

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Energia e**  
**Automação Elétricas**

ISSN 1413-2214  
**BT/PEA/0426**

---

**Análise Crítica e Proposições  
Metodológicas para Avaliação  
dos Custos Marginais de  
Expansão de Redes de  
Distribuição de Energia Elétrica**

---

**Alden Uehara Antunes  
Marcos Roberto Gouvea**

---

**São Paulo – 2004**

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Alden Uehara Antunes, sob orientação do Prof. Dr. Marcos Roberto Gouvea: "Análise Crítica e Proposições Metodológicas para Avaliação dos Custos Marginais de Expansão de Redes de Distribuição de Energia Elétrica", defendida em 13/09/2004, na EPUSP.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Antunes, Alden Uehara

Análise crítica e proposições metodológicas para avaliação dos custos marginais de expansão de redes de distribuição de energia elétrica / Alden Uehara Antunes, Marcos Roberto Gouvea. -- São Paulo : EPUSP, 2004.

20 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas ; BT/PEA/0426)

1. Redes de distribuição de energia elétrica (Fornecimento; qualidade; custos) I. Gouvea, Marcos Roberto II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série ISSN 1413-2214

# Análise Crítica e Proposições Metodológicas para Avaliação dos Custos Marginais de Expansão de Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Alden Uehara Antunes

Marcos Roberto Gouvea

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
[uehara@pea.usp.br](mailto:uehara@pea.usp.br) [gouvea@pea.usp.br](mailto:gouvea@pea.usp.br)

*Resumo* – Este artigo faz uma análise crítica dos métodos de determinação dos custos marginais de expansão das redes de distribuição de energia elétrica e propõe metodologias alternativas que equacionem aspectos relevantes relacionados as dificuldades de aplicação dos modelos tradicionais.

Os custos marginais de expansão constituem-se em insumo fundamental na determinação das tarifas de uso da rede de distribuição, bem como da avaliação de diversos indicadores de qualidade específicos. As metodologias tradicionais utilizadas para determinação deste parâmetro enveredam por duas vertentes distintas, quais sejam: (i) a estimativa da evolução das obras no tempo ou no espaço com base em relações funcionais que correlacionam as quantidades de obras ao consumo de energia ou demanda máxima; (ii) a avaliação dos custos marginais por meio de modelos de planejamento da expansão dos sistemas de distribuição.

As metodologias propostas e apresentadas neste artigo apóiam-se nas fundamentações conceituais associadas a estas duas vertentes, procurando aproveitar os aspectos favoráveis de cada uma, porém, complementando-as com modelos específicos nos respectivos tópicos vulneráveis. Em particular, a avaliação da elasticidade preço da demanda por energia elétrica; a qualidade de fornecimento embutida no cálculo dos custos marginais de expansão; o tratamento da ociosidade do sistema introduzida pela indivisibilidade das obras; a desagregação dos resultados em termos regionalizados e por nível de tensão, o que abrirá a inédita possibilidade de se tarifar, de modo distinto, consumidores de uma mesma categoria e atendidos no mesmo nível de tensão, são parâmetros valorizados nas metodologias propostas.

*Abstract* – This paper deals with a comprehensive survey from the principal methods to calculate marginal costs in electrical power distribution networks. It presents alternative methodologies to solve the main difficulties foreseen following the application of traditional methods.

The marginal cost of electrical distribution systems constitutes fundamental input to both tariffs evaluation in distribution networks, and assessment of important quality of service indices. The traditional methods for the calculation of marginal costs are based on two different conceptions: (i) Evaluating of the amounts in reinforcements installed in the system through mathematical expressions, and (ii) evaluation of the expansion plan of the electrical distribution system.

The methodologies proposed in this paper make use of the main advantages in specific models to solve difficulties for the application of traditional methods. The main contributions of the methodologies proposed are as follows: evaluation of demand elasticity price; electrical distribution system under loaded analysis imposed by reinforcements' indivisibility; marginal costs evaluation based on the quality service; evaluation of regional marginal costs to apply different tariffs for the consumers supplied in the same voltage level.

*Palavras Chaves* – Custos marginais, elasticidade da demanda, indicadores de qualidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Os custos marginais de expansão de capacidade, no âmbito do setor elétrico, representam uma estimativa de custos para o atendimento de uma unidade adicional de demanda (kW) no horário de ponta, ao longo dos seus diversos segmentos, incluindo a própria rede a que está ligada a carga e todos os níveis a montante. Constitui um parâmetro microeconômico de suma importância. O seu conceito apresenta uma correta sinalização entre volume de produção, demanda associada a determinado produto e estrutura de custos correspondente, numa adequada referência para os produtores.

Sob a ótica do consumidor, o conhecimento de uma base tarifária justa associada ao consumo de energia que seja expressa por um estrutura de preços baseada nos custos marginais, o ajudará a adotar o comportamento mais vantajoso para ele e, por conseguinte, para toda sociedade, dada a possibilidade que tem de mensurar o benefício decorrente da redução ou deslocamento do respectivo consumo.

No contexto do setor elétrico, as principais metodologias utilizadas para determinação deste parâmetro enveredaram por duas vertentes distintas, quais sejam [3], [12]: (i) a estimativa da evolução das obras no tempo ou no espaço com base em relações funcionais que correlacionam as quantidades de obras ao consumo de energia ou demanda máxima; (ii) a avaliação dos custos marginais por meio de modelos de planejamento da expansão dos sistemas de distribuição.

As metodologias analisadas neste artigo apóiam-se nas fundamentações conceituais associadas a estas duas vertentes, procurando aproveitar os aspectos favoráveis de cada uma, porém, complementando-as com modelos específicos nos respectivos tópicos vulneráveis. Em particular, a avaliação da elasticidade preço da demanda por energia elétrica; a qualidade de fornecimento embutida no cálculo dos custos marginais de expansão; o tratamento da ociosidade do sistema introduzida pela indivisibilidade das obras; a desagregação dos resultados em termos regionalizados e por nível de tensão, o que abrirá a inédita possibilidade de se tarifar, de modo distinto, consumidores de uma mesma categoria e atendidos no mesmo nível de tensão, são parâmetros valorizados nas metodologias propostas.

Os principais tópicos de análise das metodologias propostas, bem como dos modelos tradicionais de cálculo dos custos marginais, são abordados nos itens seguintes.

## 2. MÉTODOS DE CÁLCULO DOS CUSTOS MARGINAIS

Existem duas metodologias básicas sendo aplicadas para determinação dos custos marginais no setor: uma delas já dominada desde meados da década de 1980 conhecida como Leis de Quantidade de Obras – LQO [2], [3] que constituem funções técnicas de produção associando a quantidade dos agregados de obras ao consumo de energia ou demanda, para tanto valendo-se de dados históricos de obras e investimentos; e outra metodologia proposta por uma consultoria internacional, consórcio liderado pela Coopers e Lybrand, no âmbito da atual reformulação do setor elétrico brasileiro [7] baseada no Custo Incremental Médio de Longo Prazo – CIMLP [1], [2], [3], metodologia pela qual o cálculo do custo marginal se baseia num plano otimizado de investimentos proposto para as redes de distribuição de energia elétrica. Ressalta-se que a metodologia do CIMLP vem sendo utilizado para a determinação dos custos marginais no âmbito do setor elétrico desde meados da década de 1980, porém não usualmente no segmento da distribuição em média tensão, devido, basicamente, à falta de procedimentos metodológicos e ferramentas computacionais.

## 3. CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DIFÍCULDADES NA APLICAÇÃO DE CADA MÉTODO

### 3.1. Lei de Quantidade de Obras (L.Q.O)

Esta metodologia baseia-se na premissa de que o futuro próximo se comporta como o passado recente. A equação básica associada a esta metodologia é formulada da seguinte forma [2], [3]:

$$Y = k \cdot X^\alpha \quad (1)$$

Na equação anterior, Y representa a quantidade de obra de um determinado agregado de rede, X é a unidade de produto (consumo ou demanda) e k representa um coeficiente de eficiência, constante, que depende da tensão, da forma geométrica da zona atendida, da disposição da rede, da queda de tensão máxima admissível e da resistividade do condutor.

Para formação adequada de um banco de dados que viabilize a aplicação desta metodologia deve-se dispor dos históricos das obras (Y) e dos consumos (X).

O processo de cálculo parte da logaritimização da equação básica:

$$\ln Y = \ln K + \alpha \ln X \quad (2)$$

A equação (2) representa a equação de uma reta, em assim sendo, a definição da mesma pode ser feita através de aplicação de um processo de regressão a partir do método dos mínimos quadrados aos históricos das obras (quilômetros de linhas, quantidade de postos de transformação e potência instalada) e consumos do nível de tensão considerado (média ou baixa tensão).

A partir dos resultados obtidos, determina-se facilmente a equação exponencial desejada, que explicará a evolução das obras em função do mercado atendido.

Voltando à Equação Básica, a sua derivada, que possibilita determinar o agregado marginal de obras, resultará na seguinte equação:

$$\frac{\delta(Y)}{\delta(X)} = \alpha \cdot k \cdot X^{\alpha-1} = \alpha \cdot k \cdot \frac{X^\alpha}{X} = \alpha \cdot \frac{Y}{X} \quad (3)$$

Ou seja, o agregado marginal de obras, num determinado período, vem a ser o produto do coeficiente de escala obtido historicamente pela relação entre o total de obras e consumos previstos para o referido período.

A partir de então, o custo marginal do agregado considerado é obtido multiplicado-se o resultado obtido com o agregado marginal pelo respectivo custo unitário ( $I_0$ ) [2], [3].

$$Cmg(Y) = I_0 \cdot \alpha \cdot \frac{Y}{X} \quad (4)$$

Como normalmente as tomadas de decisão são feitas mediante análises comparativas de custos anuais, o Custo Marginal obtido deverá ser anualizado com a utilização de um fator de recuperação de capital, que levará em consideração a vida útil da instalação, remuneração do capital e custos de manutenção e operação da mesma [2], [3].

Como principais dificuldades visualizadas na aplicação desta metodologia pode-se citar [11], [12]:

- i. Dados históricos inexistentes e/ou não confiáveis em muitas concessionárias;
- ii. Descontinuidades de políticas de investimentos nas concessionárias, que poderá distorcer a realidade futura dos custos – isto ocorreu preponderantemente nas empresas sob grande influência política;
- iii. Probabilidades de mudanças de políticas de investimentos “Passado x Futuro” que poderá levar a resultados incorretos;
- iv. Índices de qualidade de serviços registrados no passado versus compromissos assumidos para o futuro;
- v. Dificuldade de os custos avaliados de operação, reforços e manutenção refletirem a prática.

