais específicos. A energia de Itaipu recebida pelo Brasil representa cerca de 30% do mercado de energia da região

sul/sudeste/centro-oeste. A comercialização dessa energia no Brasil é coordenada pela Eletrobrás.

Os principais agentes do setor elétrico são as empresas geradoras, transmissoras, as comercializadoras e as distribuidoras de energia elétrica. A Figura 8 apresenta as 51 empresas que geram energia hidrelétrica e que participam do SIN.

AGENTES		
CDSA - 1	Itaipu Binacional - 18	Corumbá III - 35
CEEE - 2	LIGHT - 19	Enerpeixe - 36
CEC - 3	ALCAN - 20	Espora - 37
CELPA - 4	ALUSA - 21	Investco - 38
CESC - 5	Baguari - 22	Itapebi - 39
CEMIG - 6	CAT-LEO - 23	Itiquira - 40
CERAN - 7	CBA - 24	J. Malucelli - 41
CESP - 8	São Salvador - 25	Monel - 42
DUKE - 9	Salto Pilão - 26	ORTENG - 43
AES-Tietê - 10	CEST - 27	P. Pedra - 44
CHESF - 11	Paraibuna - 28	Queiroz Galvão - 45
COPEL - 12	Porto Estrela - 29	Rio Verde - 46
Eletronorte - 13	GEASF - 30	Rio Verdinho - 47
EMAE - 14	Corumbá IV - 31	Tangará - 48
Escelsa - 15	CPFL - 32	Votorantim - 49
Furnas - 16	CVRD/EPP - 33	CNEC - 50
Tractebel - 17	Eletrosul - 34	Foz do Chapecó - 51

Figura 8: Agentes de Geração Hidráulica - ONS

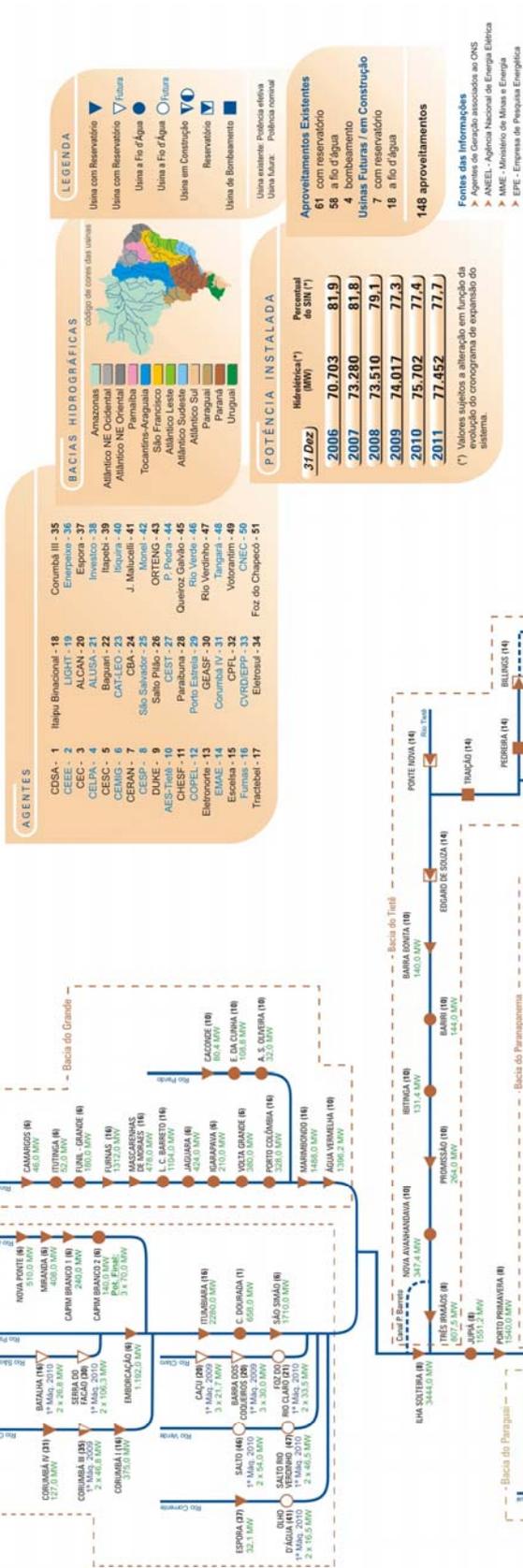
Os principais agentes de distribuição de energia elétrica, distribuídos por região geográfica estão ilustrados no mapa da Figura 9.



# Diagrama Esquemático das Usinas Hidrelétricas do SIN

## Usinas Hidrelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2007 - 2011



# Operador Nacional do Sistema Elétrico

Figura 10: Parque Gerador Elétrico - ONS

## 2.4. Sistema de Transmissão

O Sistema de Transmissão Brasileiro ainda possui regiões remotas na região amazônica ainda não atendidas pelo SIN, o que não significa que não possui energia elétrica, porém são atendidas por fontes de geração mais caras, tipo termelétricas movidas a óleo combustível ou diesel. A configuração desta malha de transmissão esta representada na Figura 11 obtida no ONS -2006.

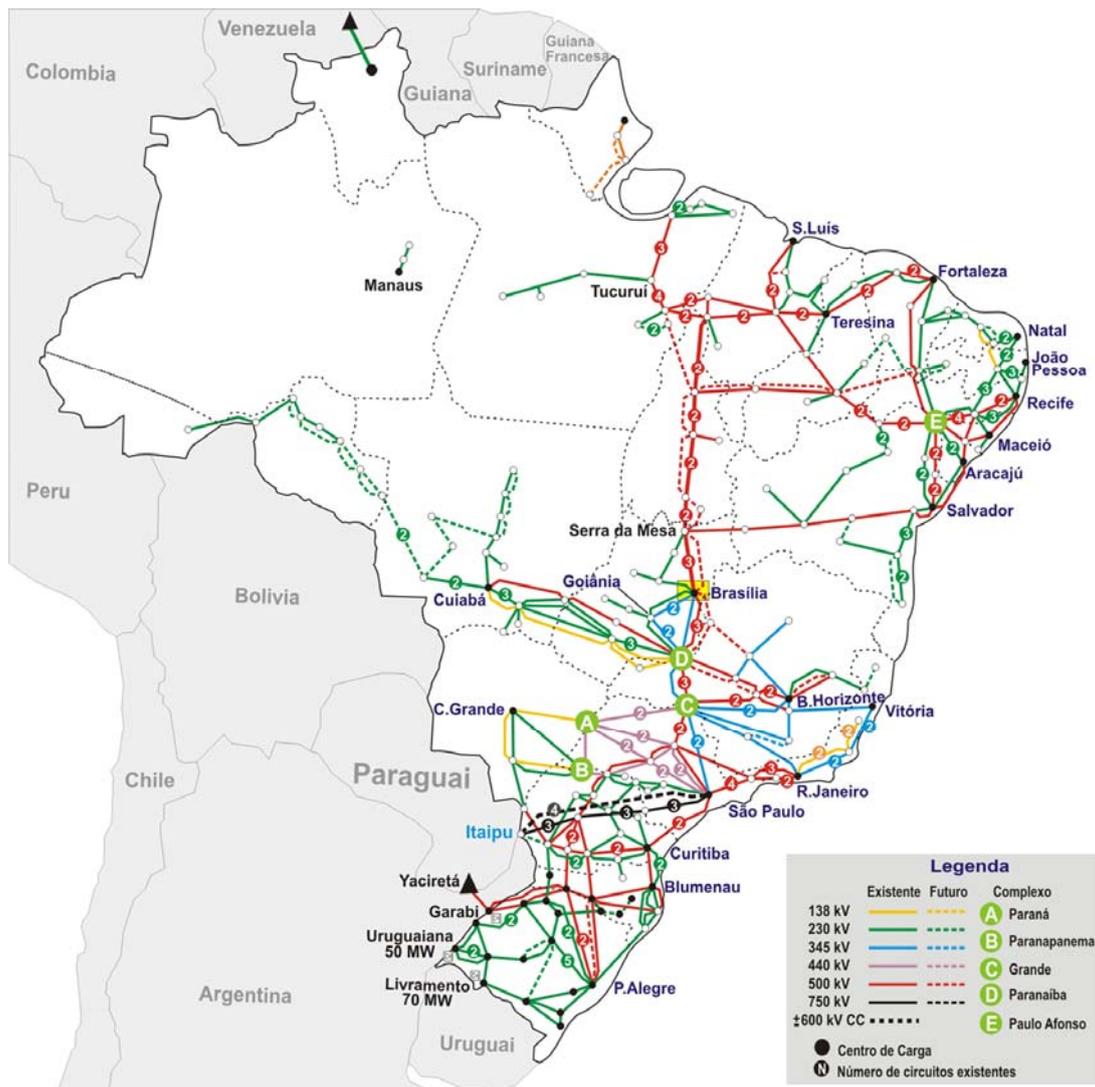


Figura 11: Sistema de Transmissão do SIN por nível de tensão

## 2.5. Modelos de Mercado – Contratação de Energia Elétrica

Os mercados de energia podem ser classificados em **Competitivos** ou **Regulados** de acordo com o modo de formação do preço da energia:

- ❖ **Mercado Competitivo ou Ambiente de Livre Contratação:** o preço é determinado diretamente pelo equilíbrio de oferta e procura. Os agentes de produção administram seus recursos (determinam o custo de oportunidade de uso das reservas hídricas, etc). Os agentes de produção só têm compromisso de atendimento dos seus contratos.
  
- ❖ **Mercado Regulado:** o preço é determinado pelo modelo de despacho (“custo marginal de operação”). O modelo de despacho centralizado administra o uso dos recursos do sistema interligado. O modelo busca o atendimento de toda a demanda contratada ou não, pelo menor custo operativo do sistema ao longo do tempo. Neste caso, não há possibilidade de manipulação do preço da energia elétrica.

### **3. PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO**

O Ministério de Minas e Energia – MME é responsável pela concepção e implementação de políticas para o Setor Energético, em consonância com as diretrizes do Conselho Nacional de Políticas Energéticas – CNPE e faz o planejamento do setor elétrico, como função de governo, ao tornar público o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006/2015.

O MME, através de seus órgãos e empresas, promove diversos estudos e análises com o objetivo de subsidiar a formulação de políticas energéticas, bem como orientar a definição dos planejamentos setoriais.

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, empresa pública, vinculada ao MME, instituída pela Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Entre as atribuições da EPE, consta a responsabilidade de elaborar estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazo.

Durante o ano de 2005, em conformidade com a estratégia de resgate do planejamento com visão de longo prazo, o MME priorizou a realização de vários estudos, destacando-se, além deste Plano Decenal, a elaboração do Plano Nacional de Energia e da Matriz Energética Nacional com horizonte de planejamento até o ano de 2030.

A Figura 12 apresenta o esquema do planejamento energético diretivo do governo de longo prazo e o desdobramento em outros estudos de prazos distintos, alinhados com o longo prazo. Entre eles o estudo da matriz energética Nacional, derivando o BEN – Balanço Energético Nacional e o Plano Decenal de Expansão de Energia (horizonte de planejamento de 10 anos).

## O Planejamento Energético

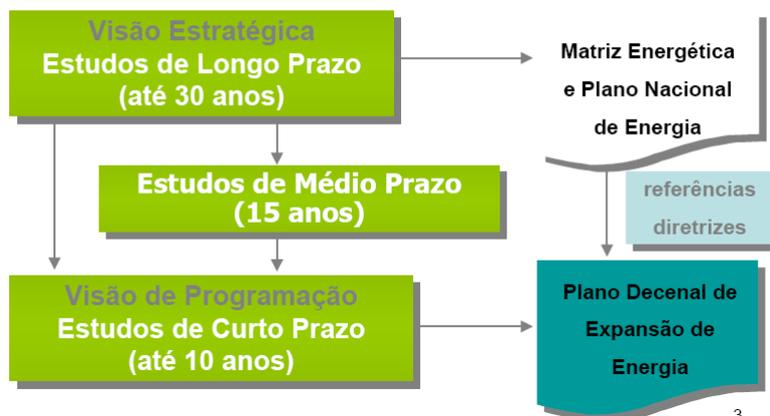


Figura 12: Planejamento Energético 2030 – Fonte MME

Por haver horizontes distintos de planejamento (longo, médio e curto prazo) e de tomada de decisões, é necessário traçar estratégias de solução para tal planejamento. Quanto maior for o horizonte de estudo, maiores serão as incertezas e menor será o detalhamento do sistema.

### 3.1. Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006-2015

O PDEE proporciona importantes sinalizações para orientar as ações e decisões relacionadas ao equacionamento do equilíbrio entre as projeções de crescimento econômico do país, seus reflexos nos requisitos de energia elétrica e no tocante à necessidade de expansão da oferta, em bases técnica, econômica e ambientalmente sustentável.

O modelo do setor elétrico associa a participação de agentes públicos e privados, com papéis delimitados por um conjunto de normas, instrumentos governamentais, e regulamentados por contratos junto ao órgão regulador. As diretrizes e indicações para o horizonte decenal se configuram também como instrumentos estratégicos para garantia do atendimento do mercado de energia elétrica, com qualidade e confiabilidade do sistema.

O dimensionamento das necessidades de energia elétrica baseou-se em premissas macroeconômicas que levam em conta o crescimento do Produto Interno

Bruto – PIB para a década estudada. Foram definidos três cenários. O primeiro cenário de referência, considerado o mais provável, pressupõe taxa de crescimento médio do PIB de 4,2% ao ano; o segundo cenário de tendência baixa prevê uma taxa de crescimento anual da ordem de 3,2% ao ano; e o terceiro cenário de crescimento alto aponta taxa de crescimento anual de 5,1 % ao ano. Os diferentes cenários de PIB acarretam diferentes taxas de crescimento para o mercado de energia elétrica: 4,8% para o cenário de trajetória de referência, 3,9% para a trajetória de tendência baixa e, finalmente, 5,5% para a trajetória de crescimento alta.

No processo de expansão do parque gerador e das instalações de transmissão no novo Modelo Institucional do Setor Elétrico, os agentes privados e públicos decidem o montante de energia elétrica a contratar e os investimentos a realizar a partir da participação em leilões de usinas geradoras e sistemas de transmissão.

De fato, são os agentes de distribuição que decidem e se comprometem a pagar, por meio de contratos, resultantes de leilões, montantes de energia elétrica provenientes de novas instalações de geração de energia elétrica a serem entregues a partir do terceiro ou quinto ano futuro. Estes leilões estão estabelecidos na legislação nacional (Lei 10.848 de 15 de março de 2004), onde são denominados de leilões de A-3 e A-5.

Com a informação das distribuidoras, os geradores podem então decidir que novos empreendimentos de geração desejam construir, apresentando, nos leilões, propostas de preços de venda de sua energia elétrica, competindo por contratos de compra de energia das concessionárias distribuidoras. Adicionalmente, os geradores podem ainda contratar direta e livremente com consumidores livres.

Uma vez definidas as novas usinas geradoras e conhecido o crescimento das cargas, é estabelecida a expansão do sistema de transmissão (novas linhas de transmissão e subestações da rede básica) necessária para o transporte de energia elétrica desde as fontes de produção até o local de consumo, atendendo a critérios de confiabilidade, continuidade e segurança no abastecimento.

Assim, os principais papéis na expansão do sistema de energia elétrica pertencem aos agentes, tanto de geração e transmissão, quanto de distribuição, responsáveis, respectivamente, pelos investimentos e pela contratação da maior parcela de energia, com antecedência necessária a implantação dos novos empreendimentos.

Contudo, para expandir o Sistema Interligado Nacional (SIN), por suas características ímpares, é indispensável à existência de um processo de planejamento que possa orientar futuras ações governamentais e fornecer uma correta sinalização a todos os agentes do setor elétrico brasileiro, para induzir uma alocação eficiente dos investimentos, base para a modicidade tarifária futura.

Enquanto o planejamento da expansão fornece sinais para minimizar os custos totais futuros da energia elétrica para a sociedade como um todo, o objetivo de cada um dos agentes é, principalmente, a maximização de seus resultados. Desta forma, os agentes tomam decisões de investimentos baseados em suas estratégias e aspirações de taxas de retorno. Além disto, como efeito da globalização de muitas empresas, suas decisões, também, está muitas vezes subordinada a estratégias internacionais. Em suma, cada agente privado desenvolve seu plano de expansão empresarial, com objetivos que podem ser bastante distintos daqueles do planejamento governamental.

