



SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GCQ - 27
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO XIII
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE
ENERGIA - GCQ**

**ANÁLISE E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA QUALIDADE
DE ENERGIA ELÉTRICA NO CUSTO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

**Miguel O. B. C. Melo (*) Dr. Guilherme A. Cavalcanti
Universidade Federal da Paraíba**

RESUMO

O trabalho tem por objetivo propor uma nova metodologia de avaliação da qualidade de energia elétrica fornecida às indústrias com ênfase em áreas do Nordeste do Brasil. Nesta nova metodologia serão analisados e definidos novos indicadores de energia elétrica além dos já utilizados pelo setor e proposto um novo modelo para gestão da energia fornecida às indústrias regionais.

Estes novos indicadores, denominados de Índices de Custos Associados (ICA), avaliarão os prejuízos da interrupção permanente ou transitória de energia através da captação dos custos diretos industriais, levando-se em consideração os diversos custos fixos e variáveis devido às interrupções e características das indústrias do Nordeste.

PALAVRAS-CHAVE

Custos da Qualidade de Energia, Economia Industrial, Desenvolvimento Industrial.

1.0 - INTRODUÇÃO

A qualidade do fornecimento de energia elétrica tem ocupado cada vez mais importância tanto para as empresas geradoras e distribuidoras quanto para os consumidores dessa energia. Uma interrupção no fornecimento de energia elétrica pode causar muitos prejuízos e transtornos aos consumidores, como a perda de produtos manufaturados, negócios, sistemas de informações e outros. Esta preocupação tem se tornado mais evidente devido a diversos fatores, entre os quais podemos enumerar os seguintes :

- O uso cada vez mais freqüente pelos consumidores industriais de equipamentos eletronicamente controlados e processos automatizados. A utilização dessa modernização do parque industrial brasileiro surgiu devido à necessidade de melhorar a produtividade e eficiência como forma de competir na economia globalizada. Por outro lado, observa-se que tais dispositivos são extremamente sensíveis e necessitam de energia com mais qualidade e com pequenas flutuações de freqüência e tensão.
- Os dispositivos e equipamentos que vêm sendo utilizados atualmente nos sistemas de transmissão são mais sensíveis às flutuações de energia do que os dispositivos utilizados nas décadas passadas. Alguns eventos

* Cidade Universitária (CT-Engenharia de Produção) João Pessoa- Paraíba - BRASIL
Caixa Postal 5045 CEP 58051-970 Tel.: (+83) 2167010 - e-mail: mobcmelo@terra.com.br

que no passado ocorriam nos sistemas de energia elétrica que não causavam efeitos, atualmente resultam em desligamentos dos equipamentos. Podemos citar os devidos a problemas de indução e de compatibilidade eletromagnética nas subestações entre outros.

- As mudanças ocorridas no perfil do mercado de energia devido às instalações nas últimas décadas de indústrias no Brasil que são consumidoras eletrointensivas. Essas características ocorreram principalmente na área de siderurgia e eletroquímica necessitando que as empresas de energia adotassem critérios técnicos a fim de que as perturbações que essas cargas possam introduzir nos sistemas de transmissão mantenham em níveis aceitáveis os outros consumidores.

No Brasil a mudança ocorrida no mercado é semelhante ao de diversos países como nos EUA, e tem sido agravado nos últimos anos à medida que as indústrias, em geral têm investido em automatização de seus sistemas produtivos, na busca de obter uma melhoria nos seus processos a fim de enfrentar a concorrência devido à globalização da economia. Ressalta-se que mesmo nos países industrializados, se observa a necessidade de se rever os critérios de gestão do mercado e da qualidade de energia. Esses tópicos também são de grande importância no atual contexto de mudanças em que passa o setor elétrico brasileiro onde a presença do estado será cada vez menor e conseqüentemente uma maior atuação do setor privado. Neste contexto a oferta de energia com boa qualidade será um dos fatores de competição entre as próprias concessionárias [1]-[6].