Os aspectos “descontinuidade” e “mudanças” de políticas de investimento podem ser visualizados, de forma gráfica, na figura 1, que mostra a evolução de agregados de obras de uma concessionária – fato que é comum em muitas outras empresas.

Pode-se observar uma descontinuidade bastante acentuada nos agregados comprimento de rede BT e quantidade de traços, a adoção de qualquer uma das três tendências pode refletir um erro no que concerne à realidade futura; o mesmo pode ser dito quanto à adoção de uma tendência que seja a média das três; uma vez que, no caso específico, isso deveu-se a aspectos meramente políticos por tratar-se de uma empresa em fase anterior à privatização, e que sofria grande ingerência política.

Face ao exposto, pode-se concluir, que, em muitas concessionárias, pode-se tornar inviável a aplicação da metodologia da LQO, sob pena de expor as mesmas a um grande risco face aos compromissos a serem assumidos com a ANEEL.

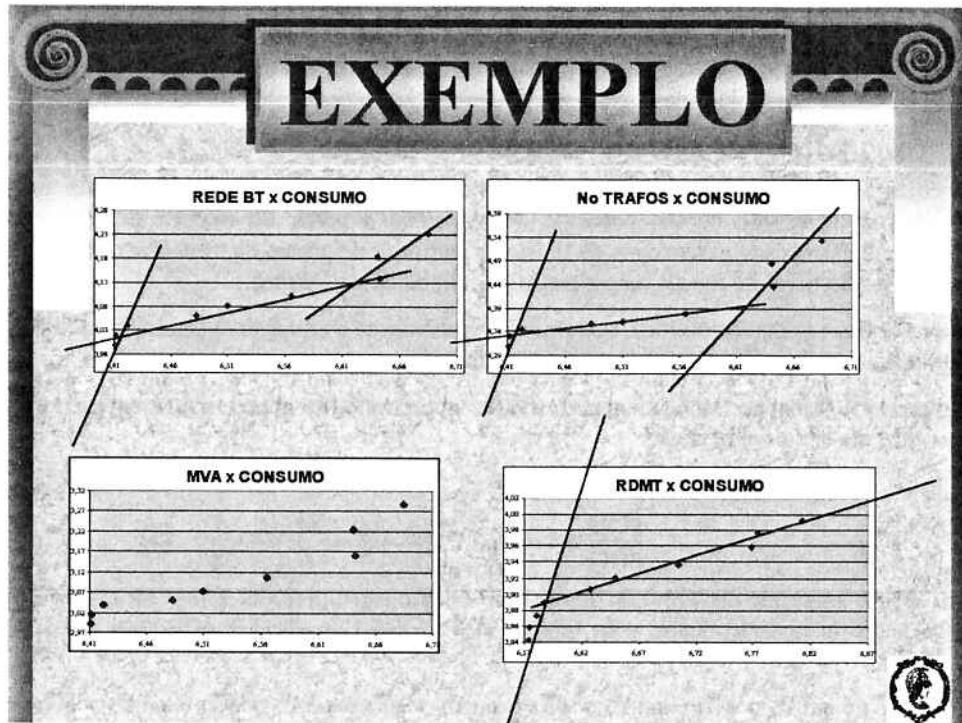


Figura 1: Políticas de Evolução do Histórico de Obras

Como principais vantagens visualizadas na aplicação desta metodologia pode-se citar [11], [12].

- Revela uma provável tendência de investimentos;
- Fornece subsídios para definição de políticas de projeto de redes de média e baixa tensão.

### 3.2 Custo Incremental Médio de Longo Prazo (C.I.M.L.P.)

Este método faz a aproximação do custo marginal com base no custo médio da expansão prevista [3], [12].

A equação básica deste método é:

$$CIMLP = \frac{\sum \left[ (\Delta I_i) / (1+a)^{(i-1)} \right]}{\sum \left[ (\Delta P_i) / (1+a)^{(i-1)} \right]} \quad (5)$$

Nesta equação,  $\Delta I$  e  $\Delta P$  representam os investimentos agregados e as demandas agregadas anualmente ao longo do período considerado, respectivamente.

É importante ressaltar que ambos os parâmetros, demanda e energia, devem ser referenciados a uma mesma base temporal, que normalmente adota-se como o primeiro ano estudado.

A formação de uma base de dados adequada para aplicação desta metodologia deve conter: previsão plurianual de mercado e um plano plurianual de investimentos.

Como principais dificuldades visualizadas na aplicação desta metodologia pode-se citar [12]:

- Indivisibilidade das Obras que, dependendo do grau, poderá distorcer o resultado obtido (a aproximação Custo médio x Custo Marginal se torna imprecisa);
- Passado com excesso ou Carência de Investimento, o que poderá se refletir de forma pesada nos primeiros anos da série, distorcendo o resultado do que seria o Custo Marginal de Longo Prazo.

Como principal vantagem associada a aplicação deste método é que este revela a real necessidade de investimentos da concessionária [12].

## 4. MODELOS DE PLANEJAMENTO AGREGADO DE INVESTIMENTOS

### 4.1 Introdução

A aplicação da metodologia do custo incremental médio de longo prazo (CIMLP), bem como das metodologias propostas requer um plano otimizado de expansão onde a partir dos investimentos obtidos e das projeções de mercado estimam-se os custos marginais correspondentes [3], [12].

Uma forma de se obter este plano de investimentos é a partir da utilização da metodologia de planejamento agregado de investimentos em redes de distribuição [4], [6], [15] que propõe modelagens adequadas no que concerne à representação da rede e da carga, avaliação do desempenho operacional e modelo de evolução de redes. Esta metodologia pode ser utilizada tanto em redes de média quanto de baixa tensão, conforme brevemente explanado nos itens seguintes.

### 4.2 Nível de Média Tensão

Em linhas gerais, a metodologia de planejamento agregado de investimentos no nível de MT pode ser sintetizada em 3 tópicos básicos [4]: representação da rede; avaliação do desempenho operacional e modelo de evolução de redes.

Quanto a representação da rede, a metodologia propõe a formação de famílias de redes de distribuição que constituem conjuntos de subestações e alimentadores reais agrupados conforme critérios de similaridade de seus principais atributos (parâmetros técnicos, topológicos e operacionais) associados a topologia da rede e características do mercado suprido. Formadas as famílias, os descritores (parâmetros explicativos) das famílias são determinados pelos valores médios ou mais freqüentes dos elementos (subestações e alimentadores) que as formaram. Adicionalmente, a metodologia propõe a formação de grupos geográficos de subestações reais com os quais são contemplados as condições de operacionalidade de determinada área de concessão caso esta apresente regiões onde há grande interação operativa entre os alimentadores das subestações próximas.

No aspecto de avaliação de desempenho operacional, a metodologia propõe a análise através da utilização de funções estatísticas que correlacionam os parâmetros operacionais de interesse, como queda de tensão máxima, perda máxima de determinado alimentador, energia não distribuída, duração e freqüência das interrupções com parâmetros topológicos, técnicos e operacionais que os caracterizam, como demanda máxima suprida, número de pontos de carga suprido, ângulo de ação, entre outros. Tais funções são ajustadas através da simulação de um universo adequado de alimentadores construídos a partir de fundamentos de otimização (no processo, utiliza-se o algoritmo árvore cronológica de comprimento mínimo, que determina a rede de menor comprimento que atende a uma determinada distribuição de cargas numa área pré-definida). Tais alimentadores de simulação espelham condições de topologia, padrão de redes e carregamento similares aos alimentadores reais. Para avaliação dos parâmetros de confiabilidade, utilizam-se critérios para alocação de chaves para proteção e manobra, além de tempos médios de restabelecimento do sistema em situações de interrupção típicas da empresa em análise.

O modelo de evolução de redes é norteado pela necessidade de realizar obras para que os critérios de nível mínimo de qualidade (NMQ) sejam atendidos e pela conveniência de realizar obras que sejam atrativas do ponto de vista benefício/custo, sempre respeitando um nível preestabelecido de orçamento anual. Cada rede representativa de uma família é analisada ano a ano, de modo a identificar eventuais transgressões em critérios de NMQ e avaliar os custos e os benefícios de todas as possíveis obras realizáveis, sejam para o atendimento de critérios ou para melhoria de qualidade ou economicidade.

Com isso é elaborada uma tabulação de todas as obras possíveis e correspondentes parâmetros técnicos e econômicos associados, proporcionando a avaliação do atendimento do NMQ e benefício/custo, este último expresso através da Taxa de Rentabilidade Inicial de Investimento (TRII). Basicamente, a priorização é feita escolhendo-se o melhor conjunto de obras (em termos da relação benefício/custo) compatibilizado com a disponibilidade orçamentária considerada.

### 4.3 Nível de Baixa Tensão

O segmento de baixa tensão apresenta especificidades em sua modelagem adaptadas as suas características.

Em relação ao modelo de representação, o conceito é similar ao proposto para a rede de média tensão, efetuando-se a formação de Famílias de SEDS – Sistemas Elementares de Distribuição Secundárias (transformador de distribuição e rede de baixa tensão associada), a partir de critérios de similaridade de seus principais atributos de caráter topológico (configuração de rede, bitola dos cabos, números e potência nominal dos transformadores de distribuição) e de mercado (densidade de carga, taxa de crescimento e fatores característicos da carga), determinando-se para cada família, um representante típico cujos [6], [15].

A avaliação do desempenho operacional é viabilizada pela modelagem da carga que considera corrente e fator de potência constantes, independentes do nível de tensão. Sendo previamente conhecidas as configurações de rede para suprimento da carga, pode-se calcular os parâmetros operacionais (queda de tensão, perdas e carregamentos máximos) de interesse para determinada condição de carregamento de referência, podendo-se obter os carregamentos, correntes e quedas de tensão para outras condições operativas, mediante aplicação de um fator de proporcionalidade entre a situação de carregamento em análise e a condição de referência. Pode-se obter também, a partir dos coeficientes calculados na condição de referência, o valor das perdas nos trechos da rede e perdas globais que variam quadraticamente com o valor das novas cargas [6], [15].

O modelo de evolução utiliza um algoritmo de otimização baseado em técnicas de programação dinâmica que avalia, para determinada família de SEDS a evolução de redes que minimiza os custos de investimento, operacionais e de imperfeição de tensão, de modo eficiente em termos computacionais (testam-se todas as alternativas viáveis de evolução determinando-se aquela de menor custo) [6], [15].