Ao governo cumpre, no entanto, buscar a utilização adequada, racional e otimizada dos recursos naturais nacionais, em especial o hídrico, como previsto na Constituição Brasileira. Isto exige um cuidadoso planejamento da expansão do parque gerador de energia elétrica, o qual deve considerar não apenas as diversas opções de fontes geradoras disponíveis, mas também as interligações elétricas existentes e potenciais entre as diferentes bacias hidrográficas sul-americanas, visando o aproveitamento da diversidade hidrológica existente.

### **3.2. Objetivo do PDE**

O objetivo do planejamento decenal da expansão do SIN consiste então, em se definir um cenário de referência para implementação de novas instalações de geração e transmissão, necessárias para atender ao crescimento dos requisitos do mercado, segundo critérios de garantia de suprimento pré-estabelecidos, de forma ambientalmente sustentável e minimizando os custos totais esperados de investimento, inclusive socioambientais e de operação.

O planejamento decenal irá, portanto, subsidiar: a realização dos futuros leilões de compra de energia de novos empreendimentos de geração e de novas instalações de transmissão; a definição de quais estudos de expansão da transmissão deve ser priorizada; bem como de quais estudos de viabilidade técnica, econômica e socioambiental de novas usinas geradoras realizar e, eventualmente, quais estudos de inventários deverão ser atualizados.

Esses estudos de planejamento abrangem o horizonte dos próximos 10 anos, devendo ser objeto de revisões anuais. Essas atualizações anuais irão considerar, entre outras, as mudanças nas previsões de crescimento do consumo de energia elétrica e reavaliações da economicidade e viabilidade dos projetos de geração em função de um maior detalhamento dos seus estudos técnicos de engenharia e de meio ambiente, além da incorporação de novos projetos cujos estudos tenham sido finalizados.

As análises do planejamento decenal devem ser orientadas pelas diretrizes do planejamento de longo prazo do Setor. Esses estudos são responsáveis por identificar no horizonte de até 30 anos, as principais linhas de desenvolvimento dos sistemas elétricos de geração e transmissão, face aos diferentes cenários de crescimento da economia, do consumo de energia, das fontes de geração disponíveis, das políticas de aumento da eficiência energética e do desenvolvimento industrial sustentável.

#### 4. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRO

As previsões do consumo de energia elétrica são essenciais para o planejamento da expansão do Setor Elétrico Brasileiro, pois têm impacto direto nas decisões de planejamento da expansão da geração, da transmissão, da distribuição de energia e da operação do sistema. O planejamento racionaliza o processo de tomada de decisão.

A figura 13 representa esquematicamente como se dão os estudos que balizam o planejamento decenal para a decisão de investimento em FURNAS. Os estudos de mercado de energia elétrica se iniciam com a previsão de 10 anos da carga de energia. Essa previsão servirá de entrada de dados para os estudos da expansão do setor elétrico, ou seja, a geração necessária para atender a carga projetada e conseqüentemente a transmissão associada a essa geração. Há uma integração dos estudos de geração, transmissão e meio-ambiente para se validar os investimentos em novos projetos, na forma de usinas hidrelétricas e de linhas de transmissão. Auxiliam também na tomada de decisões, seja na participação em leilões de energia quanto na comercialização. O horizonte de estudo é de 10 anos, com revisão anual e acompanhamento constante de possíveis mudanças como: estruturais, conjunturais, tendências, regulamentares, hábitos de consumo, aquecimento global e outros fatores que impactam diretamente no crescimento da carga.

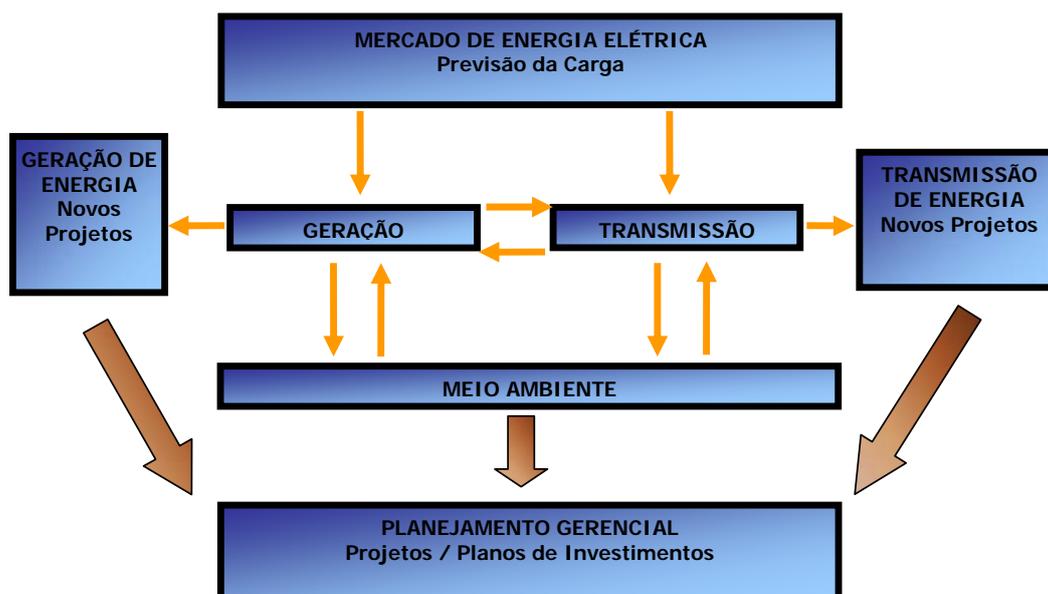


Figura 13: Capacidade Instalada e Características de Mercado – Fonte MME

O objetivo do planejamento gerencial é identificar, para o sistema elétrico brasileiro, face cenários econômicos alternativos, um plano de obras que represente o melhor compromisso entre custos econômicos, sócio-ambientais, confiabilidade e de qualidade do atendimento.

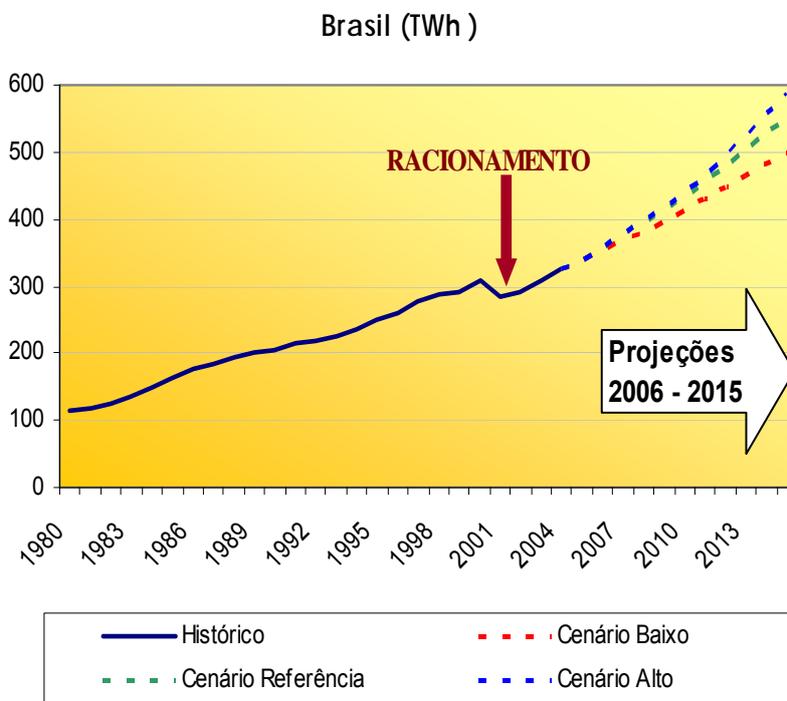


Figura 14: Histórico da carga e cenários de crescimento até 2015

A falta de investimentos em obras de geração e transmissão, no período apropriado, provocou um desequilíbrio entre oferta X demanda de energia, culminando no racionamento de energia elétrica ocorrido entre junho de 2001 e fevereiro de 2002, conforme ilustrado na Figura 14.

#### **4.1. Participação do Consumo por Subsistema**

Segundo a EPE, os valores do consumo verificados em 2006 e o respectivo número de consumidores são comparados com os valores em 2005. Nota-se a grande participação da região sudeste, pela maior concentração de renda per capita, produção industrial, setor de serviços e comércio. Alguns dados estatísticos são apresentados na Tabela 1 e na Figura 15, explicando assim o grande peso e importância do mercado sudeste/centro-oeste no consumo brasileiro em termos de consumo e número de consumidores.

**Tabela 1 – Consumo Energia Elétrica e Número de Consumidores por Região**

	Consumo Total (GWh)			Número de Unidades Consumidoras			
	2005	2006	TX %	mil		Acréscimo	
				2005	2006	%	Abs
<b>BRASIL</b>	334.564	347.371	3,8	56.650	58.728	3,7	2.078
<b>NORTE</b>	20.569	21.568	4,9	2.928	3.117	6,5	189
<b>NORDESTE</b>	56.885	59.062	3,8	13.753	14.438	5,0	685
<b>SUDESTE</b>	179.625	187.149	4,2	26.847	27.656	3,0	809
<b>SUL</b>	57.241	59.142	3,3	8.962	9.208	2,7	246
<b>CENTRO-OESTE</b>	20.243	20.450	1,0	4.160	4.309	3,6	149

Valores preliminares

Do total das novas unidades consumidoras, 29% são atreladas ao Programa "Luz para Todos"

Fonte: EPE

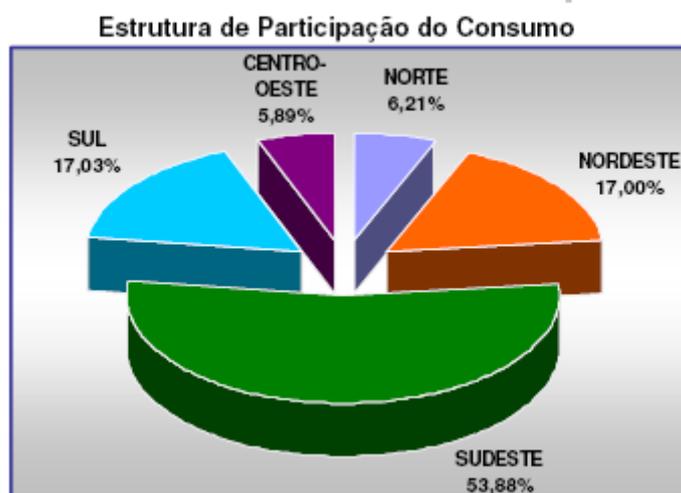


Figura 15: Participação do consumo por região geográfica. Fonte:EPE

## 4.2. Classes de Consumo

O consumo de energia elétrica pode ser classificado por classes de consumo, onde a classe industrial possui a maior participação percentual, seguida da categoria residencial, comercial e outros. A estrutura do consumo de energia está representada na Figura 16.

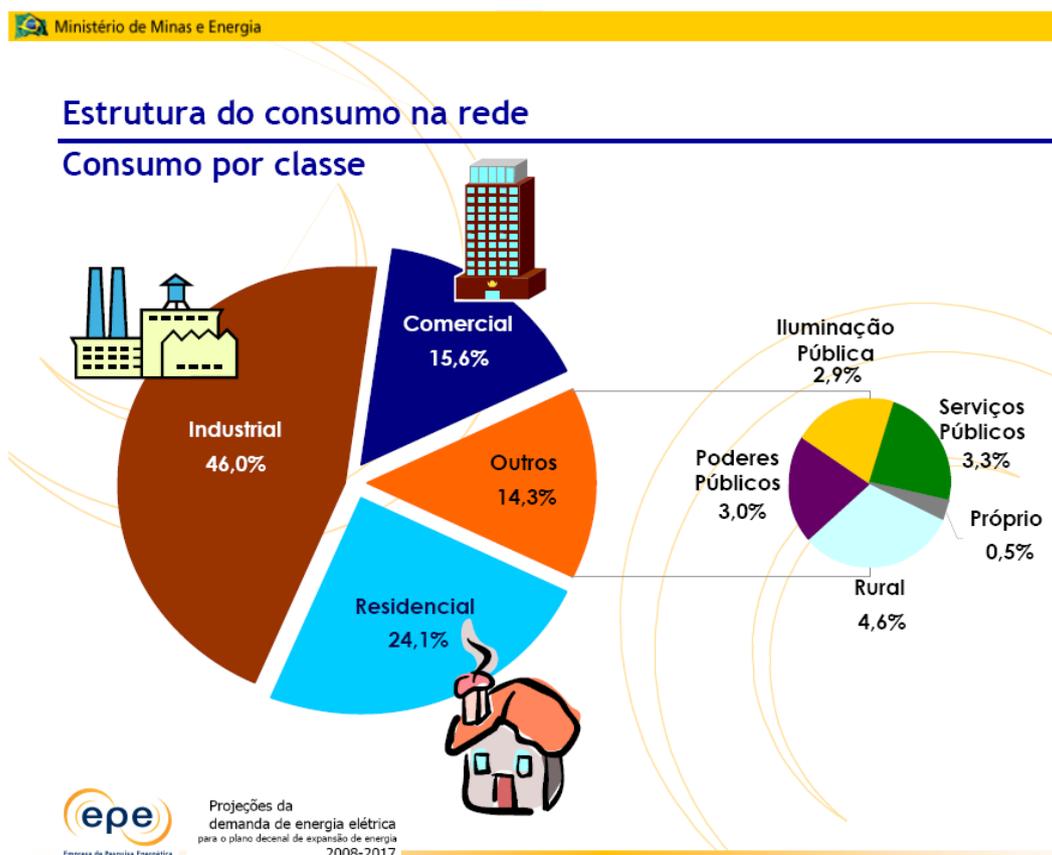


Figura 16: Participação do consumo por classe segundo a EPE – 2007

### 4.2.1. Consumo Residencial

O consumo da classe residencial, hoje com uma participação da ordem de 25% no mercado de distribuição.

Entre 1994 e 1998, o consumo residencial registrou crescimento expressivo: 9,1% ao ano, em média, como reflexo da estabilização de preços alcançada com a implantação do Plano Real. Nesse contexto, merecem destaque os seguintes pontos:

1. Aumento do emprego e da renda, notadamente da população de baixa renda, propiciada pela redução da inflação;
2. Expansão do sistema de crédito;
3. Criação de pequenos negócios nas residências (economia informal);
4. Expansão das vendas de aparelhos eletroeletrônicos, função da redução de seus preços, na busca de maior competitividade frente a produtos importados;
5. Expansão do número de novas ligações – Programa “Luz para Todos”.

#### **4.2.2. Consumo Industrial**

Na década de 1980, o consumo da classe industrial apresentou crescimento expressivo: cerca de 5% em média ao ano, em função, principalmente, dos seguintes fatores:

- ❖ Intensificação do uso da energia elétrica associada à modernização industrial; atendimento à expansão do parque industrial brasileiro, ocorrida principalmente na década de 70 (com maturação de alguns projetos na década de 80), no âmbito do processo de substituição de importações.
- ❖ Desenvolvimento das indústrias eletro intensivas, tais como alumínio, ferro-liga, soda cloro, entre outras, que apesar da crise, elevou sua produção, voltando seus excedentes para a exportação.
- ❖ Maior utilização da capacidade instalada.

#### **4.2.3. Consumo Comercial**

O consumo da classe comercial, com uma participação da ordem de 16% no consumo total de energia elétrica, evoluiu a uma taxa média de 7,2% ao ano na década de 90.

Nesse período, especialmente a partir da abertura da economia, verificou-se um processo de modernização acelerado no setor de serviços, especialmente no setor bancário. Algumas alterações estruturais no setor do comércio, no qual é evidência a

expansão do comércio e serviços, com a construção de shopping centers, assim como o aumento no horário de funcionamento dos estabelecimentos comerciais.

O turismo foi outro fator que elevou o consumo nesta classe, com o incremento do turismo, além do aumento na movimentação nos aeroportos e dos portos brasileiros.

#### 4.2.4. Outros Consumos

Conforme visto na Figura 16, esta classe é representada pelo consumo rural, do poder público, de iluminação pública e dos serviços públicos, e ainda o consumo próprio dos agentes do setor elétrico. O consumo rural é o maior dentro desta classe, correspondendo a quase um terço do total consumido nesta classe, proveniente basicamente dos sistemas de irrigação.