2.0 - OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo propor uma nova metodologia de avaliação da qualidade de energia elétrica fornecida às indústrias dentro das novas normas e procedimentos em função da reestruturação do setor elétrico brasileiro. Deverão ser definidos novos indicadores além dos já utilizados e proposto um novo modelo para gestão de energia elétrica. Neste modelo os procedimentos de gestão serão analisados a partir de um ponto de vista global dos sistemas elétricos entretanto com características e particularidades da região nordestina. Além de aspectos de continuidade do fornecimento deverão ser analisados aspectos de energia elétrica referentes à flutuação ou forma de tensão denominados “conformidade” [7]-[15].

Ressalta-se que energia elétrica de boa qualidade, é aquela que garante o funcionamento contínuo, seguro e adequado dos equipamentos elétricos e processos associados, sem afetar o meio ambiente e o bem estar das pessoas [16].

Esta nova metodologia deverá contemplar os seguintes aspectos :

- *Analisar o impacto da perda da qualidade de energia no custo da produção e mercado industrial definindo-se e quantificando-se o índice ICA (Índice dos Custos Associados).*
- *Elaborar uma nova Metodologia de Avaliação da Qualidade e do Mercado de Energia Elétrica que tenha características e particularidades das indústrias regionais a fim de subsidiar as distribuidoras locais na sua política empresarial para melhoria da gestão do mercado e da qualidade de energia elétrica.*

Verificar do ponto de vista do consumidor industrial a “Qualidade do Mercado Percebido” e sua posterior quantificação e mensuração deste índice de satisfação IQMP (Índice de Qualidade do Mercado Percebido).

3.0 - QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DEFINIÇÕES

Em um sistema elétrico trifásico ideal, as tensões em qualquer ponto deveriam ser, de forma permanente, perfeitamente senoidais, equilibradas, e com amplitude e frequência constantes. Qualquer desvio, acima de certos limites, na característica desses parâmetros é considerado um problema de qualidade de energia elétrica. Isto mostra que quando existe o problema, o que de fato ocorre é um desvio na forma de onda na tensão de alimentação. Portanto, a qualidade de energia elétrica, na maioria dos casos, poderia ser representada pela qualidade da tensão elétrica do ponto onde a carga está ligada. Como já existem normas para tensão, cujas características podem ser facilmente medidas, a “medição” da sua qualidade torna-se uma tarefa menos complicada. A seguir são apresentados os principais distúrbios de qualidade de energia [16]-[18].

1-Variações Sustentadas de Tensão	<i>Subtensão Sustentada Sobretensão Sustentada Interrupção Sustentada</i>
2-Variações Momentâneas de Tensão	<i>Interrupção Momentânea Sobretensão Momentânea Afundamentos Momentâneos</i>
3-Variações Instantâneas de Tensão	<i>Cortes de Tensão Transitórios Oscilatórios Surto de Tensão</i>
4-Variações Momentâneas de Frequência	<i>Flutuação de Tensão Desequilíbrio de Tensão</i>
5-Distúrbios Quase-Permanentes	<i>Distorção Harmônica Total Cintilação</i>

4.0 - PRINCIPAIS INDICADORES ELÉTRICOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA

A seguir são apresentados os principais indicadores elétricos de avaliação da qualidade de energia elétrica [16]-[18].