## 5. PROPOSIÇÕES METODOLÓGICAS

### 5.1. Introdução

A expansão dos sistemas elétricos de potência baseia-se na evolução de dois elementos: a demanda de energia requerida e os investimentos decorrentes das obras agregadas ao sistema. A evolução desses componentes apresenta tipos diversos de comportamentos pela própria natureza:

- A demanda cresce de forma tão mais contínua quanto maior for a demanda inicial, havendo eventuais acréscimos de blocos de carga correspondente à inclusão de grandes consumidores e;
- Os investimentos associados às obras de maior porte evoluem de forma preponderantemente discreta, correspondente a degraus no aumento da capacidade instalada.

Uma dificuldade relacionada ao cálculo do custo marginal de expansão dos sistemas elétricos reside em lidar com a relação dessas grandezas: uma predominantemente contínua e outra predominantemente discreta.

Para superar as vulnerabilidades e imperfeições existentes nas duas metodologias convencionais – LQO e CIMLP – para o cálculo do custo marginal de expansão são propostas duas metodologias alternativas designadas por:

- Leis de Quantidade de Obras Planejadas – LQOP;
- Custo Incremental Médio de Longo Prazo Ajustado – CIMLPA.

Estas novas proposições se inspiram nas metodologias existentes mas incorporam aspectos inovadores que buscam soluções, ainda que parciais, para as dificuldades constatadas na aplicação ordinária das metodologias atuais.

Um dos aspectos inovadores de relevância dessas novas propostas é a inclusão da influência da elasticidade preço da demanda de energia elétrica na evolução do sistema e correspondente impacto no custo marginal resultante.

O item seguinte trata do conceito de elasticidade preço da demanda aplicada à expansão do sistemas elétricos de distribuição.

### 5.2. Elasticidade Preço da Demanda: Aspectos Gerais

A demanda decresce quando ocorre um aumento do preço para a maior parte dos produtos e aumenta quando o preço diminui.

A curva de demanda correspondente é de difícil quantificação sendo, em geral, linearizada num determinado ponto, onde é definida a elasticidade preço da demanda como sendo:

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta q}{q_0}}{\frac{\Delta p}{p_0}} \quad (6)$$

Onde:

$\Delta q$  – Variação da quantidade decorrente da variação do preço

$\Delta p$  – Variação do preço do produto

$p_0, q_0$  – Preço e quantidade de referência, respectivamente

Desse modo, dividem-se as demandas de bens em três categorias no que se refere à elasticidade-preço da demanda [20]:

- Demanda inelástica, quando  $|\epsilon| < 1$ ;
- Demanda de elasticidade unitária, quando  $|\epsilon| = 1$ ;
- Demanda elástica, quando  $|\epsilon| > 1$ ;

Para avaliação da elasticidade preço da demanda de energia elétrica é necessária a especificação de uma relação funcional entre a quantidade demandada de energia elétrica, em cada classe de consumo, e um conjunto de variáveis independentes. As referências [17] e [18] sugerem que o consumo de energia pode ser expresso em função dos preços correspondentes segundo uma função não linear da forma:

$$C = k \cdot T_r^{\alpha_r} \cdot T_c^{\alpha_c} \cdot T_i^{\alpha_i} \cdot T_o^{\alpha_o} \quad (7)$$

Onde:

C: Consumo total de energia elétrica

$T_r, T_c, T_i, T_o$ : Tarifas médias da concessionária relativas, respectivamente, aos consumidores residenciais, comerciais, industriais e demais categorias.

$\alpha_r, \alpha_c, \alpha_i, \alpha_o, K$ : Constantes

Os expoentes  $\alpha_r, \alpha_c, \alpha_i, \alpha_o$  representam, respectivamente, as elasticidades preço da demanda (referente ao consumo total de energia) nas diversas categorias. Considerando-se estes expoentes constantes, especifica-se a equação 7 como uma função demanda com elasticidades constantes [17], [18]. A lei da demanda, garante uma correlação negativa entre o consumo de energia elétrica e as respectivas tarifas associadas a cada classe de consumidores, de modo que um aumento da tarifa acarretará uma redução do consumo, ou seja:

$$\alpha_r < 0, \alpha_c < 0, \alpha_i < 0, \alpha_o < 0$$

A expressão (7) explica a evolução do consumo no tempo  $t$ , normalmente avaliado em bases anuais. Expressando-se os valores de tarifa média normalizados a um valor de referência, tem-se a seguinte expressão do consumo num ano específico do período de planejamento:

$$C_0 = k \cdot t_r^{\alpha_r} \cdot t_c^{\alpha_c} \cdot t_i^{\alpha_i} \cdot t_o^{\alpha_o} \quad (8)$$

Onde:

$t_r, t_c, t_i$  e  $t_o$  representam as tarifas médias da concessionária em valores normalizados (pu), respectivamente, dos consumidores residenciais, comerciais, industriais e demais categorias, referidas a uma data específica do período de planejamento.

Porém, caso se avalie que num ano específico do período de estudo possam ocorrer variações nos valores de preço (tarifa) estimados inicialmente, dados respectivamente, por  $x_1, x_2, x_3$  e  $x_4$ , o novo consumo  $C_1$  resultará em:

$$C_1 = k \cdot (t_r + x_1)^{\alpha_r} \cdot (t_c + x_2)^{\alpha_c} \cdot (t_i + x_3)^{\alpha_i} \cdot (t_o + x_4)^{\alpha_o} \quad (9)$$

Desta forma, pode-se definir um fator de elasticidade  $F_e$  no ano analisado, dado por:

$$C_1 = C_0 \cdot \frac{(tr + x_1)^{\alpha_r} \cdot (tc + x_2)^{\alpha_c} \cdot (ti + x_3)^{\alpha_i} \cdot (to + x_4)^{\alpha_o}}{tr^{\alpha_r} \cdot tc^{\alpha_c} \cdot ti^{\alpha_i} \cdot to^{\alpha_o}} \quad (10)$$

Este fator multiplicado pelo consumo reflete as variações de preço na evolução inicial, ou seja:

$$C_1 = C_0 \cdot F_e \quad (11)$$

Para a dedução dos coeficientes  $\alpha_r$ ,  $\alpha_c$ ,  $\alpha_i$  e  $\alpha_o$  pode-se utilizar os métodos clássicos de regressão, como o método dos mínimos quadrados aplicados a uma série histórica.

### 5.3 Proposta da Metodologia da Lei de Quantidade de Obras Planejadas – LQOP

Basicamente, esta metodologia busca conciliar as duas vertentes mais utilizadas de determinação do custo marginal de expansão das redes de distribuição, quais sejam, o desenvolvimento das obras e o planejamento da expansão.

A metodologia das Leis de Quantidade de Obras Planejadas – LQOP busca uma solução que considera aspectos favoráveis das metodologias LQO e CIMLP, e minimiza as dificuldades.

Nesta nova abordagem, mantém-se a formulação genérica proposta na equação 1, porém, os ajustes dos parâmetros  $k$  e  $\alpha$  são efetuados com base em ajustes fundamentados em planos de expansão obtidos a partir da metodologia de planejamento agregado de investimentos. As LQOP's assim obtidas expressam uma evolução prospectiva das tendências futuras da evolução do mercado, baseada em critérios de otimização e em níveis de qualidade de atendimento pré-estabelecidos, uma vez que a metodologia de planejamento se desenvolve com essas diretrizes.

Assim, as quantidades de obras referentes aos segmentos de média tensão e de baixa tensão podem ser obtidas pela aplicação do planejamento agregado de investimentos, respectivamente, ajustando-se a curva aos valores  $Y_{ij}$  ( $i = 1 \dots n$ ), nas colunas das tabelas 1 e 2 e obtendo-se os coeficientes  $k$  e  $\alpha$  presentes na equação 1. Analogamente, associam-se os correspondentes valores de mercado  $X_i$  ( $i = 1 \dots n$ ).

Tabela 1: Projeção dos agregados de obras no segmento MT

| Ano | Comprimento de Rede MT (km) | Potência Instalada em Trafos AT/MT (MVA) | Quantidade de Postos de Transformação AT/MT | Demandas MT (MW) |
|-----|-----------------------------|--|---|------------------|
| 1   | $Y_{11}$                    | $Y_{21}$                                 | $Y_{31}$                                    | $X_1$            |
| 2   | $Y_{12}$                    | $Y_{22}$                                 | $Y_{32}$                                    | $X_2$            |
| .   | .                           | .  | .   | .                |
| .   | .                           | .  | .   | .                |
| .   | .                           | .  | .   | .                |
| n   | $Y_{1n}$                    | $Y_{2n}$                                 | $Y_{3n}$                                    | $X_n$            |

Tabela 2: Projeção dos agregados de obras no segmento BT

| Ano | Comprimento de Rede BT (km) | Potência Instalada em Trafos MT/BT (MVA) | Quantidade de Postos de Transformação MT/BT | Demandas BT (MW) |
|-----|-----------------------------|--|---|------------------|
| 1   | $Y_{11}$                    | $Y_{21}$                                 | $Y_{31}$                                    | $X_1$            |
| 2   | $Y_{12}$                    | $Y_{22}$                                 | $Y_{32}$                                    | $X_2$            |
| .   | .                           | .  | .   | .                |
| .   | .                           | .  | .   | .                |
| .   | .                           | .  | .   | .                |
| n   | $Y_{1n}$                    | $Y_{2n}$                                 | $Y_{3n}$                                    | $X_n$            |

Onde:

$Y_{ij}$  – Quantidade de obra do agregado  $Y_i$  no ano de planejamento  $j$ ;

$X_j$  – Demanda máxima  $X$  no ano de planejamento  $j$ ;

Entre os aspectos favoráveis de aplicação desta metodologia inclui-se:

- **Qualidade de Fornecimento e Tendências Prospectivas de Evolução:** A aplicação da LQOP é fundamentada no modelo de planejamento agregado de investimentos que apresenta a flexibilidade de produzir a evolução das obras, com base em critérios de qualidade, condicionantes técnicos e volumes orçamentários propostos [4], permitindo não só eliminar a influência dos aspectos de descontinuidades de investimentos orientados por razões não objetivas, como também considerar o nível de qualidade de fornecimento projetado, definido por critérios pré-estabelecidos;
- **Avaliação de Aspectos de Regulação:** A regulação do serviço de distribuição promovida pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, vem alterando os critérios técnicos relativos ao fornecimento de energia elétrica como, por exemplo a Resolução Nº 024 [21] de 2000 e a de Nº 505 [2] publicada em 2001 que, respectivamente, estabelecem as normas e critérios quanto aos parâmetros de continuidade e de tensão de fornecimento. Esta alteração de critérios dificulta a aplicação clássica das LQO's segundo o enfoque tradicional, porém, este aspecto pode ser contemplado nos modelos de planejamento da expansão, em particular pela metodologia de planejamento agregado de investimentos e, portanto, na LQOP;
- **Desagregação do Custo Marginal:** A aplicação da LQOP oferece uma grande vantagem face a LQO, uma vez que aquela se fundamenta no planejamento agregado de investimentos, o qual considera uma representação adequada para a desagregação de resultados, entre eles: LQOP's globais da concessionária; LQOP's para cada regional da concessionária; LQOP's para cada nível de tensão da concessionária; LQOP's para cada regional e nível de tensão da concessionária. Com isso é possível conhecer a participação dos diversos segmentos nos custos de expansão e portanto, têm-se condições objetivas para estabelecer uma estrutura tarifária que considere a diferença de custos a consumidores de mesma classe de tensão, atendidos por uma concessionária;
- **Flexibilidade para Avaliações de Cenários e Riscos:** O planejamento de longo prazo de expansão do sistema de distribuição não é determinístico pelos vários fatores exógenos e incertezas que o influenciam. Assim, os modelos mais elaborados de planejamento apóiam-se em técnicas estatísticas e de construção de cenários para tratamento das incertezas inerentes ao processo. O fato da LQOP ser fundamentada no planejamento agregado de investimentos permite que os resultados referentes aos cenários de evolução possam ser estendidos ao cálculo do custo marginal, situando-o num detalhado contexto envolvendo os riscos de diferentes naturezas presentes no processo;
- **Influência da Elasticidade Preço da Demanda:** A partir das variações de preços que podem ocorrer durante o período de estudo, é possível, pela análise da elasticidade preço da demanda, verificar o impacto resultante em termos da alteração do ritmo de crescimento da carga projetado para o período, o que deve modificar, em consequência, o planejamento da expansão e o custo marginal correspondente.

#### 5.4 Método do Custo Incremental Médio de Longo Prazo Ajustado – CIMLPA

##### 5.4.1 Diretrizes da Proposta Metodológica do CIMLPA

Os questionamentos sobre as atuais metodologias de cálculo do custo marginal de expansão, direta ou indiretamente, relacionam-se ao possível descompasso entre o crescimento da demanda e a intensidade com que os investimentos correspondentes aos acréscimos de capacidade são realizados para atender àquele incremento de demanda.

Por serem discretos, os citados acréscimos impõem descontinuidades de investimentos vis-à-vis aos acréscimos de demanda que freqüentemente evoluem de modo praticamente contínuo.

Disto decorre singularidades na função  $I$  (investimento) x  $D$  (demanda), ocasionando distorções na avaliação do custo marginal de expansão dos sistemas de distribuição e impondo desbalanço no fluxo de investimentos imputáveis ao período de planejamento, devido a sub-utilização das instalações.

Buscando solução para essas questões o método do CIMLPA se fundamenta em:

- Propor o compartilhamento do financiamento das novas instalações, de modo a onerar o período considerado apenas com a parcela dos investimentos que efetivamente são aplicados neste período, atribuindo aos sucessivos, a amortização da parcela dos investimentos que lhes couber;
- Onerar o período de análise com investimentos correspondentes à capacidade residual das instalações existentes na data inicial e que será efetivamente utilizada nesse período;

- Corrigir o mercado previsto por meio da elasticidade preço da demanda, de modo a adequar o patamar de consumo à disposição a pagar do consumidor.
- a) A primeira resulta da parcela de capacidade não utilizada das instalações não amortizadas existentes no ano inicial. Esta parcela é calculada a partir da determinação da capacidade disponível dessas instalações pela metodologia de planejamento agregado de investimentos – Programas SISPAI e SISPAI-BT – onde se dispõe da potência instalada e da demanda máxima em cada família de sistemas elementares de distribuição. Às capacidades disponíveis assim determinadas, são atribuídos os custos residuais correspondentes proporcionais aos custos totais. Essa capacidade disponível e correspondente custo são as bases para o cálculo dos investimentos imputáveis ao período. Tais investimentos são tratados de forma similar a um novo investimento no período, sendo compostos por:
  - Amortização da parte do referido investimento que foi efetivamente utilizado no período e;
  - O encargo financeiro (juros) da parte que não foi efetivamente utilizada e portanto disponível para o período subsequente.
- b) A segunda decorre da parcela referente aos novos investimentos imputáveis ao período de análise, que é função do critério de avaliação da disponibilidade de capacidade ociosa das instalações no horizonte de estudo considerado em cada uma dessas alternativas à saber:
  - no CIMLPA-f – Custo Incremental Médio de Longo Prazo Ajustado com critério financeiro para avaliação da ociosidade das instalações no horizonte do período;
  - no CIMLPA-t – Custo Incremental Médio de Longo Prazo Ajustado, com critério técnico para avaliação da ociosidade das instalações no horizonte do período.

O cálculo da segunda parcela é objeto de análise dos itens subsequentes.

#### 5.4.2 CIMLPA-f – Custo Incremental Médio de Longo Prazo Ajustado – Capacidade Residual das Instalações Avaliadas com Critério Financeiro

Neste método, o cálculo da ociosidade das instalações durante o período de análise é realizado a partir da hipótese, de caráter financeiro, que consiste em: “considerar como encargo de investimentos referentes às instalações utilizadas, apenas as parcelas anuais dos desembolsos que pertencerem ao período de análise”.

Assim, os investimentos correspondentes às novas instalações e também a parcela disponível das existentes no início do período são anualizados através do Método “Sinking Fund” e a série é truncada no ano horizonte. Portanto, serão consideradas imputáveis ao período, apenas as  $(H - t + 1)$  primeiras parcelas anuais dos investimentos realizados no ano  $t$  do período de estudo, sendo  $H$  o ano horizonte.

Um aspecto relevante neste contexto é que o truncamento da série de custos anuais no ano horizonte de estudo acarreta, implicitamente, que o valor residual dos investimentos no ano horizonte deverá ser amortizado nos períodos subsequentes até o final da vida útil da instalação.

A expressão geral do método do CIMLPA-f é:

$$\text{CIMLPA-f} = \frac{\text{VRI} + \sum_{a=1}^H \sum_{t=a}^H \Delta I_t \cdot \text{FRC} \cdot \frac{1}{(1+i)^t}}{\frac{\Delta P_t}{(1+i)^t}} \quad (12)$$

Onde:

- VRI: Valor econômico da capacidade disponível nas instalações existentes no ano inicial, utilizadas no período em estudo e não amortizadas anteriormente a este período
- a: Ano de planejamento
- t: Ano de planejamento
- i: Taxa de atualização do capital
- $\Delta I_t$ : Investimentos globais propostos em cada ano  $t$  do período
- $\Delta P_t$ : Variação das demandas máximas em cada ano  $t$  do período
- FRC: Fator de recuperação de capital

Nesta proposta a parcela do investimento em novas instalações que onera o período, é a soma das anualidades que lhe pertence, as quais são calculadas pelo método de amortização sinking fund. Tudo se

passa com se fosse um *leasing* da instalação, onde o ônus cabe no justo período de utilização da instalação. É verdade que a consistência desse critério se fundamenta num carregamento gradual da instalação, que valida o equilíbrio entre a parcela amortizada no período com a utilização (carregamento) no mesmo período. Não obstante às vantagens desse método, esse fato expõe a existência de um distanciamento desse critério às condições técnicas de operação.

Assim, embora o CIMLP-f contribua para atenuar questões críticas existentes nos atuais, ainda apresenta limitações decorrentes do aspecto de que a evolução da demanda requerida em geral, não acompanha o ritmo da amortização do investimento. Assim, ao final do período de planejamento, a utilização da instalação poderá situar-se em patamar diferente da parcela amortizada, introduzindo desequilíbrio no balanço do incremento do custo para atender o incremento de demanda, como preceitua o custo marginal de expansão.

#### 5.4.3 CIMLPA-t – Custo Incremental Médio de Longo Prazo Ajustado – Capacidade Residual das Instalações Avaliadas com Critério Técnico

Esta metodologia busca ajustar o cálculo do custo marginal de expansão com base na avaliação da parcela do investimento vinculada a efetiva utilização das instalações no período de estudo, fundamentando-se num critério técnico.

Um sistema é considerado adaptado quando sua capacidade ótima de produção é igual à demanda do sistema. Logo, não há excesso de capacidade nem produção reprimida, portanto um aumento de demanda solicitada  $\Delta P$  acarreta sempre um acréscimo de investimentos  $\Delta I$ .

A fundamentação desta metodologia reside no fato de que os custos marginais devem considerar apenas o investimento adicional para suprir o acréscimo de demanda para um sistema adaptado. Assim, a ociosidade das novas instalações pode ser determinada em função de sua capacidade e da máxima demanda que lhe é requerida no final do período de análise abrangido pelo planejamento. Note que um critério alternativo de avaliar o fator de ociosidade seria considerar a demanda máxima que ocorre durante o período de estudo ao invés a demanda máxima no final do período como é adotado nesta proposta metodológica. Desta forma, o fator de ociosidade das instalações pode ser avaliado por:

$$F_{0t} = \left[ 1 - \frac{D_{\max}}{C_{\max}} \right] \quad (13)$$

Onde:

- $D_{\max}$  – representa a demanda máxima no final do período de estudo;
- $C_{\max}$  – representa o carregamento máximo admitido na instalação;
- $F_{0t}$  – fator de ociosidade do conjunto de obras agregadas ao sistema no ano  $t$ ;

Analogamente ao abordado no método do CIMLPA-f, ao se contemplar somente uma fração do investimento na determinação do custo marginal de expansão relativo ao período em estudo, implicitamente, é necessário considerar que o montante residual deva ser amortizado nos anos subsequentes ao horizonte. Entretanto, o ônus financeiro (remuneração do capital) da antecipação da instalação dessa capacidade residual deve recair sobre o período de planejamento em estudo, oferecendo para a data inicial do período seguinte apenas o custo residual em valor atual, ou seja:

$$OFA = \left( \frac{(1+i)^{(H-t+1)} - 1}{(1+i)^{(H-t+1)}} \right) \cdot F_{0t} \cdot C_{\max} \cdot \Delta I_t \quad (14)$$

Onde:

OFA – Ônus Financeiro da Antecipação

Segue que a expressão geral do método do custo incremental médio de longo prazo ajustado com critério técnico, CIMLPA-t, é dada por:

$$CIMLPA_{-t} = \frac{VRI + OFA + \sum_{t=1}^H \Delta I_t \cdot (1 - F_{0t}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^H \frac{\Delta P_t}{(1+i)^t}} \quad (15)$$

#### 5.4.4 Inserção da Elasticidade como Parâmetro Influente do Custo Marginal

O custo marginal de expansão é um fator muito importante para a determinação da tarifa de energia. Por outro lado, a disposição do consumidor em pagar pelo produto oferecido pelo serviço público de distribuição de energia elétrica é regida pelas leis e regras da microeconomia, incluindo a curva de demanda e o conceito de elasticidade.