#### 4.2.5. Evolução do Consumo de Energia Elétrica

O comportamento sazonal do consumo de energia elétrica no Brasil no período 2004-2008 está demonstrado na evolução do histórico do consumo brasileiro na Figura 17. Nota-se que o pico de consumo ocorre no final do ano quando o comércio e a indústria estão aquecidos e produzindo para o Natal e Ano Novo.

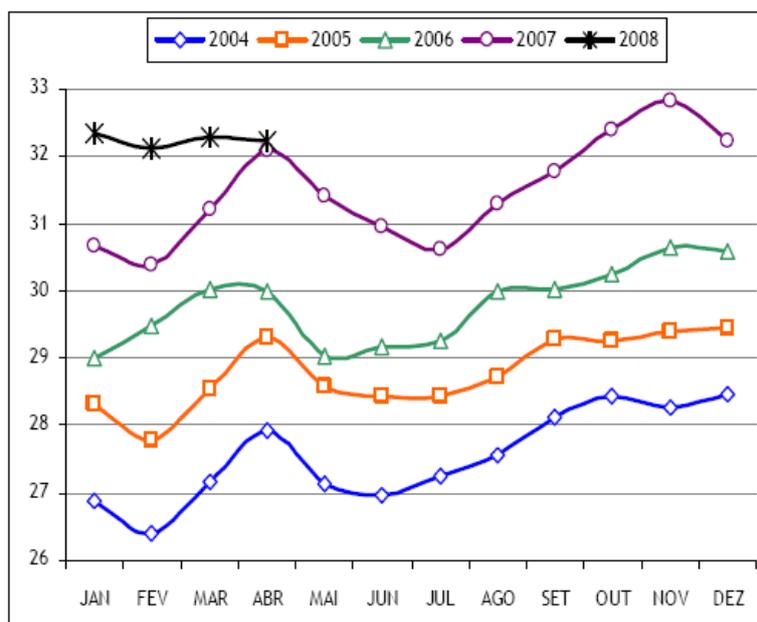


Figura 17: Histórico mensal do consumo de EE – Fonte: EPE

## 5. CENÁRIOS

### 5.1. Metodologia dos Estudos de Cenários

A metodologia de estudos de cenários envolve duas abordagens: prospectiva e extrapolativa.

O objetivo da abordagem prospectiva é identificar aquilo que tem maior potencial de mudança e explorar a direção dessas mudanças, assim como estabelecer a natureza e estudar o grau de intensidade dessas mudanças. Identificar estados e situações de perigo e/ou oportunidades. Não visa eliminar incertezas ou a predição do futuro e sim organizar e reduzir as incertezas.

Abordagem Prospectiva

Aprender e incorporar o desenho de futuros

- ❖ Incertezas quanto ao comportamento de variáveis
- ❖ Descontinuidades resultantes da mudança de padrão de comportamento
- ❖ Rupturas – queda do muro de Berlim
- ❖ Mudanças qualitativas
- ❖ Jogos e estratégias dos atores
- ❖ Mudanças latentes – consciência social brasileira (eleições 2002)
- ❖ Novos processos

Segundo Sarto [11], “A mudança é certa, porém a direção é incerta.”

O futuro é sempre incerto, pois não temos informações suficientes ou são incompletas para se antecipar tendências futuras. Muitos eventos são imponderáveis e/ou imprevistos. Por isso as previsões simplesmente extrapolativas falham justamente quando ocorrem mudanças substanciais nos objetos de exploração.

Abordagem Extrapolativa:

Questões

- ❖ Visão segmentada da realidade
- ❖ Só abrange as variáveis quantificáveis
- ❖ Relações estáticas entre as variáveis
- ❖ Futuro explicado ou atrelado ao passado

- ❖ Não identificação de atores

#### Limitações

- ❖ Incertezas
- ❖ Descontinuidades
- ❖ Rupturas
- ❖ Mudanças qualitativas
- ❖ Jogos e estratégias dos atores
- ❖ Não consideram mudanças latentes ou novos processo e novas tecnologias

Segundo especialista da ELETRONORTE: “Um cenário não é a realidade futura e sim um meio de orientar a ação presente à luz de futuros possíveis ou desejáveis”. A metodologia que a ELETRONORTE emprega em seus estudos de cenários por estilo de planejamento está detalhada na Tabela 2.

**Tabela 2 – Estilos de Planejamento**

<b>Planejamento Baseado em Previsões (Determinísticas) e Extrapolativas</b>	<b>Planejamento Baseado em Cenários</b>
1) Concentração nas certezas. “Mascara” as incertezas	1) Concentração nas incertezas. Legítima o reconhecimento das incertezas
2) Apóia-se em projeções	2) Apóia-se em imagens lógicas do futuro
3) O quantitativo orienta ou determina o qualitativo	3) O qualitativo orienta ou determina o quantitativo
4) Esconde (“mascara”) os riscos	4) Explícita e sublinha os riscos
5) Favorece a inércia	5) Favorece a flexibilidade e o espírito de responsabilidade.
6) Parte da simplicidade para a complexidade	6) Parte da complexidade para a simplicidade

Fonte: Metodologia de Estudos de Cenários – ELETRONORTE/2004

A abordagem prospectiva de cenários são imagens coerentes de futuros possíveis ou prováveis, engloba descrições de situações futuras alternativas e dos eventos que levam a evolução da situação de origem à situação futura.

### **5.1.1. Componentes dos Cenários**

Um cenário completo é estruturado com cinco componentes:

1. Uma lógica de construção → sentido e direção dos movimentos e mudanças;
2. Variáveis → elementos ou aspectos essenciais;
3. Atores → entidades, organizações, pessoas;
4. Cenários → estados possíveis do sistema no tempo;
5. Trajetórias → caminho de um estado para o outro.

Aspectos importantes na metodologia de cenários são: a idéia-força, a filosofia, a trajetória e as cenas. Cada cenário é um futuro possível, gerado por um conjunto coerente de hipóteses.

### **5.1.2. Aplicações dos Estudos de Cenários**

Os estudos de cenários visam fornecer subsídios para:

- ❖ Planejamento Estratégico
- ❖ Gerencia Estratégica em Tempo Real
- ❖ Antecipação de Crises
- ❖ Estudos de Mercado
- ❖ Apoio ao Processo Decisório
- ❖ Referência para Negociações
- ❖ Análise de Projetos
- ❖ Educação e Mudança

Existem limitações na utilização de cenários, pois eles não são adequados para antecipar mudanças conjunturais, assim como a complexidade aumenta com a quantidade demasiadamente grande de cenários utilizados. A quantidade adequada seria de 3 a 5, segundo Sarto [11].

Os principais benefícios na utilização de cenários são decisões e projetos mais consistentes, definidos a partir de futuros alternativos. Além disso, melhora a percepção do futuro por parte dos executivos e técnicos envolvidos na tomada de decisão, assim como a melhora da qualidade dos projetos e das decisões pertinentes.

De uma forma geral, a quantificação de cenários no setor elétrico é obtida através da seguinte metodologia, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 18: São reunidos diversos especialistas e/ou agentes do setor elétrico para se discutir de forma qualitativa os possíveis cenários futuros, que servirão de base para se gerar as premissas do estudo. Uma vez definida as premissas, é utilizada uma ferramenta computacional para se rodar modelos e enfim, quantificar os cenários de forma coerente com as premissas adotadas. Por exemplo, como crescerá a economia mundial e como afetarão a economia brasileira, assim como, seus impactos no comportamento da balança comercial, da inflação e da renda da população.

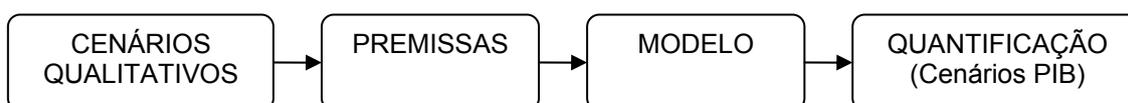


Figura 18: Metodologia - Eletronorte

## 5.2. Cenários de Mercado

O ponto de partida dos estudos de mercado de energia elétrica, em virtude da forte interrelação entre a demanda por eletricidade e o desempenho da economia, é a construção de cenários macroeconômicos e a quantificação de correspondentes trajetórias plausíveis para o crescimento da economia. Além disso, são elaboradas projeções de população e domicílios, bem como cenários para os grandes consumidores industriais de energia elétrica, para a autoprodução e para a conservação de energia.

O planejamento decenal de expansão, formulado para períodos de dez anos e revisados anualmente, envolvem muitas condições de incerteza. O planejamento do setor elétrico brasileiro faz uso de três cenários como instrumento de exploração do futuro, pois os cenários são a descrição de possíveis futuros, no caso um alto, um baixo e um de referência.

Os cenários são úteis para o planejamento de longo prazo, pois são configurações representativas de futuros alternativos, onde se pode antecipar oportunidades de negócios, ameaças, novos desafios e possibilidades. Sobretudo quando envolvem tomadas de decisão e investimentos de longa maturação.



Figura 19: Cenários do Mercado de Energia Elétrica e Planejamento – CCEE

### 5.3. Cenários Macroeconômicos

A demanda por energia elétrica é condicionada por uma ampla gama de fatores, macroeconômicos, sociais, institucionais, climáticos, ambientais, tecnológicos, e outros, que apresentam uma complexa relação de interdependência entre si, configurando uma extensa rede de influências mútuas.

Nesse contexto, a técnica de cenários constitui-se em importante ferramenta na prospecção da demanda futura por energia elétrica, pois lida com as incertezas e com as inter-relações complexas que determinam as trajetórias das diversas variáveis.

Uma etapa fundamental na formulação dos cenários consiste na identificação das chamadas tendências consolidadas ou invariantes e das incertezas críticas, bem como das influências mútuas entre as variáveis, através da construção de uma matriz de análise estrutural.

Dessa forma, com base nos cenários macroeconômicos, definiram-se três trajetórias plausíveis para a evolução da economia brasileira, denominadas: trajetória de referência, trajetória de crescimento alto e trajetória de crescimento baixo. A

trajetória de referência é considerada a mais provável e foi adotada como base para os estudos do planejamento decenal da expansão do sistema elétrico. As trajetórias de crescimento alto e baixo têm por finalidade a realização de estudos de sensibilidade.

#### **5.4. Cenários Demográficos**

A evolução futura da população e dos domicílios é considerada uma única projeção, dado que essas variáveis apresentam um grau de incerteza relativamente reduzido, quando comparado, por exemplo, com a evolução da economia.

#### **5.5. Cenários Para Projeção da Carga**

Atualmente, a previsão de mercado de longo prazo se baseia na construção de cenários macroeconômicos que servirão de referência para as projeções de demanda de energia elétrica.

A carga de energia se refere ao consumo de energia somado às perdas técnicas e comerciais da transmissão e distribuição de energia.

Dentre todas as variáveis que influenciam o crescimento da demanda de energia, foram selecionadas as seguintes variáveis para o estudo em questão: PIB e população, devido à alta correlação com a carga de energia do SIN.

De forma sucinta a representação da previsão de carga é apresentada na Figura 20.

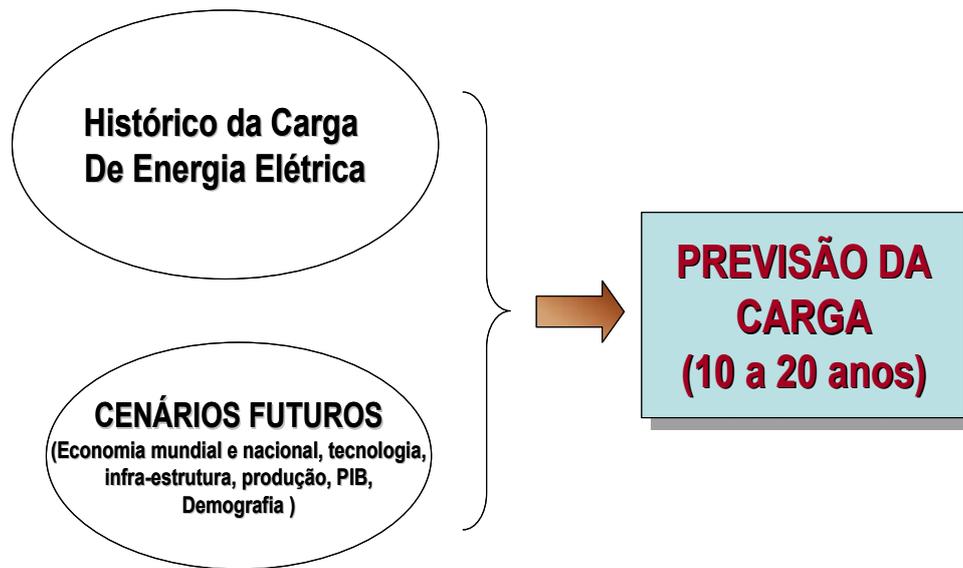


Figura 20: Metodologia para a previsão de carga

As previsões da carga são geradas através da utilização de ferramentas computacionais tradicionalmente utilizadas no setor com métodos estatísticos, econométricos e outros fazendo uso de técnicas de cenários devido ao horizonte de estudo. Mais recentemente, estão sendo utilizadas técnicas computacionais inteligentes como redes neurais, lógica fuzzy, data mining e outros para projeção em diversos horizontes de estudo.

## **6. PREVISÃO DA CARGA**

No que concerne ao planejamento de longo prazo do setor elétrico, merecem destaque os estudos relacionados às projeções de mercado de energia elétrica, já que o processo de planejamento tem o seu início a partir da definição de cenários macroeconômicos.

Previsões são ferramentas importantes na tomada da decisão. É difícil imaginar ações ou decisões de investimento que não foram baseados em algum tipo de projeção.

Com o objetivo de projetar a evolução da demanda de energia elétrica de médio e longo prazo, foram definidos cenários macroeconômicos e premissas específicas para as diferentes categorias de consumo. Os resultados do estudo subsidiam os estudos corporativos de expansão da oferta e da transmissão, pois são os dados de entrada para os estudos de planejamento.

### **6.1. Premissas Básicas**

A elaboração das projeções para a evolução do mercado de energia elétrica exige o estabelecimento de premissas que sirvam de base para o processo de projeção da demanda por eletricidade, dando consistência a um trabalho de grande abrangência e complexidade.

Em síntese, o objetivo das premissas básicas é estabelecer referenciais para as projeções de mercado.

Nesse sentido, destacam-se as principais variáveis que influenciam o comportamento do mercado de energia elétrica e que se tornam os elementos de referência para a formulação das premissas básicas:

- ❖ O crescimento populacional, pelo seu impacto direto no consumo das residências, do setor comercial, serviços públicos, iluminação pública e, indiretamente, no setor industrial;

- ❖ A evolução da economia, pelo seu impacto geral sobre a renda e, conseqüentemente, sobre o consumo de energia elétrica nas diversas classes;
- ❖ A perspectiva de expansão e diversificação da produção dos setores industriais selecionados pela sua dimensão, enquanto consumidores de energia elétrica;
- ❖ A evolução da autoprodução entendida como a geração de energia elétrica para uso próprio da indústria, em especial a autoprodução clássica, em virtude de seu impacto sobre a parcela da demanda a ser atendida pelo sistema elétrico;
- ❖ A evolução da conservação de energia, pelo seu potencial de deslocamento de consumo.

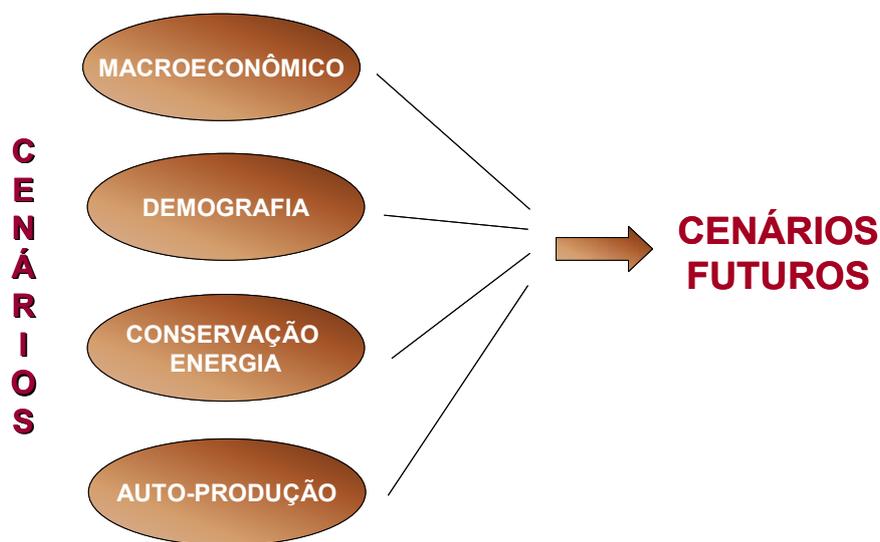


Figura 21: Utilização de cenários para a projeção de cenários de carga.