- Variações Sustentadas de Frequência (**ΔFs**)
- Variações Momentâneas de Frequência (**ΔFm**)
- Variações Sustentadas de Tensão

Índices de Continuidade

Frequência Equivalente de Interrupção (**FREQ**)
 Duração Equivalente de Interrupção (**DREQ**)
 Energia Interrompida (**ENES**)
 Frequência de Interrupção do Consumidor (**FIC**)
 Duração de Interrupção do Consumidor (**DIC**)

Índices de Conformidade

Frequência Equivalente de Violação de Tensão (**FEV**)
 Nível Equivalente de Violação de Tensão (**NEV**)
 Variação Equivalente de Violação de Tensão (**VEV**)

- Variações Momentâneas de Tensão (**VMT**)
- Níveis de Severidade de cintilação (**Pst, Plt**)
- Desequilíbrio de tensão (**K**)

5.0 - CUSTOS INDUSTRIAIS ASSOCIADOS À QUALIDADE DE ENERGIA

A análise utilizada para a determinação dos prejuízos industriais devido a qualidade da energia será feita através da captação dos custos diretos. Foram levados em conta os diversos tipos de custos fixos e variáveis com o número de interrupções e o seu tempo de duração. Foram definidos os seguintes custos industriais [19] :

- **Custos de Reparos (CR)**

Custos relativos aos reparos ou a compra de novos equipamentos danificados pela perda da qualidade de energia.

- **Custos de Produtos em Elaboração Estragados (CEE)**

Custo direto associado à perda de material durante o processo de manufatura.

- **Custos de Produtos Acabados Estragados (CAE)**

Custo direto associado à perda de material já fabricado ou em estoque.

- **Custo de Matéria Prima ou Produtos Primários Deteriorados (CMP)**

Custo direto associado à perda de matérias primas ou produtos primários, estocados.

- **Custos de Vendas não Realizadas (CV)**

Custo associado à perda de vendas que não foram feitas devido a interrupção da energia elétrica.

- **Custo da Proteção (CPR)**

Este custo se refere ao gasto que o consumidor industrial tem para se proteger da perda da qualidade de energia elétrica.

- **Custo de Geração Própria (CGP)**

Custo devido à geração de energia alternativa através de geradores de emergência, baterias etc. em caso de interrupção.

- **Custo de Perdas de Informações (CIN)**

Custo associado a perdas de informações guardadas em meio computadorizado decorrente de interrupção ocorrida. Esse custo é estimado pelo cálculo da reposição da informação.

- **Custo de Horas Extras (CHE)**

Custo associado à operação do estabelecimento, quando o seu horário normal de funcionamento é prolongado devido à falha da energia elétrica.

- **Custo de Retomada ou Reinício da Produção (CRP)**

Este custo refere-se aos gastos utilizados para se retomar o ritmo normal da produção no caso de ocorrência de uma interrupção. Inclui-se neste item os custos de preparo das máquinas, limpeza de resíduos, reposição de ferramentas, reprogramação da produção, estabelecimentos dos novos padrões.

- **Custo da Produção Perdida (CPP)**

Custo relativo a perda de produção (em valor) considerada irre recuperável, referindo-se aos produtos que estão sendo processados.

6.0 - METODOLOGIA

A nova metodologia para determinação da qualidade de energia elétrica se baseará além dos índices elétricos (quatorze indicadores) descritos nos itens anteriores, a inclusão dos índices econômicos. Estes novos indicadores avaliarão os prejuízos da interrupção permanente ou transitória de energia através da captação dos custos diretos levando-se em consideração os diversos custos fixos e variáveis devido às interrupções, definidos nos itens anteriores.

Quanto aos consumidores industriais deverão ser estratificados em diversas variáveis de análise como:

- Ramo de Atividade de Produção
- Porte
- Consumo de Energia
- Localização Geográfica
- Custo da Produção
- Receita Líquida Anual
- Lucro Líquido Anual e outras.

No que se refere à segmentação da cadeia de produção, as indústrias características do Nordeste deverão ser distribuídas nos seguintes tipos de atividades :

01-Têxtil	02- Mobiliário	03-Química	04--Agroindústria	05-Couro
06-Cerâmica	07-Papel	08-Calçados	09-Bebidas	10-Eletrônica
11-Extração mineral	12-Elétrica	13-Metalúrgica	14-Vestuário	15-Cimento
16-Vidro	17-Madeira	18-Siderúrgica	19-Mecânica	20-Confecção
21-Alimentos	22-Alumínio	23-Embalagens		

Deverão ser coletados dados junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico, Federações das Indústrias, Distribuidoras, Agências Reguladoras Estaduais e Federais (ANEEL) e governo dos Estados da região do Nordeste.