Assim, conforme o impacto do valor do custo marginal na tarifa, o comportamento do consumidor o induzirá a aumentar ou diminuir o consumo, de modo a afetar a demanda e, em consequência, o plano de obras requerido, o que por fim determinará um novo patamar de tarifa, realimentando o processo até que haja a convergência.

Aos modelos de cálculo do custo marginal de expansão propostos para o segmento de distribuição, LQOP, CIMLPA-f e CIMLP-t deve ser integrado o procedimento apresentado neste tópico, que trata da inserção da elasticidade preço da demanda de energia elétrica como parâmetro influente nesta determinação.

A integração desse modelo se faz por meio da consideração do procedimento apresentado no diagrama da figura 2, onde se observa um processo iterativo na determinação do custo marginal de expansão, que tem a elasticidade preço da demanda como um dos parâmetros influentes.

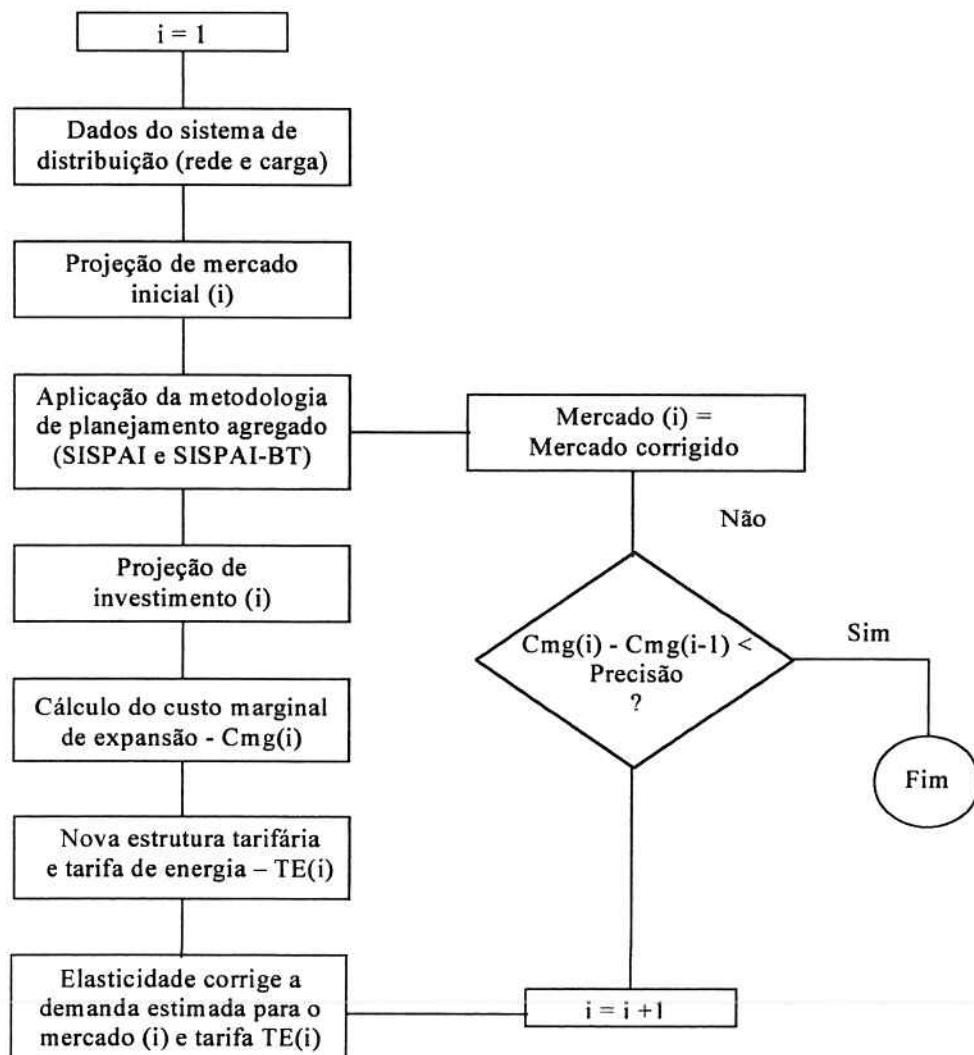


Figura 2: Modelo de avaliação da elasticidade preço da demanda como parâmetro influente do custo marginal

## 6. APLICAÇÕES PRÁTICAS

### 6.1 Introdução

Neste item são apresentados exemplos de aplicação das metodologias propostas, tratando de uma rede de distribuição fundamentada em dados reais de uma empresa de distribuição de energia elétrica brasileira.

As metodologias propostas são comparadas com os resultados obtidos a partir metodologia clássica do CIMLP. Para tanto é considerado um sistema de distribuição denominado Concessionária I, constituído por 40 subestações AT/MT que atende uma rede de 300 alimentadores de média tensão.

Nos exemplos deste item optou-se por desconsiderar o custo associado à capacidade disponível do sistema, ou seja, considerou-se que o sistema atual, em referência ao cálculo do custo marginal de expansão, está totalmente amortizado.

### 6.2 Influência da Elasticidade Preço da Demanda

Admitindo-se um único preço médio e utilizando-se a demanda como variável dependente no lugar do consumo, resulta a expressão:

$$D_{max} = k \cdot T^e \quad (16)$$

Na expressão (16),  $k$  representa uma constante,  $T$  a tarifa média de energia da concessionária, e a constante  $e$  a elasticidade preço da demanda.

São considerados os seguintes dados:

- Elasticidade preço da demanda = -0,75;
- Desvio máximo para convergência do processo iterativo: 0,5%.

No processo iterativo, admite-se que a estrutura tarifária atual da Concessionária I é tal que dado um determinado valor de custo marginal de expansão, obtido após as simulações do Programa SISPAI, a correspondente variação percentual do preço médio da energia é dada pela seguinte equação:

$$\Delta Pen (\%) = (0,653 \cdot Cmg) - 20,78 \quad (17)$$

Onde:

- |          |   |
|----------|---|
| Cmg      | - Custo marginal de expansão;   |
| ΔPen (%) | - Variação percentual do preço da energia considerando a composição dos níveis MT e BT, em termos do preço da iteração "i" e da iteração "i+1". |

A tabela 3 ilustra os valores de custos marginais obtidos em cada iteração definida pela elasticidade preço da demanda, utilizando-se a metodologia clássica do CIMLP.

Tabela 3: Influência da elasticidade da demanda – Processo iterativo para avaliação do custo marginal

| Iteração | Δ de Preço (%) | Mercado Final (%) | Custo Marginal (R\$/kW.ano) | Desvio (%) |
|----------|----------------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1        | -              | 0                 | 35,29                       | -          |
| 2        | 7,08           | -5,00             | 36,18                       | 2,520      |
| 3        | 7,78           | -5,46             | 36,54                       | 0,995      |
| 4        | 8,06           | -5,64             | 36,76                       | 0,602      |
| 5        | 8,24           | -5,77             | 36,75                       | -0,027     |

Adotou-se um valor de referência de -0,75 para elasticidade preço da demanda o que pressupõe uma natureza inelástica da variação da demanda em relação à variação do preço [17], [18], [19].

A previsão de expansão do mercado inicial estabelecia uma taxa de crescimento da carga para o período de estudo estimada em 4,0% a.a.. O resultado inicial do planejamento, conforme pode ser observado na tabela 3, impôs um aumento do preço atual em cerca de 7,0% o que determinou uma redução do mercado.

Ao final do processo, a convergência se deu com um aumento de preço de cerca de 8,2%, uma redução do volume de investimentos em valor presente da ordem de 12,0%, uma redução do mercado de quase 6,0%

e uma taxa de crescimento média da carga de 3,3%, ou seja, uma redução de cerca de 17,0%. Como o custo marginal final resultou maior que o valor inicial, conclui-se que a redução da demanda prevaleceu em relação à correspondente redução dos investimentos, uma vez que o processo iterativo apresentou uma tendência de custos marginais crescentes.

O resultado final correspondente à iteração de convergência, relativo aos ajustes do crescimento da carga determinados pela elasticidade preço da demanda, é utilizado nos itens subsequentes.

### 6.3 Planejamento da Expansão

O custo marginal de expansão é calculado para a Concessionária I, a partir dos resultados obtidos das aplicações do planejamento agregado de investimentos. Assim, é apresentado o Plano de Investimentos referente ao sistema global da empresa, cobrindo um período de 10 anos., conforme ilustrado na tabela 4.

Tabela 4: Concessionária I - Investimentos obtidos e demanda passante

| Ano                       | Investimentos (1000 R\$) |               |       | Demandas (MW) |          |
|---------------------------|--------------------------|---------------|-------|---------------|----------|
|                           | Subestações              | Alimentadores | Total | Passante      | Variação |
| 1                         | 8846                     | 6273          | 15119 | 1394          | 44,4     |
| 2                         | 8237                     | 3495          | 11732 | 1440          | 45,6     |
| 3                         | 5181                     | 4074          | 9255  | 1487          | 47,2     |
| 4                         | 710                      | 3655          | 4364  | 1536          | 48,9     |
| 5                         | 1547                     | 3740          | 5287  | 1586          | 50,4     |
| 6                         | 710                      | 4345          | 5055  | 1639          | 52,2     |
| 7                         | 3549                     | 5078          | 8628  | 1693          | 54,1     |
| 8                         | 3167                     | 3902          | 7068  | 1749          | 55,9     |
| 9                         | 5533                     | 5518          | 11051 | 1806          | 57,7     |
| 10                        | 2777                     | 4294          | 7071  | 1866          | 59,7     |
| Total<br>(Valor Presente) | 26953                    | 25781         | 52734 | -             | 286,9    |

Na análise técnica da rede são considerados os seguintes critérios:

- Carregamento máximo de transformadores de subestações limitado em 100% da potência nominal, em condição normal de operação;
- Carregamento máximo de alimentadores limitado em 75% da capacidade nominal;
- Níveis de tensão dos alimentadores devem atender o disposto na Resolução N° 505 da ANEEL [21].

Os principais dados e hipóteses adotadas são apresentados a seguir:

- Taxa de remuneração do investimento: 15% a.a.;
- Taxa de depreciação no primeiro ano de análise: 5% a.a.;
- Taxa de anualização: 20% a.a. (taxa de remuneração + taxa de depreciação) (\*);
- Custo de perdas = 70 R\$/MWh;
- Custo da energia não distribuída = 2000 R\$/MWh;
- Volume orçamentário suficiente para proposição das obras que permitam a evolução do sistema com investimentos prudentes respeitando-se os critérios técnicos em todos os anos de estudo;
- Taxa de crescimento da carga prevista para o período: 4,0% a.a. e ajustada pela elasticidade preço da demanda em 3,32 %.