## **7. PREPARAÇÃO DOS DADOS**

### **7.1. Dados de entrada**

A série histórica usada neste estudo foi a Carga (Consumo + Perdas técnicas e comerciais) do SIN fornecido pelo ONS, não sendo considerados os sistemas isolados (Norte isolado).

Dentre todas as variáveis que influenciam o crescimento da demanda de energia, foram selecionadas as seguintes variáveis para o estudo em questão: PIB e população, devido à alta correlação com o consumo do SIN.

O histórico do PIB e da população residente brasileira em 1º de julho, cuja fonte foi o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram obtidos no site [www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br).

A Tabela 3 apresenta os dados de entrada utilizados neste estudo.

**Tabela 3 – Dados de Entrada**

	<b>PIB</b> <b>(preços 2006) –</b> <b>R\$ de 2005</b> <b>(mil)</b>	<b>CARGA</b>  <b>MW</b> <b>médios</b>	<b>POP</b> <b>População residente</b> <b>–</b> <b>1º de julho -</b> <b>Habitante</b>	<b>NC Brasil</b> <b>Número de</b> <b>Consumidores de</b> <b>Energia Elétrica no</b> <b>Brasil</b>
1981	1.253.144	14.908	121.381.328	18.392
1982	1.263.545	15.973	124.250.840	19.991
1983	1.226.523	17.017	127.140.354	21.394
1984	1.292.756	18.920	130.082.524	22.644
1985	1.394.237	20.918	132.999.282	23.995
1986	1.498.665	22.547	135.814.249	25.638
1987	1.551.568	23.359	138.585.894	26.933
1988	1.550.637	24.669	141.312.997	28.108
1989	1.599.638	25.977	143.997.246	29.606
1990	1.530.053	26.257	146.592.579	30.916
1991	1.545.836	27.714	149.094.266	32.199
1992	1.538.618	28.111	151.546.843	33.472
1993	1.610.397	29.640	153.985.576	35.202
1994	1.696.301	30.989	156.430.949	36.796
1995	1.771.224	32.976	158.874.963	38.195
1996	1.809.314	34.576	161.323.169	39.742
1997	1.870.384	36.762	163.779.827	41.403
1998	1.871.045	38.148	166.252.088	43.229
1999	1.875.799	39.182	168.753.552	45.151
2000	1.956.574	41.003	171.279.882	47.081
2001	1.982.266	37.752	173.821.934	49.318
2002	2.034.957	39.659	176.391.015	51.364
2003	2.058.290	41.781	178.985.306	53.232
2004	2.175.865	43.732	181.586.030	54.843
2005	2.239.913	45.712	184.184.264	56.641
Fonte	IBGE	ONS	IBGE	Eletrobrás

A Tabela 4 mostra a grande correlação entre as variáveis PIB, população brasileira e a carga de energia elétrica do SIN. Assim como a variável do número de unidades consumidoras no Brasil, representado por NC, em relação às demais variáveis entre si no período analisado de 1981 a 2005.

**Tabela 4 – Matriz de Correlação das Variáveis**

<i>1981-2005</i>				
	<i>PIB 2006</i>	<i>CARGA</i>	<i>POP</i>	<i>NC Brasil</i>
<i>PIB 2006</i>	1			
<i>CARGA</i>	0,98354	1		
<i>POP</i>	0,98182	0,99343	1	
<i>NC Brasil</i>	0,98478	0,98702	0,99505	1

## **7.2. Cenários Utilizados**

A previsão de mercado de longo prazo se baseia na construção de cenários macroeconômicos que servirão de referência para as projeções de demanda de energia elétrica.

Segundo o Relatório “Cenários de Demanda de Energia Elétrica – Ciclo 2005” da Eletrobrás [3], as premissas macroeconômicas que serviram de referência para este estudo, utilizaram as seguintes premissas qualitativas para a construção dos seguintes cenários de crescimento:

### **CENÁRIO DE REFERENCIA**

“O cenário de referencia contempla a premissa de crescimento mundial moderado. A liquidez internacional permanece estável, dando suporte ao crescimento doméstico médio da ordem de 4,0%a.a., no período de 2005-2015. O Brasil adotaria políticas de incentivos as exportações mais efetivas, propiciando uma elevação gradativa da participação no comercio mundial e, por conseguinte, minimizaria a exposição aos capitais voláteis externos”.

“Os investimentos em infra-estrutura e as políticas sociais seriam aprimorados. Concomitantemente, a reforma tributaria seria parcialmente implementada, aumentando a produtividade da economia. O risco-Brasil permaneceria na ordem de 400 pontos-base, com flutuações de curto prazo ao longo do período de análise. O Governo seria bem sucedido no alongamento dos prazos de maturação dos títulos e melhoria do perfil da dívida mobiliária”.

## **CENÁRIO OTIMISTA**

“No cenário otimista, o efeito combinado da elevação da poupança doméstica com um maior influxo de capitais produtivos externos financiaria um crescimento doméstico médio de 4,7% (período de 2005 a 2015). O crescimento mundial seria mais vigoroso com reflexos positivos nos preços internacionais das *commodities* e nos saldos da balança comercial brasileira. As importações de máquinas e equipamentos também cresceriam, haja vista os aportes de capacidade fundamentais para tornar este crescimento factível.”

“Quanto à administração dos recursos públicos, os investimentos na infraestrutura econômica seriam intensificados e as políticas sociais seriam mais agudas. O cenário otimista ainda comporta a ocorrência de uma ampla reforma tributária e redução significativa dos juros domésticos. Além disso, o Governo conseguiria alongar os prazos de maturação dos títulos, como também elevaria a participação de papéis atrelados a juros pré-fixados e a índices de preços, ampliando as possibilidades da política monetária”.

## **CENÁRIO PESSIMISTA**

“Em um cenário pessimista, haveria uma retração da liquidez internacional, produzida pelo menor crescimento mundial, liderado principalmente pela retração da economia americana e seus impactos sobre a China. O menor crescimento americano estaria pautado na falta de controle fiscal e nos seguidos déficits em conta corrente, levando os investimentos internacionais a uma postura de retração dos investimentos nos EUA”.

“A diminuição do crescimento mundial (puxados pela China e Estado Unidos) acarretaria uma queda brusca nas cotações das *commodities*. O Brasil não conseguiria elevar seu fluxo comercial (queda da demanda e maior protecionismo nos mercados), sendo mais dependente dos capitais de curto prazo para equilibrar as contas externas”.

### 7.2.1. Cenários Macroeconômicos

A ELETROBRÁS e o Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (IBRE/FGV) elaboraram cenários macroeconômicos mundial, nacional e regionais visando dar suporte para seus estudos de projeção do consumo de energia elétrica.

A partir de um modelo de consistência macroeconômica, foram gerados os cenários que balizaram essas projeções. Os cenários combinam hipóteses para a economia nacional e internacional. Todos os cenários internacionais e nacionais apresentam características próprias, e a partir de análises qualitativas foram feitas hipóteses quantitativas sobre as variáveis endógenas de entrada do modelo, obtendo os resultados para as principais variáveis macroeconômicas até o ano de 2015.

Os cenários quantitativos foram gerados pelo Modelo de Consistência Macroeconômica – MCM – Plus da Fundação Getúlio Vargas – FGV. Este modelo através de suas diversas equações comportamentais, elasticidades e parâmetros, permite avaliar de forma integrada, os diversos setores da economia, produzindo resultados economicamente consistentes.

Não foi considerada a hipótese de uma eventual ruptura dos fundamentos da economia brasileira, assim como internacional. Assim todos eles, se caracterizam pela manutenção da atual política de metas de inflação e de responsabilidade fiscal, variando apenas a velocidade e a intensidade destas políticas.

O crescimento médio anual do Produto Interno Bruto – PIB, considerado em cada uma dessas três trajetórias, é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Cenários do PIB**

#### Trajетórias de Crescimento do PIB Nacional (% a.a.)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Otimista</b>	3,5	4,2	4,5	4,8	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0	4,8	4,5
<b>Referência</b>	3,0	3,5	3,8	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,0	3,8
<b>Pessimista</b>	2,8	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5

#### Taxas de Crescimento por Período (%a.a.)

	2005/2010	2010/2015	2005/2010
<b>Otimista</b>	6,4%	5,1%	5,9%
<b>Referência</b>	5,6%	4,5%	5,1%
<b>Pessimista</b>	4,6%	3,9%	4,3%

Fonte: Eletrobrás/FGV - Relatório "Cenários Macroeconômicos: Modelo de Consistência Macroeconômica e Setorial" /Dez 05

O resultado quantitativo do PIB para os três cenários do trabalho da FGV/Eletróbrás se apresenta na Figura 22 na forma gráfica.

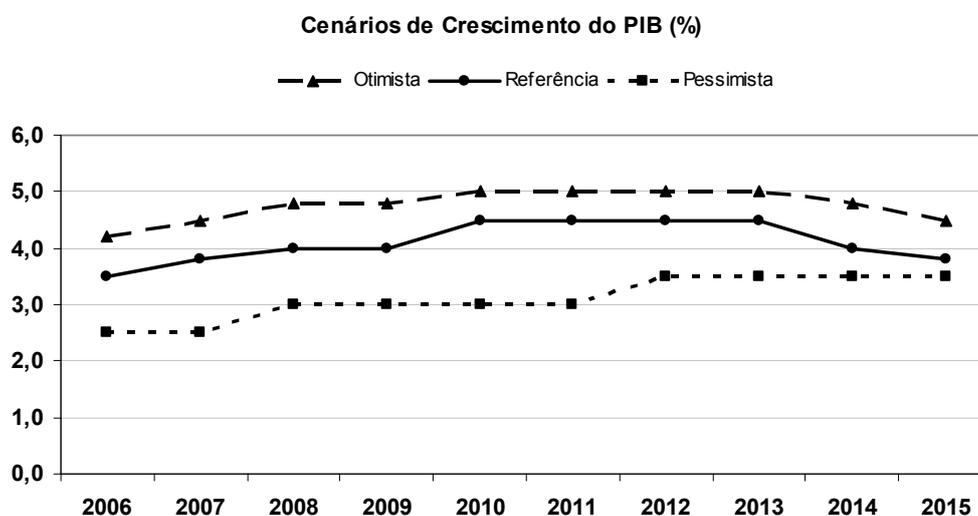


Figura 22: Cenários para a taxa de crescimento do PIB

### 7.2.2. Cenário Crescimento da População e do Número de Consumidores

Para a evolução futura da população e dos domicílios foi considerada uma única projeção, dado que essas variáveis apresentam um grau de incerteza relativamente reduzido, quando comparado, por exemplo, com a evolução da economia. Os valores projetados de população e domicílios estão apresentados, para o Brasil, na Tabela 6.

Foram utilizados, como base de informações, os estudos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e o trabalho “Estimativas da População e Domicílios para os Estudos de Previsão do Mercado de Energia Elétrica da Classe Residencial, 2004-2014”, publicado em 2004 pelo Comitê Técnico para Estudos de Mercado – CTEM do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos – CCPE.

**Tabela 6 – Projeção da População e NC**

	<b>POP</b> <b>População residente</b> – <b>1º de julho -</b> <b>Habitante</b>	<b>NC Brasil</b> <b>Número de</b> <b>Consumidores de</b> <b>Energia Elétrica no</b> <b>Brasil</b>
2006	186.770.562	58.404
2007	189.335.118	60.117
2008	191.869.683	61.829
2009	194.370.095	63.546
2010	196.834.086	65.268
2011	199.254.414	66.984
2012	201.625.492	68.697
2013	203.950.099	70.407
2014	206.230.807	72.104
2015	208.468.035	73.791
Fonte	IBGE	Eletrobrás

**7.2.3. Cenários de Crescimento da Carga – Eletrobrás/FGV**

O resultado do estudo realizado pela Eletrobrás está apresentado na Tabela 7 para os três cenários de crescimento e suas respectivas taxas de crescimento percentual anual.

**Tabela 7 – Projeção da Carga - SIN**

	<b>ALTO</b>	<b>REFERÊNCIA</b>	<b>BAIXO</b>
	<b>MW</b> <b>médios</b>	<b>MW</b> <b>médios</b>	<b>MW</b> <b>médios</b>
	<b>Taxa</b> <b>Crescimento</b> <b>(%)</b>	<b>Taxa</b> <b>Crescimento</b> <b>(%)</b>	<b>Taxa</b> <b>Crescimento</b> <b>(%)</b>
2005 (*)	46.341	46.341	46.341
2006	48.763	48.746	48.277
2007	51.888	51.344	50.528
2008	55.755	54.603	52.862
2009	59.492	57.716	55.489
2010	63.242	60.881	58.012
2011	66.710	64.065	60.452
2012	70.170	66.970	62.718
2013	73.526	69.789	64.943
2014	77.340	72.715	67.417
2015	80.989	75.712	70.072

Fonte: Eletrobras/ FGV (\*) Ano base 2004 e 2005 valor estimado

## **8. MODELOS UTILIZADOS NA PREVISAO DA CARGA**

### **8.1. Modelo Utilizando RNA**

Redes Neurais, que se vale de paradigma cognitivo de Inteligência Artificial, vem sendo empregada na resolução de novos e antigos problemas, pois fornecem soluções que apresentam melhores resultados, trazendo economia de tempo e recursos computacionais.

Um modelo de Rede Neural deve ser capaz de fazer três coisas:

- ❖ Armazenar conhecimento;
- ❖ Aplicar o conhecimento armazenado para resolver problemas;
- ❖ Adquirir novo conhecimento através da experiência.

As RNAs vêm sendo empregadas com sucesso em algumas áreas como: reconhecimento de padrões em geral, processamento de sinais, diagnóstico de falhas, identificação e controle de processos e previsão desde carga de energia elétrica até cotações da bolsa de valores, pois possuem algumas características que se destacam: capacidade de aprendizado, generalização e robustez. Além disso, RNAs são capazes de lidar com problemas não lineares.

Os algoritmos de treinamento são classificados como supervisionado e não supervisionado. O treinamento supervisionado requer que cada conjunto de entradas (vetor de entrada) possua o correspondente valor de saída, juntos estes dois conjuntos de dados (entrada e saída) são chamados de par de treinamentos. Normalmente uma rede é treinada utilizando certos números de pares de treinamento. Quando um vetor de entrada é aplicado numa rede, a saída da rede é calculada e comparada com a saída real do problema. Já na rede não supervisionada, o conjunto de treinamento consiste somente de vetores de entrada, ou seja, não possuímos informação sobre a saída. Resumindo, no treinamento supervisionado, a resposta desejada é conhecida enquanto que no treinamento não supervisionado, a resposta desejada não é conhecida.

A arquitetura da rede do tipo FEEDFORWARD (sem realimentação) é composta de estrutura estática e estável.

O algoritmo mais conhecido para treinamento de redes é a retropropagação (do inglês, *backpropagation*). O algoritmo *backpropagation* é um algoritmo de aprendizado supervisionado baseado na correção de erros.

O objetivo do *backpropagation* é encontrar na superfície de erro um mínimo global, ou seja, valores para os pesos sinápticos que minimizem o erro da rede.

No treinamento supervisionado da rede *feedforward* utiliza-se o algoritmo *backpropagation*, que requer o cálculo do vetor de erro, através dos pares entrada-saída a fim de se ajustar os pesos da rede. Segundo Haykin [x], a frequência com que esses ajustes são feitos depende do tipo de treinamento que pode ser:

- ❖ Por padrão → onde a atualização é realizada após cada exemplo apresentado;
- ❖ Por ciclo (batch ou lote) → onde a atualização é realizada após todos os exemplos do conjunto de treinamento serem apresentados a rede.