Na etapa de coletas de dados junto às indústrias, é proposto um levantamento através de entrevistas juntos aos consumidores industriais em alguns locais selecionados. Esta pesquisa “quantitativa” e qualitativa deverá ser realizada através da técnica da aplicação de questionários específicos com perguntas abertas e semifechadas e do tipo “estruturadas”, conforme recomendação seguir [20][21].

6.1 –Modelo Básico de Questionário

01-Nome da Indústria, Razão Social,

02-Endereço:

03-Nomes e Cargos dos Entrevistados:

04-Data da Aplicação da Entrevista:

05-Ramo de Atividade : _____

06-Produtos Principais de Fabricação:

07-Tipo de Sede da Indústria:

Matriz: _____ Filial: _____ Sede-Estado : _____

08-Número de Empregados:

▪ Próprio: _____ Terceiros: _____

09-Receita Anual Líquida:

10-Lucro Líquido Anual:

11-Localização Geográfica dos Fornecedores

Brasil _____% - Nomes dos Principais Estados : _____% _____% _____%

Exterior _____%

12-Composição da Energia Elétrica nos Custos da Produção Industrial (%):

Custo Direto da Produção : _____ Outros Custos : _____

13- A Empresa possui Equipamento Indicador de Descontinuidade de Energia?:

Não Sim Qual:

14- A Empresa possui Equipamento Indicador de Flutuação de Energia?:

Não Sim Qual:

15- A Empresa registra manualmente a Descontinuidade ou Flutuação de Energia ?

Não Sim

16-No Caso de Resposta Positiva nas Respostas Anteriores, Qual o Índice de Interrupção nos Últimos Doze Meses e o Tempo de cada Interrupção?

17-Na falta de Energia Elétrica a Empresa Possui Gerador de Emergência?

Não Sim Qual:

18-Na falta de Energia Elétrica a Empresa Possui Equipamento de Tipo “No-Break” de proteção aos Equipamentos de Informática ?

Não Sim Qual:

19-A partir de Qual Momento a Interrupção no Fornecimento de Energia Elétrica Representa Custos Diretos para a Empresa ?

- A partir da Interrupção
- A partir de alguns minutos (Quantificar) _____(min)

20- Em Caso de Interrupção ou Flutuação de Energia Elétrica qual o valor dos Custos Associados definidos abaixo na sua empresa (R\$)?

Obs:1. Nos últimos doze meses,

2. No caso de descontinuidade, definir o tempo de interrupção (min)

- ◆ Custos de Reparos (CR) R\$ _____
- ◆ Custos de Produtos em Elaboração Estragados (CEE) R\$ _____
- ◆ Custos de Produtos Acabados Estragados (CAE) R\$ _____
- ◆ Custo de Matéria Prima ou Produtos Primários Deteriorados (CMP) R\$ _____
- ◆ Custos de Vendas não Realizadas (CV) R\$ _____
- ◆ Custo da Proteção (CPR) R\$ _____
- ◆ Custo de Geração Própria (CGP) R\$ _____
- ◆ Custo de Perdas de Informações (CIN) R\$ _____
- ◆ Custo de Horas Extras (CHE) R\$ _____
- ◆ Custo de Retomada ou Reinício da Produção (CRP) R\$ _____
- ◆ Custo da Produção Perdida (CPP) R\$ _____

21- Como Se Definiria a Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a sua Indústria?

Ótimo Bom Regular Ruim Péssimo

22- A Sua Empresa estaria Disposta a Negociar uma Tarifa Diferenciada de Energia em Contrapartida do Fornecimento de Energia Elétrica ser de Alta Qualidade, e Superior aos Índices Normalizados pela ANEEL ?