(\*) **Observação:** Não foi incluída a taxa de operação e manutenção do 1º ano na taxa de anualização, por se admitir que estas despesas constituem-se em encargos de custeio e não de investimentos.

Com os dados de investimentos e variações anuais da demanda máxima expostos na tabela 4 resultam os seguintes custos marginais de expansão:

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| CmgMed (Subestações)   | = 21,38 R\$/kW.ano |
| CmgMed (Alimentadores) | = 16,08 R\$/kW.ano |
| CmgMed (Total)         | = 37,46 R\$/kW.ano |

#### 6.4 Custos Marginais a partir das LQOP's

O planejamento agregado de investimentos do sistema de distribuição de média tensão da Concessionária I, cujos investimentos estão na tabela 4, resultou nos quantitativos de obras da tabela 5, a menos do ano 0 que corresponde ao sistema inicial indicando a demanda existente no final do ano anterior.

Tabela 5: Evolução das obras durante o período de planejamento

| Ano | Comprimento de Rede MT (km) | Quantidade de Postos AT/MT | Potência Instalada (MVA) | Demanda (MW) |
|-----|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
| 0   | 11018                       | 118                        | 2848                     | 1350         |
| 1   | 11270                       | 119                        | 2908                     | 1394         |
| 2   | 11415                       | 119                        | 3012                     | 1440         |
| 3   | 11549                       | 125                        | 3102                     | 1487         |
| 4   | 11704                       | 125                        | 3102                     | 1536         |
| 5   | 11861                       | 125                        | 3132                     | 1586         |
| 6   | 12035                       | 125                        | 3132                     | 1639         |
| 7   | 12228                       | 125                        | 3132                     | 1693         |
| 8   | 12387                       | 126                        | 3192                     | 1748         |
| 9   | 12593                       | 127                        | 3252                     | 1806         |
| 10  | 12754                       | 129                        | 3282                     | 1866         |

A partir dos dados expostos na tabela 5, são ajustadas as expressões de LQOP's mostradas na tabela 6.

Tabela 6: Evolução das obras durante o período de planejamento

| Agregado de Obra            | Parâmetro  | LQOP                      |
|-----------------------------|------------|---------------------------|
| Comprimento de Rede MT (km) | LQOP       | 467,8 $[D_{MT}]^{0,4389}$ |
|                             | Correlação | 0,9978                    |
| Quantidade de Postos AT/MT  | LQOP       | 20,17 $[D_{MT}]^{0,2463}$ |
|                             | Correlação | 0,8182                    |
| Potência Instalada (MVA)    | LQOP       | 186,0 $[D_{MT}]^{0,3816}$ |
|                             | Correlação | 0,8925                    |

A partir das equações correspondentes a cada LQOP são calculados os custos marginais de expansão (Cmg) da rede de média tensão e de seus componentes a partir da equação 5, que estão apresentados na Tabela 7. Para efeito de comparação das metodologias LQOP e CIMLP (referência) é necessário o cálculo do custo marginal m a partir dos custos marginais anuais resultantes da LQOP. Para tanto foi adotada a seguinte expressão:

$$CmgMed = \frac{\sum_{i=1}^H Cmg(i) \cdot \frac{1}{(1+a)^{i-1}}}{\sum_{i=1}^H \frac{1}{(1+a)^{i-1}}} \quad (18)$$

Onde:

CmgMed – Custo marginal de expansão médio do período (R\$/kW.ano)

Cmg(i) – Custo marginal de expansão relativo ao ano i (R\$/kW.ano)

I – Ano do período de planejamento

H – Horizonte de estudo (quantidade de anos de planejamento)

a – Taxa de atualização do capital

Tabela 7: Evolução das obras durante o período de planejamento

| Ano | Custos Marginais de Expansão (R\$/kW.ano) |                            |                          |       |
|-----|---|----------------------------|--------------------------|-------|
|     | Comprimento de Rede MT (km)               | Quantidade de Postos MT/BT | Potência Instalada (MVA) | Total |
| 1   | 17,97                                     | 11,01                      | 5,22                     | 34,20 |
| 2   | 17,65                                     | 10,75                      | 5,12                     | 33,52 |
| 3   | 17,33                                     | 10,49                      | 5,01                     | 32,83 |
| 4   | 17,02                                     | 10,24                      | 4,92                     | 32,18 |
| 5   | 16,71                                     | 9,99                       | 4,82                     | 31,52 |
| 6   | 16,42                                     | 9,75                       | 4,72                     | 30,89 |
| 7   | 16,12                                     | 9,52                       | 4,63                     | 30,27 |
| 8   | 15,82                                     | 9,28                       | 4,53                     | 29,63 |
| 9   | 15,54                                     | 9,06                       | 4,44                     | 29,04 |
| 10  | 15,26                                     | 8,84                       | 4,36                     | 28,46 |

A partir dos dados da tabela 7 e da equação (18) são determinados os custos marginais de expansão, por agregado de obra e total da Concessionária I.

$$\begin{aligned}
 \text{CmgMed (Comprimento MT)} &= 16,92 \text{ R\$/kW.ano} \\
 \text{CmgMed (Qte. de Postos AT/MT)} &= 10,17 \text{ R\$/kW.ano} \\
 \text{CmgMed (Potência Instalada AT/MT)} &= 4,88 \text{ R\$/kW.ano} \\
 \text{CmgMed (Total)} &= 31,97 \text{ R\$/kW.ano}
 \end{aligned}$$

## 6.5 Comentários Sobre a Aplicação das Metodologias LQOP e CIMLP

Da análise dos casos apresentados depreende-se que:

- Em princípio, os níveis de correlação verificados permitem concluir que o ajuste de curva é bom, o que oferece expectativa de resultados satisfatórios quanto a esse aspecto;
- Os resultados de investimentos nos anos iniciais são privilegiados nos cálculos do custo marginal tanto na CIMLP, devido à consideração do valor presente dos investimentos, como na LQOP, cujo valor médio é arbitrariamente calculado pela expressão 18 que também atenua os valores futuros;
- A ocorrência de investimentos elevados (ou baixos) nos anos iniciais diante dos valores referentes aos demais anos pressiona o resultado de custo marginal da LQOP para baixo (cima), diante do resultado da CIMLP. Isto ocorre porque a posição da curva da LQOP ajustada atenua os valores iniciais;
- indivisibilidade e porte dos investimentos referentes às obras de subestações podem introduzir um desvio substancial no ajuste da expressão de quantidade de obras de “Potência Instalada em Transformação” da LQOP, pois a usual descontinuidade e a alta intensidade de investimentos referentes a esse tipo de instalação ocasionalmente induzem a baixos graus de correlação;
- ao contrário do que ocorre com as subestações, para as obras de alimentadores a descontinuidade nos investimentos é muito pequena, resultando em bons níveis de correlação e em custos marginais de longo prazo semelhantes tanto para LQOP como para o CIMLP.

## 6.6 Aplicação da Metodologia do CIMLPA-f

Esta metodologia baseia-se na premissa que o investimento a ser considerado no cálculo do custo marginal corresponde à parcela de amortização da instalação no período de estudo, conjugada com uma parcela referente ao custo de utilização da capacidade disponível das instalações no ano inicial que não estão integralmente amortizadas.

Na tabela 8 apresenta-se os investimentos anuais pertencentes ao período de planejamento obtidos a partir das amortizações anuais resultantes da aplicação do método de “Sinking Fund”.

Tabela 8: Investimentos anuais obtidos a partir da metodologia do CIMLPA-f

| Investimentos Anuais (1000 R\$)   |              |               |              |
|-----------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Ano                               | Subestações  | Alimentadores | Total        |
| 1                                 | 6761         | 5030          | 11791        |
| 2                                 | 5986         | 2664          | 8650         |
| 3                                 | 3541         | 2920          | 6461         |
| 4                                 | 450          | 2429          | 2879         |
| 5                                 | 891          | 2261          | 3153         |
| 6                                 | 362          | 2327          | 2689         |
| 7                                 | 1543         | 2316          | 3860         |
| 8                                 | 1101         | 1423          | 2524         |
| 9                                 | 1370         | 1433          | 2803         |
| 10                                | 368          | 597           | 964          |
| <b>Total<br/>(Valor Presente)</b> | <b>17263</b> | <b>15776</b>  | <b>33039</b> |

A partir dos dados de investimentos anuais expostos na tabela 9 e das variações anuais de demanda expostas na tabela 4 resultam os seguintes custos marginais de expansão:

$$\begin{aligned}
 \text{CmgMed (Subestações)} &= 11,89 \text{ R\$/kW.ano} \\
 \text{CmgMed (Alimentadores)} &= 11,00 \text{ R\$/kW.ano} \\
 \text{CmgMed (Total)} &= 22,89 \text{ R\$/kW.ano}
 \end{aligned}$$

#### 6.7 Aplicação da Metodologia do CIMLPA-t

O princípio básico deste método é o de considerar apenas a parcela do investimento referente a efetiva utilização das obras agregadas anualmente ao sistema, calcado num critério técnico referente ao carregamento máximo das instalações durante o período de planejamento.

Logo, a partir do carregamento máximo projetado para a instalação durante o período de estudo, estima-se a ociosidade correspondente em relação à capacidade nominal e avalia-se a parcela influente do investimento. Considera-se ainda, o ônus financeiro da antecipação que deve ser agregado a esta parcela de investimento conforme procedimento descrito no item 5.4.3.

A tabela 9 apresenta os investimentos anuais e fatores de ociosidade (em relação ao carregamento máximo verificado durante o período de estudo) das respectivas obras propostas.