### 8.1.1. RNA utilizada

O melhor modelo RNA obtido no estudo apresenta a seguinte configuração e representação gráfica da Figura 23:

- ❖ Topologia da rede: MLP “backpropagation”;
- ❖ Duas camadas de neurônios;
- ❖ Normalização: -1 a 1;
- ❖ Taxa de aprendizado: 0,1;
- ❖ Dinâmica de treinamento: Por padrão;
- ❖ Função de ativação: Tangente hiperbólica na camada intermediária e linear na saída.
- ❖ Nº neurônios na camada intermediária: 4
- ❖ Nº de Épocas: 1000

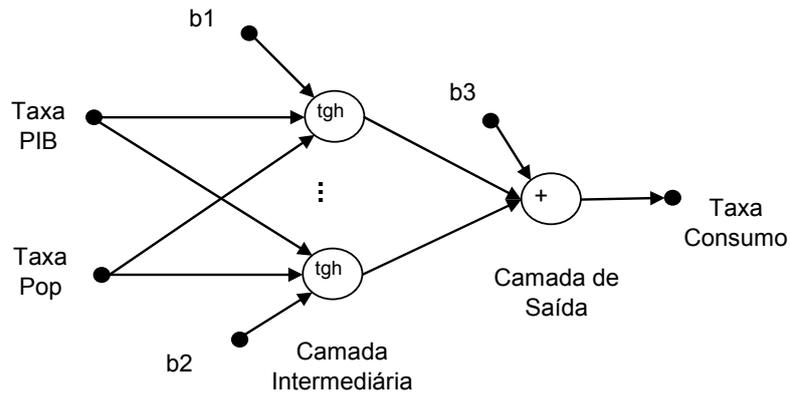


Figura 23: Rede neural artificial

Os resultados abaixo foram obtidos através da ferramenta MATLAB para a definição da RNA (otimização do número de neurônios na camada intermediária) feito pela minimização do erro de treinamento e de teste. Ver Figura 24.

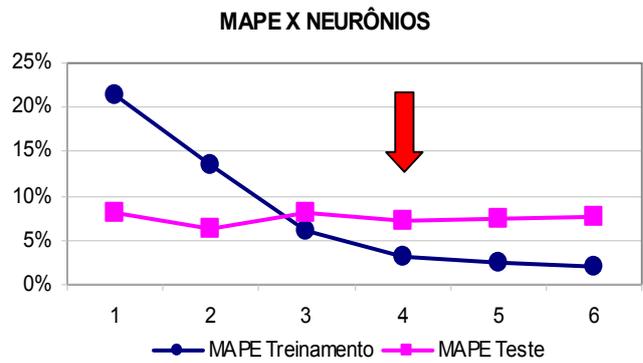
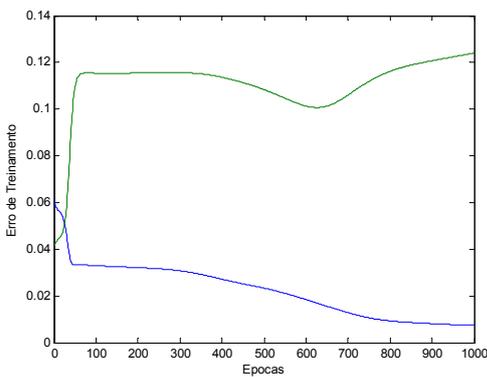


Figura 24: Saídas do treinamento e teste da RNA

A Figura 25 apresenta a comparação do histórico da carga de energia real e o resultado do treinamento da RNA. O ano de 2001 foi retirado da análise, sendo considerado um outlier.

**Evolução da Carga (MW médios)**

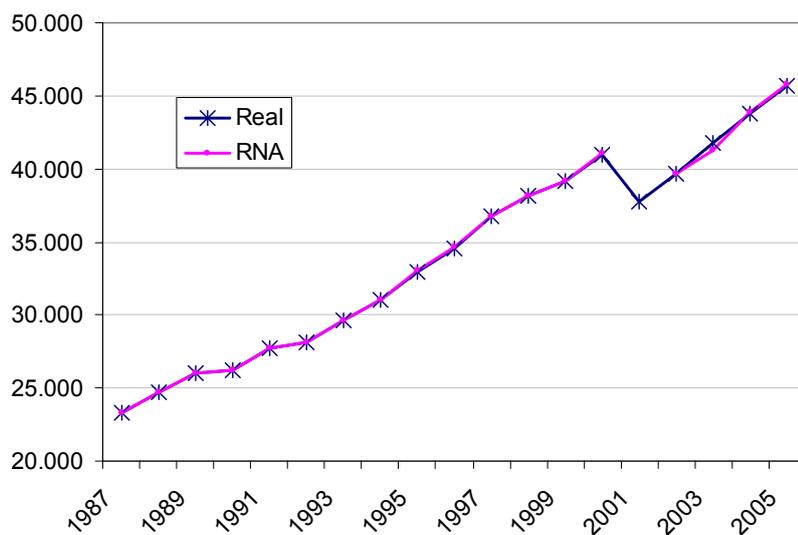


Figura 25: Comparativo da evolução da carga – Real x RNA

## 8.2. Modelo Utilizando Sistema Fuzzy

A lógica fuzzy foi desenvolvida por Lofti A. Zadeh da Universidade da Califórnia em Berkeley na década de 60 e combina lógica multivalorada, teoria probabilística, inteligência artificial e redes neurais para que possa representar o pensamento humano, ou seja, ligar a lingüística e a inteligência humana, pois muitos conceitos são melhores definidos por palavras do que pela matemática.

A lógica fuzzy utiliza os conjuntos fuzzy, que permitem representar e manipular dados que não são precisos e expressos em variáveis lingüísticas, como “alto” e “baixo”, em termos de conceitos qualitativos em vez de quantitativos.

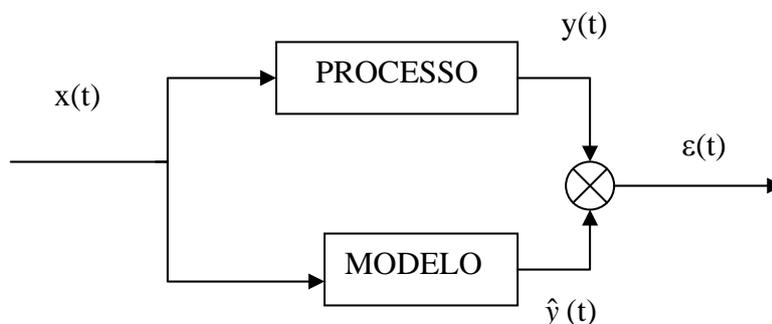
Uma das aplicações do sistema fuzzy é a identificação de um modelo com o objetivo de predição. A modelagem fuzzy neste estudo foi feita a partir da taxa de crescimento da carga como função da taxa de crescimento do PIB e da taxa de crescimento da população.

$$y = f(x, z) \rightarrow \text{tx carga} = f(\text{tx PIB}, \text{tx pop})$$

Considerando um processo cujo comportamento real da saída  $y(t)$  é função da entrada  $x(t)$ , de tal forma que:

$$y(t) = f(x(t))$$

O objetivo é encontrar uma aproximação  $\hat{f}$  (modelo), tal que a saída  $\hat{y}(t) = \hat{f}(x(t))$  seja a melhor estimativa possível da saída do processo.



A melhor estimativa do modelo é obtida pela minimização do erro  $\varepsilon(t)$  entre a saída real do processo  $y(t)$  e sua aproximação  $\hat{y}(t)$ .

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

### Sistema Fuzzy montado pelo especialista humano

Inicialmente foi analisada uma variável de entrada (taxa de crescimento do PIB) e uma variável de saída (taxa de crescimento do consumo). Observou-se uma clusterização da base de dados, conforme visto na figura 26.

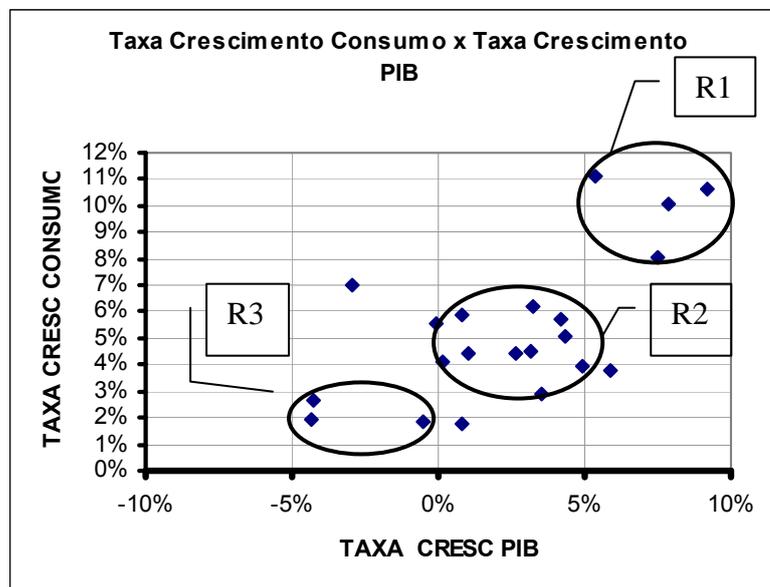


Figura 26: Clusterização da base de dados

Podemos observar que:

- Se a taxa de crescimento do PIB é alta, então a taxa de crescimento do consumo é muito alta → R1;
- Se a taxa de crescimento do PIB é pequena, então a taxa de crescimento do consumo é média ou alta → R2;
- Se a taxa de crescimento do PIB é negativa, então a taxa de crescimento do consumo é baixa → R3;

Foi empregada a ferramenta computacional MATLAB para calcular o erro para diversos protótipos testados no modelo. Buscaram-se os parâmetros (protótipos) que apresentavam o menor erro entre o valor real e o estimado da taxa de crescimento da carga pelos sistemas TSK de ordem 0 e TSK de ordem 1.

## Sistema TSK

No sistema Takagi Sugeno, as conclusões das regras são funções das variáveis de entrada. No caso de entrada simples, as regras são escritas da seguinte forma:

Se  $x$  é  $A_i$  então  $y = \phi_i(x)$

Onde  $A_i$  é um conjunto fuzzy definido sobre o universo da variável  $x$  e  $\phi_i(x)$  é a saída de uma regra  $i$ , geralmente uma função polinomial da função de entrada  $x$ .

Para uma entrada  $x(t)$ , a saída  $y(t)$  do sistema TSK é calculada como uma soma ponderada das saídas de cada regra:

$$y(t) = \frac{\sum \mu_{A_i}(x(t)) \Phi_i x(t)}{\sum \mu_{A_i}(x(t))}$$

$\Phi_i x(t) = \theta_i$  sistema TSK de ordem zero (TSK-0)

$\Phi_i x(t) = \theta_i^1 x + \theta_i^0$  sistema TSK de primeira ordem (TSK-1)

Partindo da análise do gráfico da figura 26, verificaram-se os possíveis parâmetros do modelo das funções de pertinência do tipo triangular, discretização forte, totalmente determinadas pela posição dos centros dos triângulos (protótipos).

A discretização fuzzy das variáveis de entrada e saída que apresentaram os menores erros são apresentados na Figura 27:

$$y = f(x, z) \rightarrow \text{tx carga} = f(\text{tx PIB}, \text{tx pop})$$

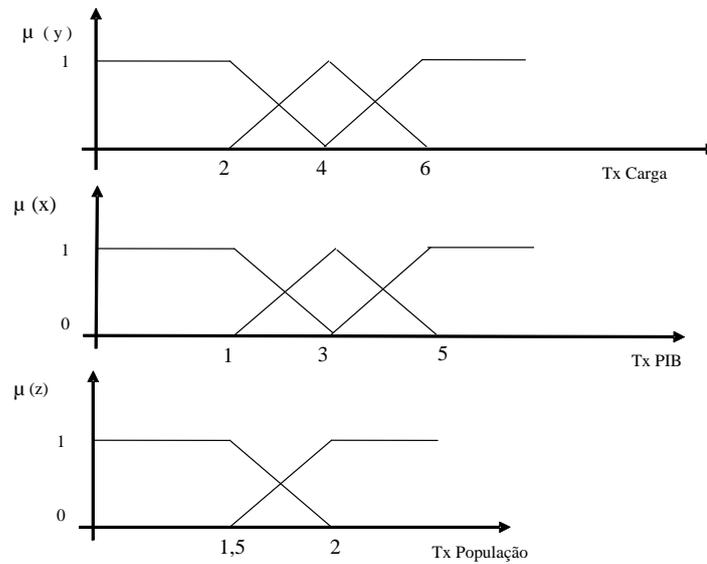


Figura 27: Funções de pertinência triangulares para cada variável.

Neste estudo foi utilizada a ferramenta MATLAB e simulado os sistemas Takagi Sugeno (TSK). E o sistema que apresentou o melhor resultado foi o TSK de ordem 1 (TSK-1) em relação ao TSK de ordem 0 (TSK-0), conforme verificado nas Figuras 28 e 29.

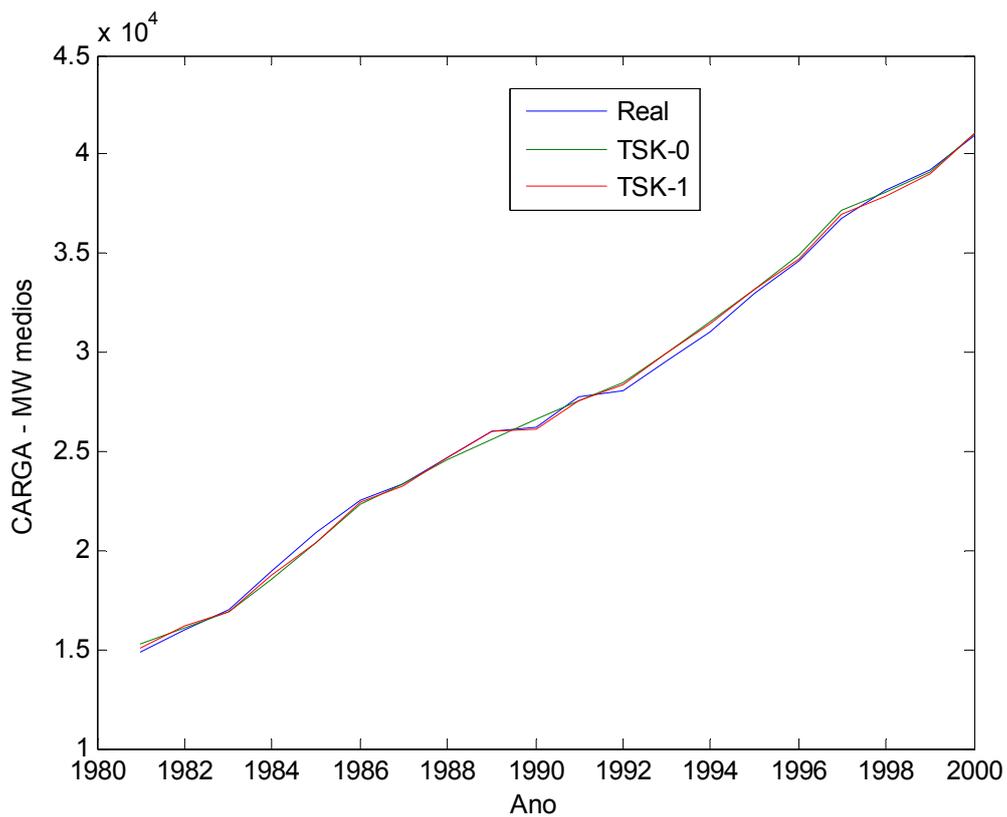


Figura 28: Comparativo da evolução da carga

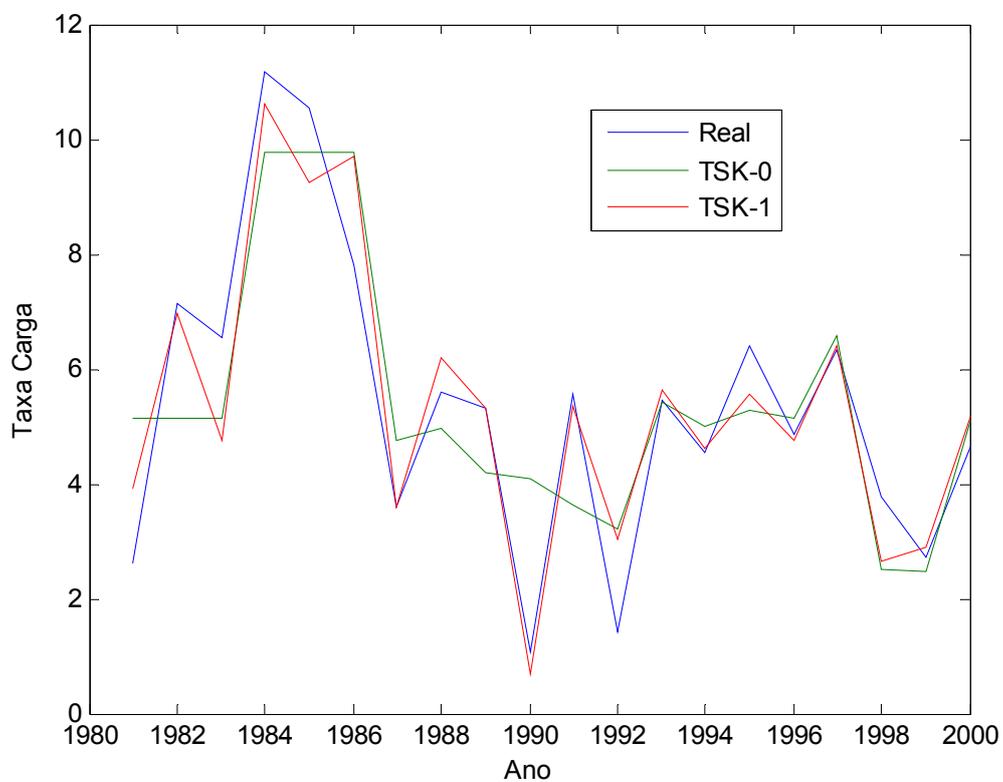


Figura 29: Comparativo das taxas de crescimento (%) da carga

### 8.3. Modelo Causa e Efeito

O modelo causa e efeito foi desenvolvido através do Programa de P&D - pesquisa e desenvolvimento da ANEEL ciclo 2002-2003 e foi desenvolvida pela equipe da UFF, COPPE/UFRJ e FURNAS. O seguinte trabalho foi elaborado: "PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ÁREA DE PREDIÇÃO DECENAL DE MERCADO". Este trabalho foi desenvolvido através de modelos baseados em conhecimento e base de dados através da técnica de Mineração de Dados.

#### 8.3.1. Mineração de Dados

A descoberta de conhecimento em banco de dados é proveniente do inglês "Knowledge Discovery in Databases" ou KDD.

A Mineração de Dados ou "Data Mining" é uma das etapas do processo do KDD, porém o processo até se chegar à mineração de dados propriamente dita, conforme mostrado na Figura 30, leva-se em torno de 80% do tempo total trabalhado. Os 20% do tempo restante é gasto na Mineração de Dados, no processo de reconhecimento de padrões que leva ao conhecimento efetivamente, segundo Nelson Ebecken.

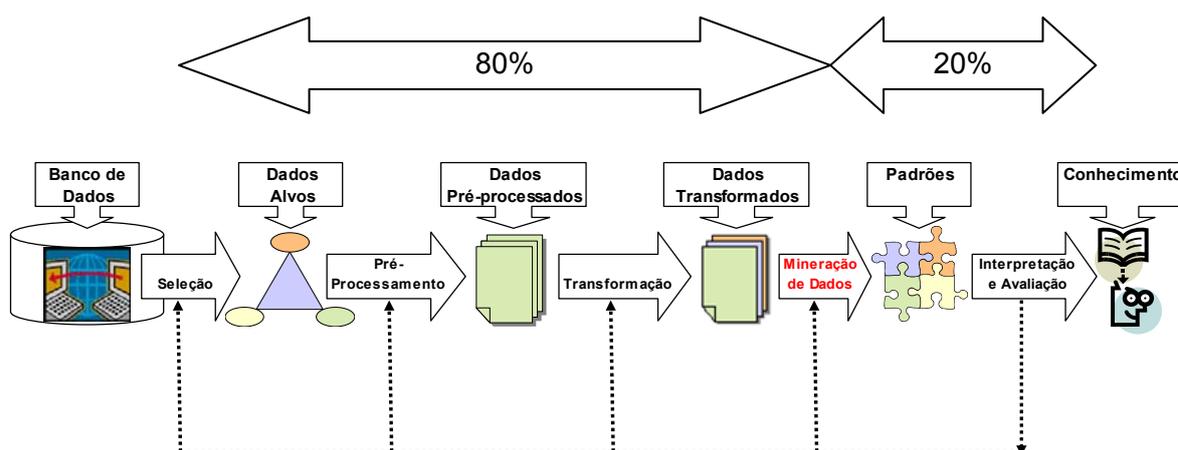


Figura 30: KDD

Segundo Ebecken, o KDD é um processo não trivial de identificação de padrões de dados, compreensíveis e potencial utilização. Além disso, por se trabalhar com enormes quantidades de dados, o processo envolve as diversas etapas:

- ❖ **Selecionar os dados alvos** → As vezes temos diversas fontes para a mesma informação.
- ❖ **Limpar e processar os dados** → Tratar erros, ruídos, inconsistências, dados duplicados, outliers (dados que fogem do comportamento dos demais dados, que possuam comportamento que precisam ser investigado ou que devam ter um tratamento distinto), etc.
- ❖ **Redução e transformação dos dados** → Nem sempre trabalhar com excesso de informação é razoável.
- ❖ **Escolha da técnica de mineração de dados** → classificação, regressão, clusterização...
- ❖ **Mineração de dados** → procura por padrões de interesse;
- ❖ **Interpretar os padrões;**
- ❖ **Consolidar a descoberta do conhecimento.**

Dados duplicados ou faltantes podem causar estatísticas incorretas e até mesmo a enganos. Quando não existe qualidade nos dados para se trabalhar, os resultados serão sem qualidade ou até mesmo inválidos, por isso a importância do pré-processamento (preparação) dos dados. Esta etapa pode levar até 60% do esforço total do KDD.

Uma aplicação prática da Mineração de Dados é na detecção de fraudes em cartão de crédito, pois o hábito de consumo do cliente fica registrado na compra e quando um cliente foge do seu padrão de compras é detectada a fraude.

### 8.3.2. Projeto de P&D de FURNAS

O modelo foi baseado em estudos conjunturais, indicadores sócio-econômicos e demográficos. O modelo visa procurar relações entre os diversos índices tendo por finalidade formalizar e prever o consumo em longo prazo.

O modelo batizado de causa e efeito foi resultado de uma análise que descobriu uma relação linear entre o indicador macroeconômico (PIB), o número de consumidores de energia elétrica (NC) e o próprio consumo de energia no Brasil.

$$\text{PIB}(t) / \rho(t) = \text{PIB}(t) / (C(t) / \text{NC}(t)) = A * t + B + \text{erro},$$

Onde

PIB(t) é o PIB Brasil no instante t

$\rho(t)$  representa a densidade de consumo no instante (t). É o Consumo Total Brasileiro (C(t)) dividido pelo número de consumidores totais para o instante t (NC(t)).

A relação linear obtida no projeto de P&D em função do PIB, do número de consumidores (NC) e do consumo (C) é demonstrada na Figura 31. Além disso, são apresentadas três possibilidades de cenários futuros de crescimento do consumo. Quando este trabalho foi realizado em 2004, havia poucos dados logo após o racionamento de energia elétrica ocorrida em 2001, por isso não se sabia como seria o comportamento da curva logo após o racionamento.

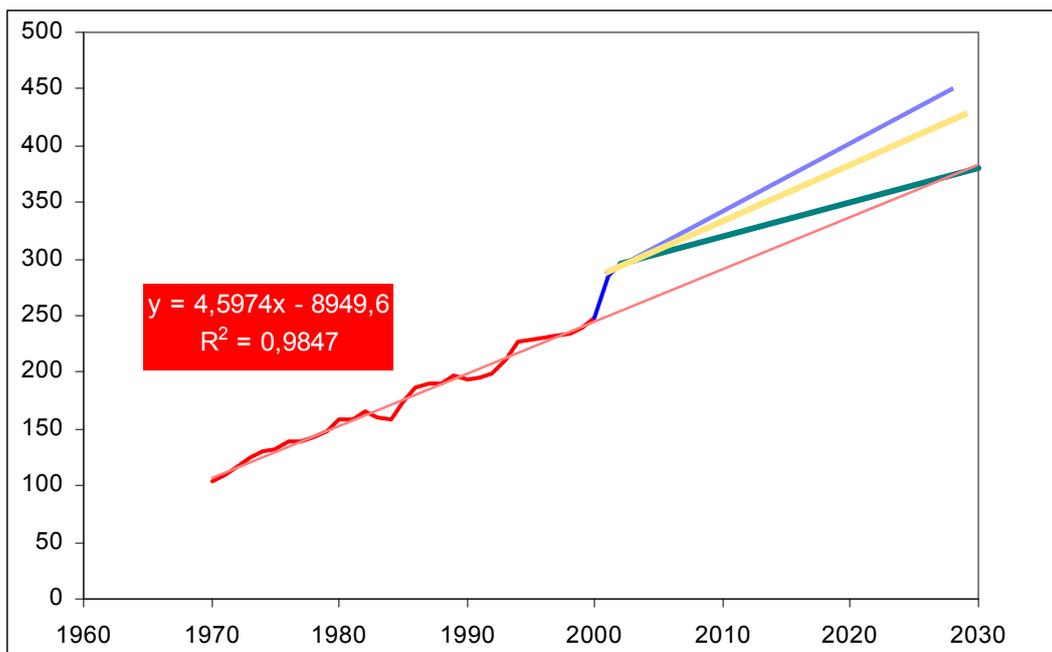


Figura 31: Relação PIB / Densidade de Consumo (Fonte: Relatório de P&D)

O histórico utilizado na análise foi o intervalo de 1970 a 2000. A mudança de patamar do índice fica em evidência no ano de 2001, devido ao racionamento de energia elétrica ocorrido no período. As diversas projeções a partir de 2001, foram de índices projetados utilizando os valores dos últimos três anos 2001, 2002 e 2003, assim como diversos cenários. Poucos pontos para se prever 30 anos.

### 8.3.3. O modelo Causa e Efeito Utilizando a Carga

Como o objetivo deste trabalho é a previsão da carga de energia elétrica que corresponde ao consumo de energia (C) somado às perdas técnicas e comerciais, foi então testada a linearidade utilizando a variável carga no lugar do consumo (C) e população (POP) no lugar do número de consumidores (NC), assim como a carga e o número de consumidores (NC) para verificar se relação linear se mantinha.

Devido ao racionamento de energia elétrica a série foi dividida em antes do racionamento (1981 a 2000) e depois do racionamento (2001 a 2006).

Verificou-se que a relação de linearidade é melhor para a série utilizando a carga e o número de consumidores, conforme mostrado na figura 32.

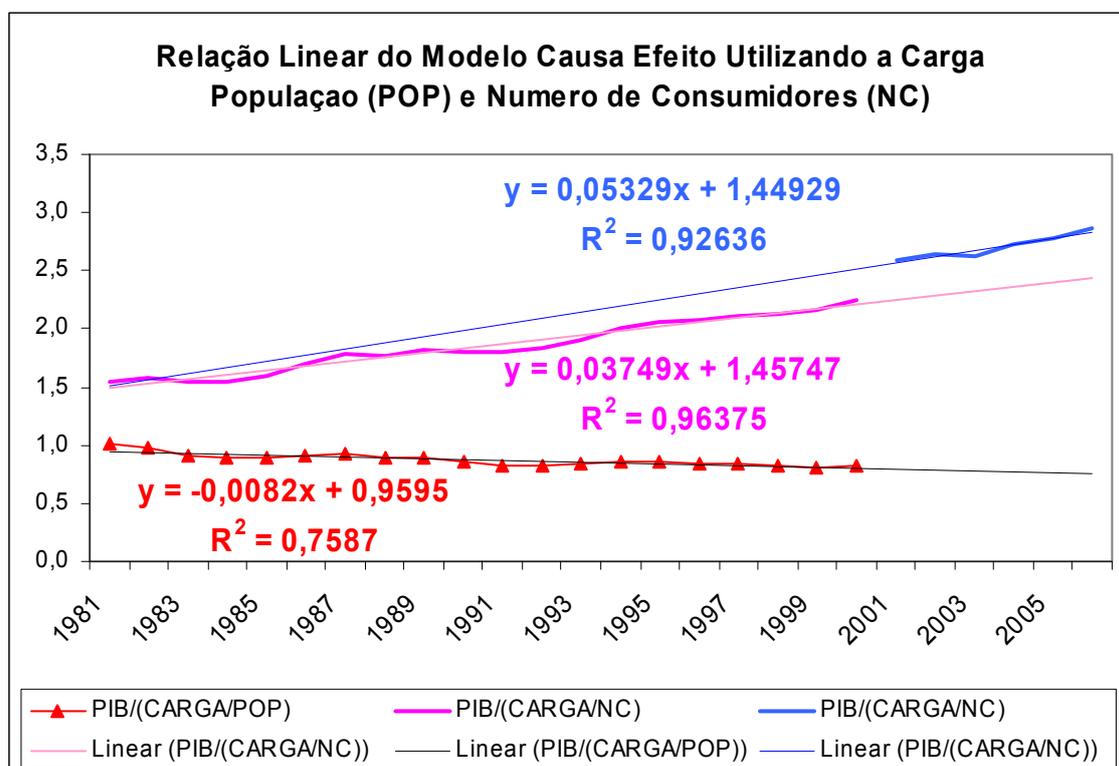


Figura 32: Comparação da correlação entre os indicadores e das variáveis

A Figura 32 mostra que o modelo causa-efeito utilizando a variável carga possui maior linearidade se trabalhado com a variável NC em vez da variável demográfica população, assim sendo deu-se prosseguimento ao estudo utilizando a variável NC.

A carga no modelo causa e efeito será projetado por:

$$\text{CARGA}(t) = \text{PIB}(t) * \text{NC}(t) / ( A * t + B )$$

A = 0,03749 e B = 1,45747 → Para o período de 1981 a 2000

A = 0,05329 e B = 1,44929 → Para o período de 2001 a 2015

**Tabela 8 – Cálculo do fator At+B para as duas retas**

1981 - 2000		2001 - 2015	
<b>A=0,0375</b>	<b>B=1,4575</b>	<b>A=0,05329</b>	<b>B=1,44929</b>
<b>t</b>	<b>A*t +B</b>	<b>t</b>	<b>A*t +B</b>
1981	1,50	2001	2,57
1982	1,53	2002	2,62
1983	1,57	2003	2,67
1984	1,61	2004	2,73
1985	1,65	2005	2,78
1986	1,68	2006	2,83
1987	1,72	2007	2,89
1988	1,76	2008	2,94
1989	1,80	2009	2,99
1990	1,83	2010	3,05
1991	1,87	2011	3,10
1992	1,91	2012	3,15
1993	1,95	2013	3,21
1994	1,98	2014	3,26
1995	2,02	2015	3,31
1996	2,06		
1997	2,10		
1998	2,13		
1999	2,17		
2000	2,21		

## 8.4. Regressão Dinâmica

A regressão dinâmica é um modelo estatístico muito utilizado em previsão de séries temporais. O objetivo deste modelo é descrever uma série como função de seu passado e de outras variáveis explicativas, podendo estas variáveis estar defasadas ou não no tempo. Por isso, o modelo de regressão dinâmica combina a dinâmica de séries temporais e o efeito de variáveis explicativas.

No presente estudo, as variáveis explicativas para o crescimento da série da carga é a variável macroeconômica (PIB) e uma variável indicativa do crescimento demográfico brasileiro, como a população. A ferramenta computacional utilizada neste trabalho foi o FORECAST PRO.

O modelo estatístico que apresentou o melhor resultado pelo método da regressão dinâmica foi representado pela carga do SIN, a carga defasada no tempo em 2 anos passados e as variáveis explicativas representadas pelas séries do PIB e da população. Além disso, foi considerada uma variável explicativa para o racionamento, onde a variável RACIONAMENTO é igual a um nos anos 2001 e 2002 e igual a zero nos demais anos, tal resultado e indicadores estatísticos do modelo estão demonstrados no relatório de saída do programa FORECAST PRO na Tabela 9 e na Figura 33.

**Tabela 9 – Relatório de Saída do FORECAST PRO**

Term	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Significance
SIN[-2]	0.928629	0.036678	25.318733	1.000000
PIB_REF	0.008221	0.001747	4.707078	0.999763
POPULAC	-0.000060	0.000016	-3.797161	0.998418
RACIONAMENTO	-4603.407115	397.432201	-11.582874	1.000000

Within-Sample Statistics

Sample size 20	Number of parameters 4
Mean 3.353e+004	Standard deviation 7234
R-square 0.9965	Adjusted R-square 0.9959
Durbin-Watson 1.167	Ljung-Box(11)=14.71 P=0.8036
Forecast error 464.1	BIC 560.1
MAPE 0.01182	RMSE 415.1
MAD 363.7	

Forecast Report  
Sun Sep 21 19:00:08 2008  
Dynamic Regression model for SIN  
Analysis of Historic Fit Set

Date	Historic	Fitted
1986	22546.900	21796.318
1987	23359.199	23921.473
1988	24669.199	25264.309
1989	25976.801	26261.512
1990	26257.000	26751.270
1991	27714.400	27946.211
1992	28111.199	28000.906
1993	29640.400	29799.068
1994	30989.100	30728.063
1995	32975.801	32618.432
1996	34575.602	34038.121
1997	36762.301	36238.695
1998	38148.000	37582.418
1999	39182.398	39503.059
2000	41002.801	41303.379
2001	37752.000	37720.273
2002	39659.102	39690.832
2003	41780.801	41312.668
2004	43732.000	43895.289
2005	45711.969	46237.270

Forecasted Values

Date	Forecast
2006	48539.605
2007	50949.688
2008	54215.813
2009	57127.875
2010	60976.969
2011	64543.207
2012	69027.805
2013	73299.828
2014	78349.156
2015	83191.406

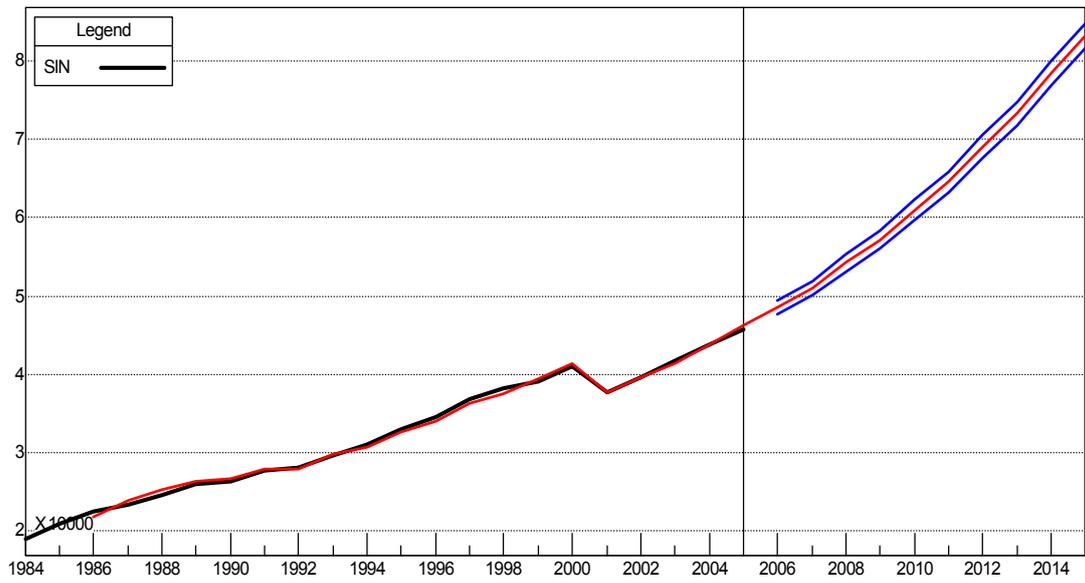


Figura 33: Previsão Utilizando Regressão Dinâmica - Cenário de Referência

## 9. RESULTADOS

Os resultados para os diversos modelos computacionais inteligentes foram obtidos utilizando o software Matlab e o Excel. O modelo de regressão dinâmica foi obtido através da ferramenta Forecast Pro. O resultado dos diversos modelos estudados é apresentado na Tabela 9. São apresentados os valores históricos das taxas de crescimento da carga e os obtidos em cada técnica avaliada: Redes Neurais Artificiais (RNA), Sistema Fuzzy (SF), Causa & Efeito (CE) e Regressão Dinâmica (RD), além dos respectivos erros percentuais.

Erro Percentual Absoluto (APE) e Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE)

$$APE = 100 \cdot \frac{|y - \hat{y}|}{y}, \text{ onde } y = \text{real e } \hat{y} \text{ estimado}$$

$$MAPE = \frac{1}{t} \sum_{t=1}^t APE, \text{ onde } t = \text{anos.}$$

**Tabela 10 – Comparação das Taxas de Crescimento nos Diversos Modelos**

Ano	Taxa Real	Taxa RNA	Erro APE RNA	Taxa Fuzzy	Erro APE Fuzzy	Taxa CE	Erro APE CE	Taxa RD	Erro APE RD
1987	3,60	3,69	2,53%	3,60	0,11%	6,39	77,39%	9,75	170,84%
1988	5,61	5,56	0,89%	6,20	10,54%	2,08	62,99%	5,61	0,06%
1989	5,30	5,15	2,78%	5,33	0,58%	6,39	20,49%	3,95	25,53%
1990	1,08	1,17	8,22%	0,70	35,09%	-2,16	300,16%	1,86	72,68%
1991	5,55	5,00	9,98%	5,37	3,29%	3,12	43,86%	4,47	19,52%
1992	1,43	2,35	64,42%	3,04	112,83%	1,44	0,37%	0,20	86,31%
1993	5,44	5,58	2,55%	5,62	3,22%	7,95	46,14%	6,42	18,05%
1994	4,55	4,74	4,08%	4,62	1,64%	8,02	76,30%	3,12	31,48%
1995	6,41	6,39	0,34%	5,57	13,16%	6,38	0,53%	6,15	4,03%
1996	4,85	5,84	20,42%	4,77	1,65%	4,35	10,30%	4,35	10,26%
1997	6,32	6,29	0,50%	6,39	1,07%	5,77	8,72%	6,47	2,29%
1998	3,77	2,55	32,40%	2,66	29,39%	2,61	30,78%	3,71	1,65%
1999	2,71	3,07	13,28%	2,89	6,50%	2,90	7,05%	5,11	88,58%
2000	4,65	4,74	1,83%	5,17	11,12%	6,92	48,78%	4,56	1,99%
2002	5,05	4,96	1,84%	5,00	1,09%	4,74	6,08%	5,22	3,45%
2003	5,35	4,34	18,89%	3,83	28,48%	2,74	48,85%	4,09	23,62%
2004	4,67	5,11	9,36%	3,03	35,19%	6,78	45,28%	6,25	33,86%
2005	4,53	4,60	1,56%	5,67	25,13%	4,28	5,49%	5,34	17,78%
MAPE			10,88%		17,78%		46,64%		34,00%

No gráfico da Figura 35, observa-se com mais clareza a comparação dos resultados das taxas de crescimento de cada modelo.

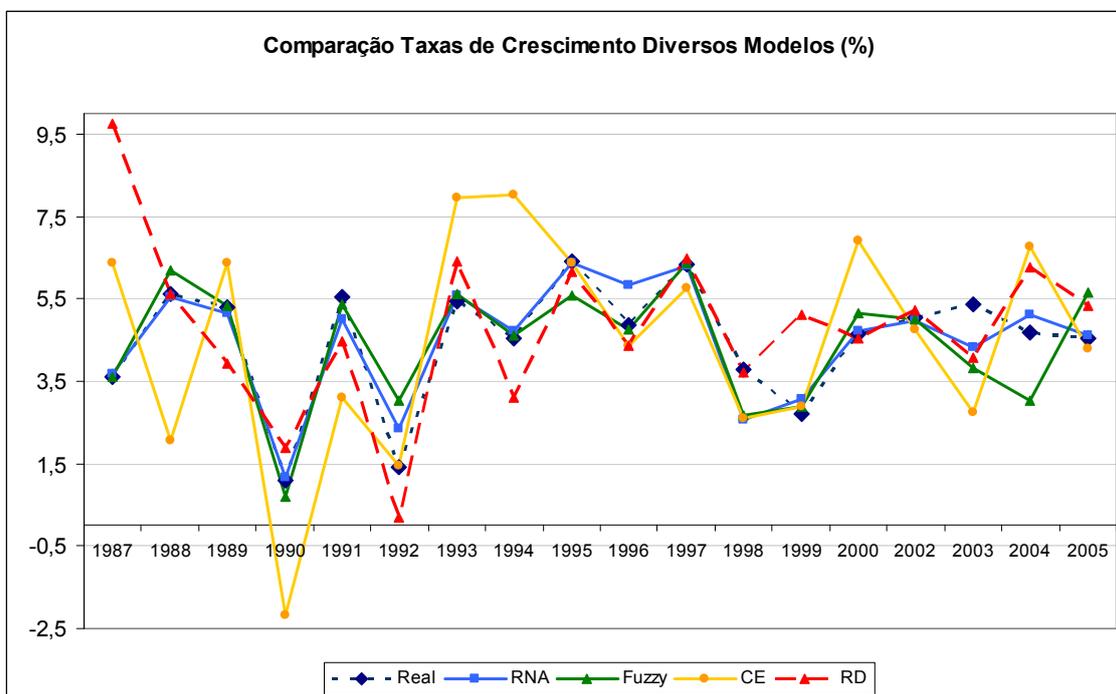


Figura 34: Evolução do crescimento da carga (% a.a.)

O crescimento da carga em 1990 que foi obtido pelo modelo causa e efeito foi negativo (-2,16%), bem distante da taxa de fato realizada de 1,08% neste ano. O resultado é explicado pelo fato deste modelo estar diretamente relacionado ao crescimento econômico do país (PIB Brasileiro).

A explicação para o valor discrepante encontrado no modelo causa e efeito em 1990 é justificado pela retração da economia, acarretando no PIB negativo (-4,35%) no ano. Assim como em 1994, com a entrada do Plano Real, acarretando no controle do processo inflacionário, gerando assim uma estabilidade e crescimento da economia.

Convertendo as taxas percentuais de crescimento em carga (MW médios) do SIN, utilizando o ano base de 1986 de 22.547 MW médios, foram obtidos os erros percentuais de previsão de cada modelo conforme ilustrado na Tabela 11.

**Tabela 11 – Comparativo dos Erros de Cada Modelo**

	<b>Carga Real</b>	<b>Carga RNA</b>	<b>Erro APE RNA</b>	<b>Carga Fuzzy</b>	<b>Erro APE Fuzzy</b>	<b>Carga CE</b>	<b>Erro APE CE</b>	<b>Carga RD</b>	<b>Erro APE RD</b>
1986	22.547			22.331	0,96%	22.837	1,29%	21.796	3,33%
1987	23.359	23.379	0,09%	23.391	0,14%	24.295	4,01%	23.921	2,41%
1988	24.669	24.658	0,05%	24.557	0,45%	24.800	0,53%	25.264	2,41%
1989	25.977	25.940	0,14%	25.587	1,50%	26.383	1,57%	26.262	1,10%
1990	26.257	26.280	0,09%	26.629	1,42%	25.813	1,69%	26.751	1,88%
1991	27.714	27.569	0,53%	27.593	0,44%	26.617	3,96%	27.946	0,84%
1992	28.111	28.366	0,91%	28.482	1,32%	26.999	3,95%	28.001	0,39%
1993	29.640	29.679	0,13%	30.027	1,30%	29.146	1,67%	29.799	0,54%
1994	30.989	31.044	0,18%	31.533	1,76%	31.484	1,60%	30.728	0,84%
1995	32.976	32.969	0,02%	33.197	0,67%	33.491	1,56%	32.618	1,08%
1996	34.576	34.902	0,94%	34.903	0,95%	34.948	1,08%	34.038	1,55%
1997	36.762	36.750	0,03%	37.197	1,18%	36.964	0,55%	36.239	1,42%
1998	38.148	37.699	1,18%	38.136	0,03%	37.929	0,57%	37.582	1,48%
1999	39.182	39.319	0,35%	39.079	0,26%	39.029	0,39%	39.503	0,82%
2000	41.003	41.038	0,08%	41.079	0,19%	41.730	1,77%	41.303	0,73%
2001	37.752					38.065	0,83%	37.720	0,08%
2002	39.659	39.623	0,09%	39.638	0,05%	39.870	0,53%	39.691	0,08%
2003	41.781	41.343	1,05%	41.155	1,50%	40.961	1,96%	41.313	1,12%
2004	43.732	43.454	0,64%	42.400	3,05%	43.740	0,02%	43.895	0,37%
2005	45.712	45.453	0,57%	44.803	1,99%	45.613	0,22%	46.237	1,15%
<b>MAPE</b>			<b>0,39%</b>		<b>1,01%</b>		<b>1,49%</b>		<b>1,18%</b>

Para as projeções decenais foram utilizadas as seguintes variáveis macroeconômicas e demográficas: projeção do PIB fornecido pela Fundação Getúlio Vargas/ Eletrobrás de abril de 2006 para o ciclo de planejamento 2005/2015 (cenário de referência) e a projeção de crescimento da população fornecida pelo IBGE. Além disso, na figura 36 são apresentadas as projeções das taxas de crescimento da carga da RNA treinada, além da projeção decenal da carga de energia para o SIN no cenário de referência.

A figura 35 apresenta os resultados de todos os modelos para o cenário de referência. A previsão 2006-2015 foi realizada com dados verificados até 2005. A título de comparação, foram acrescentados à figura, os valores realizados da carga em 2006 e 2007, além da projeção no horizonte de cinco anos (2008-2012) fornecidos pelo ONS. Este horizonte de cinco anos de planejamento do ONS é sempre revisado anualmente por quem de fato acompanha e opera no curto e curtíssimo prazo o Sistema Elétrico Brasileiro, com bases de previsões horárias, diárias, semanais e mensais.

Além disso, nota-se que o resultado da RD apresentou valores superiores a todos os outros modelos. Os modelos CE e o RNA apresentaram os resultados mais próximos do ONS. E o modelo Fuzzy apresentou valores próximos no horizonte 2006

a 2009 e divergiram para baixo no horizonte 2010 a 2015 em relação ao ONS e dos modelos RNA e CE.

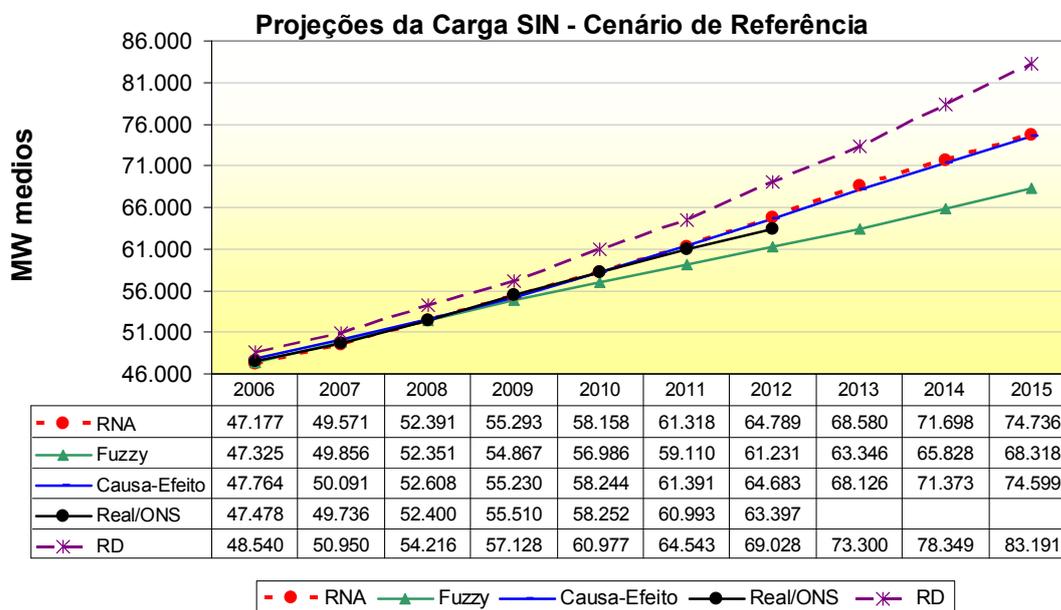


Figura 35: Previsão da carga utilizando diversas técnicas - cenário de referência

## 9.1. Previsão da Carga nos três cenários e diversos modelos:

### 9.1.1. Resultado Utilizando RNA

A Figura 36 apresenta os resultados para os três cenários de crescimento da carga para o modelo RNA. Nota-se que para o final do horizonte de previsão em 2015, o range entre cenários baixo e alto variam entre 70 e 82 GW médios.

**Cenários de Crescimento da Carga Utilizando RNA (MW médios)**

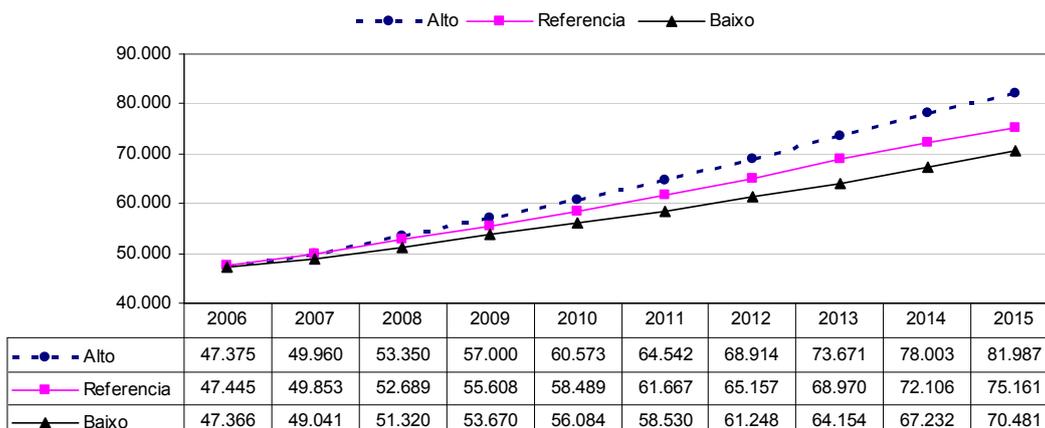


Figura 36: Cenários de crescimento da carga utilizando RNA

### 9.1.2. Resultado Utilizando Sistema Fuzzy – TSK de ordem 1

O resultado das trajetórias da carga no cenário baixo e referência no modelo Fuzzy apresentou pouca variação, devido aos valores dos protótipos utilizados na fuzzificação para a taxa do PIB (1,3 e 5), assim como podemos observar no gráfico da Figura 37. O cenário alto apresentou um comportamento irregular devido à escolha dos protótipos para a taxa de crescimento do PIB e deve ser analisado melhor. Segundo a Tabela 5, as trajetórias de crescimento do PIB nacional para os três cenários (2006 a 2015) variam entre 2,5 e 5, e com isso, os protótipos para a fuzzificação escolhidos para a variável Taxa PIB, não estão conseguindo obter bons resultados para os três cenários, como ele obteve para o treinamento do histórico (1981 a 2000).

### Cenários de Crescimento da Carga - Sistema Fuzzy (MW médios)

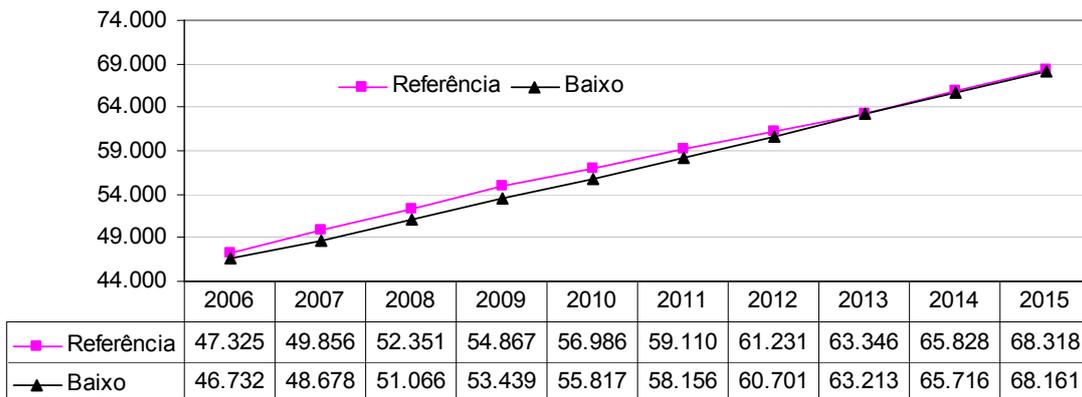


Figura 37: Cenários de crescimento da carga utilizando Fuzzy

### 9.1.3. Resultado Utilizando o Modelo Causa e Efeito

O modelo Causa e Efeito apresentou trajetórias da carga bem distintas em cada cenário, utilizando somente dados do histórico da carga e número de consumidores no Brasil e as trajetórias de crescimento do PIB e projeção da Eletrobrás para o crescimento do número de consumidores no Brasil, conforme ilustrado na Figura 38. Em 2015, este modelo apresentou o intervalo entre os cenários baixo e alto de 67 a 79 GW médios.

### Cenários de Crescimento da Carga Utilizando Causa & Efeito (MW médios)

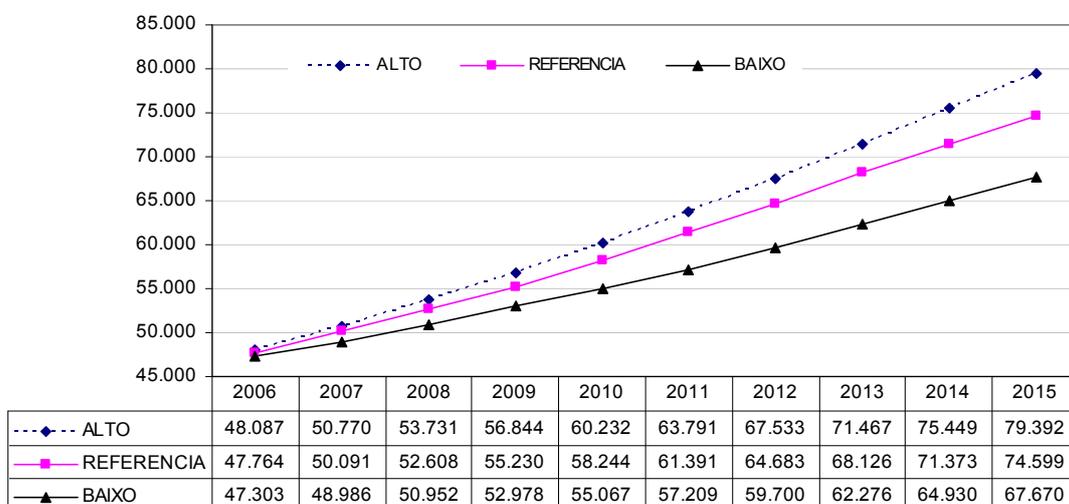


Figura 38: Cenários de crescimento da carga utilizando Causa e Efeito

### 9.1.4. Resultado Utilizando Regressão Dinâmica

Os resultados deste modelo apresentaram valores bem elevados para os três cenários em relação aos demais modelos e em relação às projeções da Eletrobrás e do ONS. No final do horizonte em 2015 o cenário baixo e alto deste modelo apresentou o intervalo de 76 a 87 GW médios, valores superiores em todos os cenários e em relação a todos os modelos, como pode ser verificado na Figura 39.

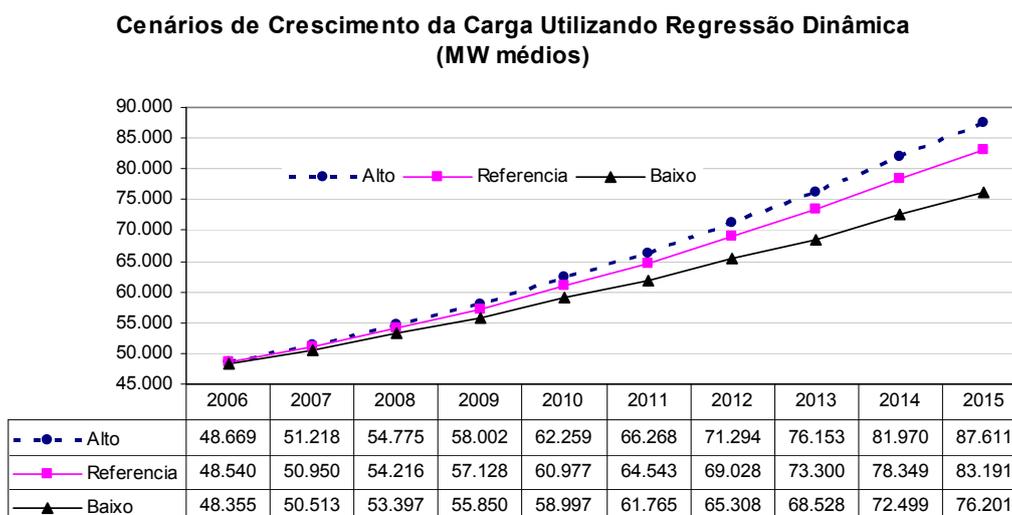


Figura 39: Cenários de crescimento da carga utilizando Regressão Dinâmica

## 10. CONCLUSÃO

Efetuar previsões tornou-se uma atividade importante na sociedade moderna, em especial na tomada da decisão. É difícil imaginar ações governamentais ou decisões de investimento privados que não foram baseados em algum tipo de projeção. Por exemplo, a decisão de investir em construção de usinas hidrelétricas, na qual dependa da demanda futura de energia.

Obter sucesso em previsões de longo prazo é algo muito subjetivo, pois a medida de sucesso depende do objetivo do uso da previsão.

Os modelos computacionais RNA e Lógica Fuzzy apresentaram melhores resultados, ou seja, menores erros percentuais absolutos (MAPE) entre os valores estimados pelo modelo e o valor real, em relação aos modelos CE e RD, quando trabalhados com o histórico da carga (1987 a 2005).

Os modelos computacionais inteligentes como Redes Neurais e Causa & Efeito obtido através de técnica de mineração de dados obtiveram melhores resultados de previsão em relação ao modelo RD estatístico convencional se comparado com as projeções do ONS. As projeções do modelo RD para os três cenários de crescimento foram muito maiores do que os demais modelos e respectivos cenários de crescimento, tanto no baixo, referencia e alto.

O paradigma da inteligência computacional como o sistema fuzzy, que possui aplicações em diversas áreas, inclusive na previsão de demanda de energia elétrica, tanto no curto quanto no longo prazo, permite modelar incertezas e imprecisões no raciocínio humano utilizando variáveis lingüísticas e funções de pertinência. A “fuzzificação” oferece um poder de generalização e comprovada capacidade de modelar problemas complexos a soluções de baixo custo. Cabe destacar que o modelo fuzzy necessita ser mais bem investigado, pois os protótipos escolhidos na variável taxa de crescimento do PIB na fuzzificação impactam intensamente nos resultados obtidos.

O modelo Causa e Efeito, entretanto explicita o entendimento da aproximação efetuada e pode levar a resultados adequados e com utilização de poucos recursos e

complexidade. Além disso, apresentou resultados semelhantes ao RNA e próximos do ONS, agente que acompanha e gerencia a operação de perto, além de estar sempre revisando suas projeções a fim de adequar seu planejamento de curto prazo. O problema deste modelo seria a descontinuidade do histórico da série e da projeção da variável número de consumidores de energia elétrica no Brasil (que representa a soma de todos os consumidores e em todas as classes de consumo: industrial, comercial, residencial e outros consumidores), série esta acompanhada, projetada e divulgada no passado pela Eletrobrás e hoje realizada pela EPE, com outra metodologia de cálculo de projeção.

O planejamento decenal, formulado para períodos de dez anos, envolvem muitas condições de incerteza. O planejamento do setor elétrico brasileiro faz uso de três cenários como instrumento de exploração do futuro, pois os cenários são a descrição de possíveis futuros, no caso um alto, um baixo e um de referência. E serão utilizados na tomada de decisões estratégicas para desenvolver a infra-estrutura necessária para suportar o crescimento do país e antever e/ou evitar novo risco de racionamento de energia através do acompanhamento anual e evolução do crescimento da carga.

Os cenários são úteis para o planejamento de longo prazo, pois são configurações representativas de futuros alternativos, onde se podem antecipar oportunidades de negócios, ameaças, novos desafios e possibilidades. Sobretudo quando envolvem tomadas de decisão e investimentos de longa maturação.

Como este trabalho utilizou uma abordagem mais geral para a previsão da carga do Sistema Interligado Nacional, seria interessante realizar estudos no sentido *botton-up*, ou seja, a previsão por subsistema elétrico, para se chegar na carga do SIN. Os dados históricos da carga de energia por subsistema elétrico são facilmente obtidos no site do ONS e os dados de população por estado no site do IBGE, porém a dificuldade estaria em obter o histórico do PIB por subsistema ou estado. Existe entretanto, um estudo realizado pela Eletrobrás, de uma metodologia desenvolvida pelo especialista Nelson Leon sobre o particionamento da variável PIB por estado.

Outra abordagem poderia ser a investigação por classe de consumo no Brasil: industrial, comercial, residencial e outros, para se chegar ao consumo total brasileiro, acrescentando a esta série um percentual relacionado a perdas, obtendo assim a carga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Relatório Analítico – Mercado de Energia Elétrica / Jan-2003 – Ciclo de Planejamento 2001 – Ministério de Minas e Energia / ELETROBRÁS.
- [2]. Cenários Macroeconômicos – Modelo de Consistência Macroeconômica e Setorial – ELETROBRÁS/FGV. Julho 2005.
- [3]. Cenários de Demanda de Energia Elétrica – Grupo ELETROBRÁS/Ciclo 2005. Abril 2006.
- [4]. Apresentação do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica PDEE 2006-2015 – MME/EPE. Março 2006.
- [5]. Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015 – Relatório Analítico – EPE/MME – Dezembro 2005.
- [6]. Metodologia de Construção de Cenários – Cenários de Demanda de Energia Elétrica para a Amazônia 2005-2025 – Eletronorte. Março 2005.
- [7]. Netto, H.F., Teoria do Planejamento. COPPE/UFRJ, 1991.
- [8]. Rondeau, Silas – “O Brasil e a Futura Matriz Energética” – Dez-2006.
- [9]. Modelo de Expansão de Longo Prazo de Sistemas de Geração e Troncos de Interligação - PNE 2030 – Seminário de Oferta – MME - 22 Nov 2006 / CEPEL / Eletrobrás
- [10]. Plano Decenal de Expansão 2000/2009 – Ministério de Minas e Energia/ Eletrobrás.
- [11]. Sarto, J.-Metodologia de Estudos de Cenários – CCPE/CTEM/GTQC/ELETRONORTE – Abril 2004.
- [12]. Santos, G.- Mapeamento dos Agentes do Setor Elétrico Brasileiro 2005. Furnas Centrais Elétricas S.A. – DGM.E/SL.E - Setembro 2006.
- [13]. HAYKIN, Simon. Redes Neurais Princípios e Práticas. Ed. Bookman, 2001.
- [14]. KERMANSHAHI B., IWAMIYA H., “ Up to year 2020 load forecasting using neural nets” - Electrical Power & Energy Systems, 2002.
- [15]. HSU C.C., CHEN C.Y., “Regional load forecasting in Taiwan – applications of artificial neural networks” – Energy Conversion & Management, 2003.
- [16]. BEZDEK, J. C. “Editorial Fuzzy Models- What Are They, and Why?”, IEEE - Transactions on Fuzzy Systems, vol.1 No.1, 1993.
- [17]. RANAWEERA, D.K., KARADY, G.G., HUBELE, N.F. "Fuzzy logic for short term load forecasting", Vol. 18, pag. 215 à 221, 1996.

- [18]. JIA, N. X., YOKOYAMA, R., ZHOU, Y.C., GAO, Z.Y. "A flexible long-term load forecasting approach based on new dynamic simulation theory – GSIM" – Eletrical Power & Energy Systems, 2000.
- [19]. LIAO, G.C., TSAO, T. P., "Application of fuzzy neural networks and artificial intelligence for load forecasting" – Electric Power Systems Research, 2003.
- [20]. ANBUKY, A.A., BATAINEH, S., AQTASH, S. A., "Power demand prediction using fuzzy logic." – VOI.3 No.9,1995.
- [21]. SRINIVASAN, D., LIEW, A. C., CHANG, C. S., "Applications of fuzzy systems in power systems". Electric Power Systems Research, 1995.
- [22]. TAMIMI, M., EGBERT, R., "Short term electric load forecasting via fuzzy neural collaboration." - Electric Power Systems Research, 2000.
- [23]. SUGENO, M., ASAI, K., TERANO, T., "Fuzzy Systems Theory and Its Applications" – Academic Press, 1992.
- [24]. HAN, J.,KAMBER, M., "Data Mining – Concepts and Techniques" – 2001.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)