SIM , Negociaria um valor de tarifa até ____ % superior a atual
NÃO

23- Descreva aqui algumas características e dados principais da empresa que não foram cobertas pelo questionário como :

- Dados dos Motores Elétricos Sistemas Eletrônicos: Características, Consumo, tipo, etc.,
- Sistema de Produção : Disposição e Tipos de máquinas especializadas, Máquinas com Sistemas de Programação Computadorizados, outros.
- Equipamentos de Automação Industrial: Robótica, Tipo e Inovação Tecnológica.
- Fornecimento da Energia Elétrica : Tipo de Subestação, Nível de Tensão, Equipamentos de Proteção e de chaveamento.

6.2- Avaliação dos Indicadores

Os resultados e os dados coletados serão armazenados num banco de dados onde serão calculados e realizados uns tratamentos estatísticos e em seguida quantificados, avaliados e calculados os seguintes Índices de Custos Associados (ICA)

1. *Índice de Custos de Reparos (ICR)*
2. *Índice de Custos de Produtos em Elaboração Estragados (ICEE)*
3. *Índice de Custos de Produtos Acabados Estragados (ICAE)*
4. *Índice de Custo de Matéria Prima ou Produtos Primários Deteriorados (ICMP)*
5. *Índice de Custos de Vendas não Realizadas (ICV)*
6. *Índice de Custo da Proteção (ICPR)*
7. *Índice de Custo de Geração Própria (ICGP)*
8. *Índice de Custo de Perdas de Informações (ICIN)*
9. *Índice de Custo de Horas Extras (ICHE)*
10. *Índice de Custo de Retomada da Produção (ICRP)*
11. *Índice de Custo da Produção Perdida (ICPP).*

7.0 - CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho são as seguintes :

- Com esses novos indicadores “econômicos” e adicionando-se os índices tradicionais “elétricos” de qualidade de energia elétrica se realizaria um diagnóstico e se elaboraria um mapa da região quantificando-se a qualidade do fornecimento da energia elétrica às indústrias. Esta metodologia também pode ser aplicada em outras regiões, necessitando adequações na classificação das indústrias e conteúdo do questionário.
- As empresas teriam um banco de dados com os indicadores de custos associados à qualidade de energia elétrica dos consumidores industriais.
- Esses dados seriam de grande utilidade para o sistema de gestão da qualidade e para o planejamento estratégico do mercado da empresa. Poderiam ser selecionadas e implantadas áreas com um alto nível de qualidade de energia, chamadas de “Ilhas de Qualidade”, onde poderiam ser instaladas empresas de alta tecnologia muito sensíveis a energia elétrica, e em contrapartida haveria uma tarifa diferenciada.
- Esses novos indicadores também subsidiam a empresa nos questionamentos jurídicos relativos ao mercado e fornecimento de energia aos consumidores industriais.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LEITÃO, José Júlio A, "Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica", São Paulo, 2002: Universidade de São Paulo, (Tese, Doutorado).
- (2) SICSÚ, A.; "Evolução do Paradigma Tecnológico Industrial e Novas Formas de Apoio às Organizações Industriais", II Encontro de Economistas de Língua Portuguesa , 1996, MPA-SUDENE, 2001..
- (3) SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R., "Administração da Produção", Ed Atlas, São Paulo, 1997.
- (4) MELO, Miguel O. B. C.; NAIDU, S. R.; FONSECA, L. "Análise da Qualidade de Energia Elétrica: Metodologia e Simulação dos Afundamentos Momentâneos de Tensão", *III ENEAT-III Encontro Nacional de Engenharia de Alta Tensão*, Campina Grande, 2000.
- (5) FONSECA, Luiz.; NAVARRO, A.; OLIVEIRA, P.; MUNIZ, F.; "Qualidade de Energia em uma Indústria Suprida por um Longo Sistema Radial : Uma Metodologia de Avaliação do Sag," *III SBQEE - Seminário Brasileiro em Qualidade de Energia Elétrica, Brasília*, 1999..
- (6) CAVALCANTI, Guilherme A., "O Nordeste do Brasil: Políticas Energéticas e Desenvolvimento Regional", Grenoble, França, 1985: Universidade de Ciências Sociais de Grenoble, (Tese, Doutorado em Economia).

- (7) ALVES, A.; SILVA, A.; LIMA, J.; BILLINTON, R.; "Avaliação dos Custos de Interrupção - Estado da Arte e Experiência Internacional", FUPAI-Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1999.
- (8) BONATTO, B.; MERTEUS, E.; FERNANDES, F.; "Diagnóstico da Qualidade de Energia Elétrica em Clientes Industriais," *III SBQEE*, Brasília, 1999.
- (9) BRASIL, Dalton.; KAGAN, N.; TAHAN, C.; GOUVEA, M.; "Qualidade de Potência – Aspectos Metodológicos e de Custos," *II SBQEE*, Itajubá, 1997..
- (10) GUEIROS, D.; BRONZEADO, H.; CAVALCANTI, T.; "Aspectos de Contratos de Fornecimento Diferenciados por Cláusulas Associadas à Qualidade de Energia Elétrica", *XV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz de Iguçu*, 1999.
- (11) KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. e outros, "Economia Industrial – Fundamentos Teóricos e Práticas no Brasil", Ed Campus, Rio de Janeiro, 2002
- (12) Manual de Referência da Qualidade de Energia Elétrica, Relatório CHESF, 1998.
- (13) MELO, Miguel O. B. C.; "Estudos para Determinação das Descargas Atmosféricas em Linhas de Transmissão Compactas de Alta Tensão", Recife, 1997 : Universidade Federal de Pernambuco, (Tese, Mestrado em Engenharia Elétrica).
- (14) MELO, Miguel O. B. C.; NAIDU, S. R.; FONTANA, E.; FONSECA, Luiz C. "Lightning Protection of Compact Lines"; *International Conference on Power Systems Transients - IPST*, Seattle-WA, USA, 1997.
- (15) PEREIRA, F.; OLIVEIRA, J.; SOUTO, C. ; VILAÇA A.; RIBEIRO, P.; "An Analysis of Costs Related to the Loss of Power Quality," *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Athens-Greece*, October 1998.
- (16) DIALYNAS, E.; KOSKOLOS N.; MEGALOCOMOS, S.; "Assessment of Power Interruption Costs for the Industrial Customers in Greece," *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Athens-Greece*, October 1998.
- (17) BRONZEADO, Herivelto. e outros; "Uma Proposta de Nomenclatura Nacional de Termos e Definições Associados à Qualidade de Energia Elétrica", *II SBQEE*, Itajubá, Brasil, Novembro 1997.
- (18) Manual de Referência da Qualidade de Energia Elétrica2, Relatório CHESF, 1998.
- (19) "Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica: Indicadores, Padrões e Penalidades Versão 2", Secretaria de Energia Comissão de Serviços Públicos de Energia, São Paulo, Julho 1997..
- (20) MAGALHÃES, Cecília; Gouvêa, M.; Silva, F.A.; Tahan, C.; Araújo, L.; "Custo da Interrupção do Fornecimento de Energia Elétrica", *IV SBQEE*, Porto Alegre, Brasil, Agosto 2001.
- (21) ROESCH, S.; "Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração", 2a edição Editora Atlas, São Paulo, 1999.
- (22) FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO-FUNDAJ; "Comportamento do Mercado Consumidor de Energia Elétrica em Face do Racionamento"; Projeto de Pesquisa e Relatório Final, Instituto de Pesquisas Sociais, Recife, 1991.