Tabela 9 – Investimentos anuais e fatores de ociosidade

| Ano                               | Investimentos Anuais (Globais) |               |              | Fatores de Ociosidade (pu) |               |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|--------------|----------------------------|---------------|
|                                   | Subestações                    | Alimentadores | Total        | Subestações                | Alimentadores |
| 1                                 | 8232                           | 5882          | 14114        | 0,2808                     | 0,2521        |
| 2                                 | 7617                           | 3270          | 10997        | 0,2646                     | 0,2264        |
| 3                                 | 4601                           | 3812          | 8618         | 0,3427                     | 0,1968        |
| 4                                 | 591                            | 3349          | 4086         | 0,4440                     | 0,2223        |
| 5                                 | 1353                           | 3384          | 4972         | 0,2901                     | 0,2201        |
| 6                                 | 554                            | 3930          | 4771         | 0,4418                     | 0,1920        |
| 7                                 | 2666                           | 4595          | 8037         | 0,4354                     | 0,1664        |
| 8                                 | 2444                           | 3339          | 6585         | 0,3469                     | 0,2195        |
| 9                                 | 3603                           | 4862          | 10205        | 0,4613                     | 0,1572        |
| 10                                | 2095                           | 3530          | 6660         | 0,2824                     | 0,2047        |
| <b>Total<br/>(Valor Presente)</b> | <b>23616</b>                   | <b>23533</b>  | <b>47149</b> | -                          | -             |

A partir dos dados de investimentos expostos nesta tabela e das variações anuais de demanda expostas na tabela 9.2 resultam os seguintes custos marginais de expansão:

|                         |   |                  |
|-------------------------|---|------------------|
| CmgMed (Subestações)    | = | 16,46 R\$/kW.ano |
| CmgMed (Alimentadores)  | = | 16,41 R\$/kW.ano |
| CmgMed (Nível MT Total) | = | 32,87 R\$/kW.ano |

### 6.8 Comentários Sobre a Aplicação da Metodologia do CIMLPA

Na metodologia do CIMLPA há, implicitamente, uma ociosidade de utilização dos equipamentos no período analisado, vinculado às economias de escalas verificadas, dado que as obras são constituídas por equipamentos padronizados que introduzem aspectos de descontinuidade nos investimentos propostos.

A aplicação direta destes métodos busca minorar este aspecto por meio da avaliação da fração do investimento que se vincula a efetiva utilização das instalações.

O valor presente do montante total de investimentos resultante da aplicação clássica da metodologia do CIMLP é de kR\$ 52734,00; do CIMLPA-f de kR\$ 33039,00 (tabela 9), e do método do CIMLPA-t de kR\$ 49274,00 (tabela 10), ou seja, uma redução de cerca de 37% e 7,0%, respectivamente, tomando-se a simulação do CIMLP clássico como referência.

Em relação a metodologia do CIMLPA-f, esta diferença é explicada pelo fato de que quando se despreza o nível de ociosidade das instalações no ano inicial, conforme hipótese adotada, a amortização dos investimentos a partir da aplicação do método de “Sinking Fund” considera um período de vida útil muito superior ao de planejamento. Este aspecto propicia uma redução efetiva dos investimentos referentes às obras novas agregadas ao sistema, principalmente aqueles vinculados aos anos finais de estudo.

Quanto ao método do CIMLPA-t, observou-se uma considerável ociosidade do sistema durante o período de estudo ocasionada pelos seguintes aspectos:

- Crescimento moderado do mercado;
- Volume de obras expressivo nos anos finais do período;
- Sistema com razoável ociosidade (cerca de 60,0%) no início do período de planejamento.

## 7. Conclusões e Comentários Finais

### 7.1 Considerações Gerais

O problema central do cálculo do custo marginal de expansão está intrinsecamente associado a exigência de seu conceito, onde se busca o incremento de investimento para atender um determinado incremento de demanda, num ambiente onde o passo de aumento de demanda é geralmente muito menor que o passo da oferta de instalação, principalmente devido a economia de escala decorrente da indivisibilidade das obras.

Além disso, há a grande incerteza financeira, sobretudo nos países em desenvolvimento como o Brasil, onde as taxas de atualização do capital ficam a mercê de humores do mercado e crises internacionais.

Completando esse ambiente de incertezas, também o crescimento da demanda de energia elétrica é uma variável de determinação difícil com imprecisões inerentes ao conturbado e vigoroso quadro sócio econômico dos países em desenvolvimento.

Assim sendo, a questão do cálculo do custo marginal de expansão se depara com o desafio de expressar um complexo e multidisciplinar fenômeno concreto por meio de modelagem matemática suficientemente simples para tornar sua aplicação viável nas áreas técnicas das concessionárias de distribuição de energia.

### 7.2 Propostas Metodológicas Alternativas

As propostas metodológicas para o cálculo do custo marginal apresentadas neste artigo fundamentam-se nas duas linhas de desenvolvimento contempladas no item 5, buscando preservar aspectos positivos de cada uma e introduzindo novas abordagens para minimizar as restrições de aplicação.

A formulação dessas propostas considera as seguintes premissas:

- Tendência prospectiva de crescimento de carga horizontal e vertical;
- Níveis de qualidade de fornecimento de energia previstos;
- Possibilidade de desagregar resultados de diversas regiões e nível de tensão;

- Obras de expansão determinadas por meio de planejamento otimizado;
- Riscos e incertezas inerentes das previsões de taxa de atualização de capital e do crescimento do mercado;
- Influência da elasticidade demanda - custo marginal.

#### 7.4 Contribuições desta Pesquisa

Os principais aspectos que consistem em contribuições acadêmicas e técnicas resultantes deste trabalho de pesquisa são as reflexões e as soluções que as propostas metodológicas formuladas encerram, destacando-se:

- A modelagem, ainda que simplificada, da influência da elasticidade preço da demanda na determinação do custo marginal de expansão possibilitando importante percepção do impacto da resposta do mercado aos investimentos de expansão em sistemas de distribuição;
- A introdução da consideração de níveis de qualidade de fornecimento de energia previstos no cálculo do custo marginal por funções que expressam o desenvolvimento da quantidade de obras, pela LQOP;
- A consideração da tendência prospectiva de crescimento de carga horizontal e vertical no cálculo do custo marginal por funções que expressam o desenvolvimento da quantidade de obras, pela LQOP;
- Possibilidade de desagregar resultados de diversas regiões e níveis de tensão no cálculo do custo marginal por funções que expressam o desenvolvimento da quantidade de obras, pela LQOP;
- Formas alternativas de solução para a questão da ociosidade de instalações resultantes da indivisibilidade das obras, no método CIMLPA;
- A consideração de riscos e incertezas envolvidos no processo de cálculo do custo marginal resultante das possibilidades de utilização, nas novas propostas metodológicas, dos modelos de cenários pertinentes ao planejamento agregado de investimentos;
- Aperfeiçoamento da utilização do planejamento agregado de investimentos para o cálculo de custo marginal de expansão, permitindo a desagregação de resultados.

### 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Albouy, Y. – **Analisis de costos marginales y diseño de tarifas de eletricidad y agua.** Notas de metodología publicadas pelo BIRD, 1983.
- [2] Rocha, M. C. – **Custo Marginal de Redes Subtransmissão / Distribuição – Relatório 2,** ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 1983.
- [3] ELETROBRÁS – **Nova Tarifa de Energia Elétrica,** DNAEE. ELETROBRÁS – Empresas Concessionárias de Energia Elétrica, Brasília, Brasil 1985.
- [4] Gouvea, M. R. - **Bases Conceituais para o Planejamento de Investimentos em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** Tese de Doutoramento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
- [5] Kagan, N. - **Planejamento de Redes de Distribuição Secundária – Uma Modelagem por Programação Dinâmica.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1988.
- [6] Antunes, A. U. - **Metodologia para Planejamento Agregado de Investimentos em Redes de Distribuição Secundárias.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- [7] Cooper's & Lybrand, **Relatório da Consultora para o Brasil, Paper B4 e B9,** SEM/ELETROBRÁS, julho de 1997.
- [8] ABRADEE - **Conceituação, Análise e Importância dos Custos Marginais.** Relatório ABRADEE, 19.36, 2001.

- [9] ABRADEE - **Conceituação e Análise de Custos de Produção e Transmissão de Energia Elétrica e Aplicação para as Redes de Distribuição.** Relatório ABRADEE, 19.37, 2001.
- [10] ABRADEE - **Conceituação e Análise da Dinâmica de Expansão do Mercado.** Relatório ABRADEE, 19.38, 2002.
- [11] ABRADEE - **Análise Crítica da Metodologia das Leis de Quantidade de Obras.** Relatório ABRADEE, 19.39, 2002.
- [12] ABRADEE - **Especificação de Modelos para o Cálculo de Custos Marginais de Expansão das Redes de Distribuição.** Relatório ABRADEE, 19.40, 2002.
- [13] ABRADEE - **Quantificação Econômica de Insumos com o Estabelecimento de Agregados de Obra, Custos Unitários e Custos das Perdas Técnicas.** Relatório ABRADEE, 19.41, 2002.
- [14] ABRADEE - **Quantificação Econômica de Insumos Sobre os Custos da Interrupção e da Imperfeição da Tensão.** Relatório ABRADEE, 19.42, 2002.
- [15] ABRADEE - **Especificação do Modelo de Planejamento Agregado de Investimentos em Redes de Baixa Tensão.** Relatório ABRADEE, 19.43, 2002.
- [16] ABRADEE - **Sistematização de Cálculo dos Custos Marginais de Expansão de Redes de Distribuição Utilizando os Modelos de Planejamento Agregado de Investimentos.** Relatório ABRADEE, 19.44, 2002.
- [17] Andrade, T. A.; Lobão, W. J. A. – **Elasticidade Renda e Preço da Demanda Residencial de Energia Elétrica no Brasil.** Texto para Discussão Nº 489, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, junho de 1997.
- [18] Fernandez, J. C. – **A Política de Tarifação Social Ótima para a Energia Elétrica,** Fórum Banco do Nordeste de Desenvolvimento – VII Encontro Regional de Economia da ANPEC, 2001.
- [19] Werneck, R. L. F. – **Tarifação de Energia Elétrica e Perspectiva de Excesso de Demanda.** Texto para Discussão Nº 440, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Novembro de 2000.
- [20] Equipe de Professores da USP – **Manual de Economia.** Editora Saraiva, 1998.
- [21] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – **Resolução Normativa 024/2000.**
- [22] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **Resolução Normativa 505/2001.**

## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas – CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abrigadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÓES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENGER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Faltas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENGER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHA, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferroviários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHA
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaios para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CICERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodoviária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIUS CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELLICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Freqüência de Ocorrência de Sobretensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS RÓMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Freqüência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Freqüência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Faltas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abrigadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surtos em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUÍS LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressônância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Enérgico – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUIZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Design a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SÍLVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENGER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SILVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoelétricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VÍTOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÉA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURANAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Freqüências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos – HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – A Escola Rural sem Luz em São Paulo - OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Faltas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENGER

- BT/PEA/0118 – Proposta de Acionamento Microprocessado para Empilhadeira Elétrica – MARCO AURÉLIO VILELA DE OLIVEIRA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0119 – Técnicas “Anti-Windup” – LUIZ AUGUSTO PEREIRA FERNANDES, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0120 – Regulador de Tensão de Gerador – HERALDO SILVEIRA BARBUY, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0121 – Eficiência Operativa e Confiabilidade de Equipamentos Associados à Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – REINALDO BURIAN, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0122 – Cálculo de Forças sobre Ímãs Permanentes: Uma Análise do Problema 23 do Team Workshop – HÉLIO JOSÉ DAMANTE, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0123 – Análise de Guias de Ondas Ópticos pelo Método dos Elementos Finitos – MARCOS A. R. FRANCO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0124 – Transient Induced Voltage Computation in a High Building Struck by Lightning – CARLOS A. F. SARTORI, A. ORLANDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0125 – Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição – ANDRÉ MÉFFE, CARLOS CÉSAR BARIONI DE OLIVEIRA
- BT/PEA/0126 – Calculo da Distribuição da Corrente de Falta em Sistemas de Aterramento de Redes Primárias – GILBERTO DE MAGALHÃES FALCOSKI, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0127 – Acionamento de Velocidade Variável Utilizando Motores de Corrente Alternada Assíncronos – JOSÉ ALBERTO MARQUES, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0201 – Unified Power Quality Conditioner with Energy Storing Module for Medium Voltage Adjustable Speed Drive – VALBERTO FERREIRA DA SILVA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0202 – Simulação de Marcha de Composição Ferroviária Acionada por Motores de Indução e PWM – CASSIANO LOBO PIRES, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0203 – Conservação de Energia Elétrica em Edificações Comerciais: Sistemas de Ar Condicionado com Central de Água Gelada – TEODORO MONGE DE AMORIM FILHO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0204 – Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – FERDINANDO CRISPINO, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0205 – Previsão de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais – JORGE YASUOKA, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0206 – Correção de Distorções Harmônicas, em Sistemas Industriais, Através de Filtros Passivos - ANTONIO PESTANA NETO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0207 – Proposta de Metodologia para Controle da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a Partir da Segmentação do Mercado Consumidor em Famílias de Redes Elétricas – RODOLFO COLI DA CUNHA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0208 – Modelagens das Funções de uma Subestação Automatizada Empregando Modelos Orientados a Objetos – MILTHON SERNA SILVA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR
- BT/PEA/0209 – Automação de Instalações Elétricas Prediais Através da Internet – ROBSON REBOUÇAS CARDOSO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JUNIOR
- BT/PEA/0210 – Identificação Automática de Vagões na Área Portuária: Uma Solução com Análise de Imagens – EDUARDO MANTOVANI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0211 – Concepção de Sistema de Supervisão e Controle no Processo de Descarga Rodoviária em Terminais Portuários Utilizando Identificadores Automáticos de Veículos – ROGÉRIO COSTA DE OLIVEIRA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0212 – Metodologia para Análise de Perda de Vida Útil de Transformadores, Alimentando Cargas não Lineares – ARLINDO GARCIA FILHO, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0213 – Sistema de Automação para Gestão do Carregamento de Transformadores Baseado na Confiabilidade – JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0214 – A Conservação, Considerando Aspectos Relacionados à Qualidade de Energia Elétrica na Indústria Têxtil: Estudo de Caso – MÁRCIO CÉSAR GIACCO RAMOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0215 – Cálculo de Parâmetros Operacionais de Desempenho de Redes Primárias de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANA MARÍA GARCÍA CABEZAS, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0216 – Análise Dinâmica de um Motor de Indução Linear pelo Método dos Elementos Finitos – EDUARDO FERREIRA DA SILVA, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0217 – Reômetro Rotativo de Taxa de Cisalhamento Imposta Acionado por Motor de Passo – SAMUEL E. DE LUCENA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0218 – Acionamentos com Motores Brushless para Sistemas de Ventilação de Emergência – RENATO DE ALMEIDA PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0219 – Retificador Trifásico de Alta Eficiência para Tochas de Plasma – MARIO GONÇALVES GARCIA JÚNIOR, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR

- BT/PEA/0220 – Impacto de Modelos de Mercado Espacial no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia – MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0221 – Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – FRANCISCO COSTA SARAIVA FILHO, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/0222 – Análise Preditiva de Defeitos em Motores de Indução Trifásicos Utilizando a Corrente de Alimentação – JOSÉ DANIEL SOARES BERNARDO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0223 – Cálculo de Iluminação Auxiliado por Computadores – NESTOR CÂNDIDO FERREIRA SEGUNDO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0224 – Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída – JAMEA CRISTINA BATISTA SILVA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0301 – Algoritmo Digital para a Proteção da Interligação Concessionária – Indústria Operando em Sistemas de Cogeração – FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO, EDUARDO C. SENGER
- BT/PEA/0302 – Dimensionamento da Infra-Estrutura para Automação de Terminais de Granéis Sólidos – FABIO DEL PAPA, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0203 – Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração – RICARDO SHEIGI ABE, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0304 – Applying Object-Oriented Technology to Project Hydroelectric Power Plant SCADA Systems – CARLOS ALBERTO VILLACORTA CARDOSO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0305 – Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica – JOSÉ JULIO DE ALMEIDA LINS LEITÃO, LINEI BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0306 – Fault Location in Transmission Lines Using One Terminal Post Fault Voltage Data – CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0307 – Impactos da Aplicação de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Habitações de Baixa Renda no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – LUIS VENTURA CASTELLS PEÑA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0308 – Análise e Melhoria do Controle Automático de Concentração de uma Planta de Ácido Nitrico Diluído – ELCIO RODRIGUES ARANHA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0309 – Criação de Valor na Avaliação de Projetos Termelétricos sob Condições de Risco no Mercado Brasileiro de Energia Elétrica – WAGNER DA SILVA LIMA, DOREL SOARES RAMOS
- BT/PEA/0310 – Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico como Instrumento de Apoio a Regulação da Energia Elétrica – LUIZ MARIO TORTORELLO, MARCOS ROBERTO GOUVÉA
- BT/PEA/0311 – Analise de Transientes em Motor de Indução Modelo ABC/abc Aplicado ao Modelamento e Simulação de Soft-Starters - LUIS CARLOS RIBEIRO DOS SANTOS – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0312 – Modelamento Matemático e Análise do Funcionamento do Acionamento para Motores de Anéis em Cadeia Sub-Síncrona – SÉRGIO LUIZ VOLPIANO – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0313 – Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências Eletromagnéticas em Veículos Automotores – GLÁUCIO SANTOS – CARLOS ANTONIO FRANÇA SARTORI
- BT/PEA/0314 – Contribuição a Aplicação das Wavelets na Eletrostática – ALDO ARTUR BELARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0315 – Avaliação Ponderada da Hidreletricidade e Termeletricidade Através dos Custos Completos – JULIO HENRIQUE BOARATI, MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA
- BT/PEA/0401 - Previsão Espacial de Carga em Sistemas de Distribuição Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial e Plataforma GIS – FRANZ HENRY PEREYRA ZAMORA, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0402 – Modeling of Impulse Stressed Distribution Transformer Winding Oriented to Maintenance Purposes – PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0403 – Sistema para o Gerenciamento de Imóveis e Ocupação das Faixas de Linhas de Transmissão Utilizando Dados Georreferenciados e de Sensoriamento Remoto – MAURICIO GEORGE MIGUEL JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0404 – Proposta de Novas Topologias de Conversores “C-DUMP” para o Acionamento de Motores e Geradores de Relutância Chaveados – WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0405 – Proposta de Aplicação de Motor de Indução Linear Tubular na Extração de Petróleo – BERNARDO PINHEIRO DE ALVARENGA, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0406 – Aplicação da Automação Elétrica no Controle de Temperatura de Grandes Edifícios – MARLENE DA SILVA BOSCATTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0407 – Metodologia de Segurança para Intercâmbio Eletrônico de Documentos Aplicado ao Sistema Portuário Brasileiro – LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0408 – Proposta de um Novo Protocolo de Comunicação para a Saída Serial de Usuário de Medidores de Energia Elétrica – ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0409 – Estimação de Estado da Rede Durante Variações de Tensão de Curta Duração para o Monitoramento de Qualidade de Energia Elétrica – TANIA PAOLA LEDESMA ARANGO, NELSON KAGAN

- BT/PEA/0410 – Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para a Proteção de Distância de Linhas de Transmissão – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/0411 – Modelo Computacional do Sistema de Conversão de Energia Eólica Equipado com Gerador de Indução – MARCELO MORAES, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0412 – Proteção de Planta Termoelétrica Operando em Co-Geração – ANTONIO CARLOS MOSCARDI, JOSÉ AQUILES BAESSO GRIMONI
- BT/PEA/0413 – Compensação de Desequilíbrios de Carga Empregando Conversor Estático Operando com Modulação em Largura de Pulso – RODRIGO CUTRI, LOURENÇO MATAKAS JUNIOR
- BT/PEA/0414 – Probabilistic Model of Feasibility for Distributed Generation in a Competitive Environment – EDSON MARQUES FLORES, MARCOS ROBERTO GOUVEA
- BT/PEA/0415 – Modelamento e Simulação da Máquina Síncrona em Programas de Transitórios Eletromagnéticos – LILIANA PATRICIA JAIMES ROJAS, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0416 - Steady-State Analysis of the Unified Power Flow Controller (UPFC) and its Capability in Modifying the Transmittable Power - RICARDO LEON VASQUEZ ARNEZ, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0417 – Proposição e Implementação do Modelo de Troca Eletrônica de Dados para o Sistema Portuário Brasileiro – ANDRÉA LUCIA BRAGA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0418 – Simulação da Geração de Energia Eólica com Gerador Assíncrono na Rede da Enersul – FABIO GALIZIA DE CAMPOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO
- BT/PEA/0419 – Desenvolvimento de Sistema para Estudo de Tensões Induzidas em Linhas de Média Tensão por Descargas Atmosféricas – THAÍS OHARA DE CARVALHO, ALEXANDRE PIANTINI
- BT/PEA/0420 – Modelo de Integração de Recursos como Instrumento para um Planejamento Energético Sustentável – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0421 - Modelos Estatísticos na Otimização de Equipamentos Eletromecânicos - CARINA ALEXANDRA RONDINI MARRETTO, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0422 - Sobretenções em Redes de Baixa Tensão Causadas por Descargas Atmosféricas Indiretas – ACÁCIO SILVA NETO, ALEXANDRE PIANTINI
- BT/PEA/0423 – O Racionamento de Energia Elétrica Ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 e seus Efeitos com Ênfase no Consumo de Energia Elétrica – CESAR ENDRIGO ALVES BARDELIN, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0424 – Algoritmos Genéticos e Variantes na Solução de Problemas de Configuração de Redes de Distribuição – EDUARDO PREVEDELLO BENTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0425 – Retificador Trifásico com Elevado Fator de Potência – ALISSON DIAS JUNQUEIRA, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR