UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
USP
Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia
PIPGE
(EP/FEA/IEE/IF)

**“Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC)
como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no
Brasil”**

Cíntia Gonçalves Mendes da Silva

SÃO PAULO
2008

Cíntia Gonçalves Mendes da Silva

**“Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC)
como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no
Brasil”**

Dissertação apresentada ao Programa
Interunidades de Pós Graduação em
Energia da Universidade de São Paulo
(EP/FEA/IEE/IF) para a obtenção do título
de Mestre em Energia.

Orientação: Prof. Dr. Hédio Tatizawa

SÃO PAULO

2008

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Cíntia Gonçalves Mendes da.

Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil / orientador Hédio Tatizawa. – São Paulo, 2008.

105 p. : il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1.Qualidade de Energia 2.Compatibilidade Eletromagnética
3.Iluminação 4.Lâmpadas Compactas Fluorescentes I.Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

CÍNTIA GONÇALVES MENDES DA SILVA

“Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil”

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 20/02/2008 pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Hédio Tatizawa – PIPGE
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Arnaldo Gakiya Kanashiro - PIPGE

Dr. Kleber Hashimoto - CPFL

Dedico este trabalho ao meu filho Leonardo M. C. Marques que foi minha principal inspiração.

Ao Engenheiro Luís Cláudio de Matos, meu esposo, companheiro e consultor de todas as horas.

Aos meus pais, Therezinha e José, pelo eterno apoio e confiança em meu trabalho.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Hédio Tatizawa por nunca duvidar que eu pudesse concluir este trabalho. Suas orientações e contribuições foram essenciais.

Ao Prof. Dr. Alexandre Piantini e ao Prof. Arnaldo G. Kanashiro pelo apoio.

Ao Dr. Kleiber Tadeu Soletto pela grande ajuda na coleta de dados laboratoriais e seus conselhos para a conclusão deste trabalho.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo pelo apoio recebido no decorrer deste trabalho.

Agradeço, de coração, aos professores Ms. Mario Sergio Cambraia, Ms. Osmir Adão, Ms. Walter Ragnev, Ms. Alberto Akio Shiga, Ms. Patrícia Abdala Raimo, Eng. Milton Carlos Ferreira Alvarez e Eng. João Marcos da Silva Brito do CEFET-SP pela contribuição, apoio e, principalmente, por acreditarem que isso tudo seria possível.

Ao professor Dr. José Roberto Camacho da Universidade Federal de Uberlândia pelo apoio contribuições e pela amizade mesmo tão recente.

" Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas"

" Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós."

(Antoine de Saint-Exupéry)

RESUMO

Silva, C. G. M. Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil. 2008. 105 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

O aumento do consumo no Brasil aparte com problemas de abastecimento de energia elétrica na década de 90, durante um período de más condições hidrológicas causou uma preocupação e instou uma pesquisa sobre as formas de redução do consumo. A qualidade de energia não era uma prioridade, cargas não eram tão sensíveis, nem os processos existentes exigiam tanto na qualidade do fornecimento de energia elétrica. A preocupação sobre a qualidade do abastecimento de energia aumentou, principalmente no setor industrial, com o aumento da concorrência nos mercados nacionais e no exterior. A qualidade e a quantidade da produção tornaram-se um item para distinguir o lucro. Desta forma, a qualidade do fornecimento de energia e a continuidade das linhas de produção tornaram-se mais importante.

Este trabalho pretende mostrar resultados de um estudo experimental sobre lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado, e algumas consequências da sua utilização generalizada.

Palavras-chave: lâmpadas fluorescentes compactas, harmônicos, potência qualidade, distorção harmônica, a compatibilidade eletromagnética

ABSTRACT

Silva, C. G. M. Diagnosis about the use of compact fluorescent lamps (CFL) as promoting energy efficiency in lighting systems in Brazil. 2008. 105 p. Master's Dissertation. Inter-units Graduate Program in Energy. University of São Paulo, São Paulo, 2008.

The increase of the consumption in Brazil aside with problems of supply of electrical energy in the decade of 90, during a period of bad hydrological conditions caused a concern and urged a search for ways of reduction of the consumption. The quality of power was not a priority, loads were not so sensitive nor the existing processes demanded as much as quality of the supply of electric energy. The concern on quality of energy supply increased, mainly in the industrial sector, with the increase of the competition in the domestic markets and overseas. The quality and the amount of production became a distinguished item for the profit. In this way, the quality of energy supply and the continuity of the production lines became more important.

This work aims to show results of an experimental survey about compact fluorescent light bulbs with integrated reactor, and some consequences of its generalized use.

Keywords: Fluorescent compact light bulbs, harmonics, quality of power, harmonic distortions, electromagnetic compatibility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento das cargas eletrônicas nos EUA.....	19
Figura 2 – Distúrbios do ponto de vista do consumidor.....	22
Figura 3 – Formas de ondas típicas dos itens de qualidade da energia	23
Figura 4 – Corrente transitória oriunda de uma descarga atmosférica.....	23
Figura 5 – Distúrbios (sobrecorrentes) causados por uma sequência de manobras de religador.....	25
Figura 6 – Caracterização do “swell”	26
Figura 7 – Comportamento do motor de indução trifásico frente à alimentação desequilibrada.....	26
Figura 8 – Forma de onda da harmônica	29
Figura 9 – Forma de onda distorcida pela presença de harmônica.....	29
Figura 10 – Vida útil x sobre temperatura em capacitores	32
Figura 11 – Gráfico de comparação entre consumos de eletricidade por setores.....	37
Figura 12 – Categoria básica da EMC.....	49
Figura 13 – Compatibilidade entre dois microcomputadores.....	50
Figura 14 – Marcas de Conformidade	56
Figura 15 – Limites para as interferências conduzidas pela VDE 0871.....	64
Figura 16 – Esquema padrão para realização das medições de IEM.....	67
Figura 17 – LISN (“Line impedance stabilization network”) utilizada nas medições de IEM	67
Figura 18 – Esquema elétrico de um LISN típico, porém para 50 Hz	68
Figura 19 – Vista interna LISN	68
Figura 20 – EMI Receiver utilizado nas medições de IEM.....	69
Figura 21 – Analisador de Qualidade de Energia.....	69
Figura 22 – Fonte de tensão com baixa distorção harmônica.....	70
Figura 23 – Gráfico obtido após a medição das amostras LFC1(a) e LFC2 (b).....	71
Figura 24 – Gráfico obtido após a medição das amostras LFC3(a) e LFC4 (b).....	72
Figura 25 – Gráfico obtido após a medição das amostras LFC5(a) e LFC6 (b).....	72
Figura 26 – Gráfico obtido após a medição das amostras LFC6(a) e LFC7 (b).....	74
Figura 27 – Comparação das distorções harmônicas de tensão em relação à variação de tensão.....	76

Figura 28 – Comparação das distorções harmônicas de corrente em relação à variação de corrente	76
Figura 29 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – amostra LFC1(127V)	77
Figura 30 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – amostra LFC7(127V)	78
Figura 31 – Exemplo da planilha em Excel utilizada nas simulações.....	79
Figura 32 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação das amostras LFC1 e LFC7 (127V).....	80
Figura 33 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação das amostras LFC2 e LFC4 (127V).....	81
Figura 34 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação de cinco amostras LFC7 (127V).....	82
Figura 35 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação de aparelhos eletrodomésticos da Casa Padrão	84
Figura 36 – Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação de aparelhos eletrodomésticos + lâmpadas da Casa Padrão	84
Figura 37 – Fator de distorção de corrente de LFC de diferentes fabricantes considerando redes com distorção de 0,5% e 3,6%	89
Figura 38 – Comparação de uma televisão com grupo de 5LFC de fabricantes diferentes em rede com $du = 4,6\%$	90
Figura 39 – Plano complexo dos vetores para cada harmônica.....	91
Figura 40 – Distribuição por região dos domicílios da amostra.....	93
Figura 41 – Utilização de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por nível de consumo de energia	94
Figura 42 – Curva de simulação da substituição de 40% de incandescentes por LFC de 13W.....	94
Figura 43 – Percentual de redução de consumo com a substituição por intervalos do dia	95
Figura 44 – Curva de simulação da substituição de 100% de incandescentes por LFC de 13W.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fenômenos associados à qualidade de energia – curta duração.....	24
Tabela 2 – Fenômenos associados à qualidade de energia – longa duração.....	25
Tabela 1 – Distúrbios elétricos: causas, efeitos e soluções	32
Tabela 2 – Consumo de energia elétrica por setor (BEN,2004).....	34
Tabela 3 – Exemplo de lâmpada incandescente	37
Tabela 4 – Exemplo de lâmpada incandescente halógenas	38
Tabela 5 – Exemplo de lâmpada fluorescente comum	39
Tabela 6 – Exemplo de lâmpada fluorescente compacta.....	40
Tabela 7 – Comparação entre reatores eletromagnéticos e eletrônicos.....	46
Tabela 8 – Exemplo de aplicações de conversores de potência	52
Tabela 9 – Índices mínimos de Eficiência Energética – 100 horas	58
Tabela 10 – Resumo da Normalização das LFC no Brasil.....	59
Tabela 11 – Principais Normas sobre EMC	60
Tabela 12 – Mínimos valores com faixa de frequência de 150 kHz a 1605 kHz	62
Tabela 13 – Limites de distúrbios de tensão nos valores principais.....	63
Tabela 14 – Dados das amostras utilizadas	64
Tabela 15 – Limites de distúrbios de tensão nos terminais de alimentação	68
Tabela 16 – Comparativo das distorções harmônicas de tensão (THDV) e de corrente (THDI) entre amostras	72
Tabela 17 – Comparativo das distorções harmônicas com a combinação das amostras LFC1 e LFC7	77
Tabela 18 – Comparativo das distorções harmônicas com a combinação das amostras LFC2 e LFC4	78
Tabela 19 – Comparativo das distorções harmônicas com a combinação das cinco amostras LFC7.....	79
Tabela 20 – Relação de Cargas utilizadas na simulação Casa Padrão	80
Tabela 21 – Valores de Irms e TDHI adotados para simulação	82
Tabela 22 – Relação de lâmpadas utilizadas por fabricante	83
Tabela 23 – Resumo dos valores medidos para as diversas redes utilizadas	85
Tabela 24 – Distribuição por tipos de lâmpadas no mercado brasileiro.....	90

Tabela 25 – Resumo das Políticas de incentivo à substituição de lâmpadas no mundo	93
Tabela 26 - Resumo das Políticas de incentivo à substituição de lâmpadas no mundo	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
ANSI	<i>Instituto de Normalização Nacional Americano</i>
BSI	<i>Instituto de Normalização Britânica</i>
CA	<i>Corrente Alternada</i>
CBEMA	<i>Computer and Business Equipment Manufacturers Association</i>
CC	<i>Corrente Contínua</i>
CE	<i>Comunidade Européia</i>
CEN	<i>Comitê Europeu de Normalização</i>
CGIEE	<i>Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética</i>
CISPR	<i>Comité international spécial des perturbations radioélectriques</i>
CMN	<i>Comitê MERCOSUL de Normalização</i>
CONPANT	<i>Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas</i>
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
EN	<i>European Standards</i>
ENCE	<i>Etiqueta Nacional de Conservação de Energia</i>
HID	<i>High Intensity Discharge</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IEM	<i>Interferência Eletromagnética</i>
INMETRO	<i>Instituto Nacional de Metrologia</i>
IRAN	<i>Instituto Argentino de Normalização</i>
ISO	<i>Organização Internacional de Normalização</i>
ITI	<i>Information Technology Industry Council</i>
LFC	<i>Lâmpadas Fluorescentes Compactas</i>
LIE/PEA	<i>Laboratório de Instalações Elétricas/ Politécnica Energia e Automação</i>
LISN	<i>Line Impedance Stabilisation Network</i>

MCT	<i>Ministério da Ciência e Tecnologia</i>
MDIC	<i>Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio</i>
MEC	<i>Ministério de Educação e Cultura</i>
PPH	<i>Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo</i>
PU	<i>Por unidade</i>
RCB	<i>Relação Custo Benefício</i>
RMS	<i>Root means Square</i>
SBC	<i>Sistema Brasileiro de Certificação</i>
SINPHA	<i>Sistema de Informação de Posse e Hábitos de Uso de Aparelhos Eletrodomésticos</i>
THD	<i>Taxa de distorção harmônica</i>
THDI	<i>Taxa de distorção harmônica de corrente</i>
THDV	<i>Taxa de distorção harmônica de tensão</i>
UL	<i>Underwriters Laboratories</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
VDE	<i>Association for Electrical, Electronic & Information Technologies</i>

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Objetivo	20
1.2. Estrutura do trabalho	21
2. ESTADO DA ARTE	22
2.1. Terminologia e definições dos itens de qualidade	22
2.1.1. Definições gerais dos fenômenos	23
2.2. Distorções harmônicas.....	29
2.3. Normas e organizações relacionadas com qualidade de energia.....	32
2.4. Resumo: Causas, efeitos e soluções	34
2.5. Evolução do mercado e iluminação no Brasil	36
2.5.1. Introdução.....	36
2.5.2. As lâmpadas no mercado brasileiro.....	37
2.5.3. Lâmpadas incandescentes convencionais.....	38
2.5.4. Lâmpadas incandescentes halógenas.....	39
2.5.5. Lâmpadas à descarga de baixa pressão.....	41
2.6. Reatores para lâmpadas de descargas: a realidade brasileira	44
2.6.1. Eletromagnéticos	44
2.6.2. Eletrônicos	45
2.6.3. Diferenças entre baixa e alta performance	46
2.6.4. Reatores dimerizáveis.....	47
2.6.5. Certificação.....	47
2.7. Compatibilidade eletromagnética	49
2.7.1. Introdução.....	49

2.7.2. Aspectos gerais	49
2.7.3. Definições	50
2.7.4. Termos básicos	51
2.7.5. Termos combinados.....	51
2.7.6. Termos interrelacionados	52
2.8. Interferência eletromagnética	52
2.9. Susceptibilidade eletromagnética	53
2.10. A EMC e a eletrônica de potência	53
3. CERTIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO	55
3.1. Introdução.....	55
3.2. Certificação.....	55
3.3. A normalização.....	56
3.4. Órgãos regulamentadores	57
3.5. Normas aplicadas à LFC	57
3.6. Principais normas EMC.....	62
3.7. Limites para EMI estabelecidos nas principais normas.....	63
4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA OBTENÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS	66
4.1. Definição das amostras.....	66
4.2. Procedimento laboratorial	66
4.2.1. Medições de IEM	66
4.2.2. O LISN	67
4.2.3. Medições de grandezas elétricas.....	69
5. AVALIAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	72
5.1. Interferência Eletromagnética.....	72
5.1.1. Resumo	74
5.2. Determinação dos índices de harmônicos	74
5.3. Simulação das formas de ondas produzidas	77
5.4. Simulação das formas de ondas produzidas com a combinação de duas ou mais amostras	78
5.4.1. Cálculos utilizados na simulação.....	79

5.4.2. Resultados obtidos.....	80
5.4.3. Resumo	85
6. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	86
6.1. Um estudo internacional.....	86
6.1.1. Objetivos do estudo	86
6.1.2. Lâmpadas utilizadas	86
6.2. Resultados do estudo	88
6.3. Conclusões do estudo	88
7. PANORAMA MUNDIAL	92
7.1. Pesquisa Procel ano base 2005	92
7.1.1. Objetivos de estudo	92
7.1.2. Setor residencial	92
7.2. Políticas de incentivo de substituição de lâmpadas em nível mundial	96
7.3. Resumo	98
8. Conclusões e propostas para trabalhos futuros.....	99
9. Referências Bibliográficas.....	100

1. Introdução

O conceito de Qualidade de Energia está relacionado a um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico, quando não há conformidade na amplitude, frequência e distorção na forma do sinal. Tais alterações podem ocorrer em várias partes do sistema de energia, seja nas instalações de consumidores ou no sistema supridor da concessionária.

Estes problemas vêm se agravando rapidamente em todo o mundo por diversas razões, das quais destacamos duas:

- instalação cada vez maior de cargas não-lineares conforme exemplificado na Figura 1. O crescente interesse pela racionalização e conservação da energia elétrica tem aumentado o uso de equipamentos que, em muitos casos, aumentam os níveis de distorções harmônicas e podem levar o sistema a condições de ressonância, e
- maior sensibilidade dos equipamentos instalados aos efeitos dos fenômenos (distúrbios) de qualidade de energia.

Em alguns ramos de atividade, como as indústrias têxteis, siderúrgicas e petroquímicas, os impactos econômicos da qualidade de energia são enormes. Nestes setores, uma interrupção elétrica de até 1 minuto pode ocasionar prejuízos de até US\$ 500 mil. Diante deste potencial de prejuízos possíveis, fica evidente a importância de uma análise e de um diagnóstico da qualidade da energia elétrica, com o intuito de determinar as causas e as consequências dos distúrbios no sistema, além de apresentar medidas técnicas e economicamente viáveis para solucionar o problema.

Figura 1 – Crescimento das cargas eletrônicas nos EUA

(Fonte: Revista Busines Week)

Devemos salientar também que, até 2005, o processo de certificação das lâmpadas compactas não obrigava os fabricantes a realizar todos os ensaios de tipo recomendados pelas normas brasileiras.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar um panorama da utilização das lâmpadas fluorescentes compactas introduzidas no mercado brasileiro de forma mais intensa por volta do ano 2000, em resposta aos sérios problemas de oferta de energia elétrica pelos quais o país passava relacionado ao baixo nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas.

O racionamento de energia elétrica imposto aos brasileiros facilitou a entrada no mercado e a aceitação das lâmpadas fluorescentes compactas, em substituição às lâmpadas incandescentes, (mesmo considerando-se o maior preço das LFC), tendo em vista sua maior eficácia energética. O sobrepreço das LFC frente às tradicionais lâmpadas incandescentes, da ordem de 2000% inicialmente, reduziu-se substancialmente com a entrada das lâmpadas no mercado através da importação de produtos de origem principalmente asiática, de baixo preço, contribuindo para a popularização das LFC. Essa tendência foi reforçada certamente pela escalada da tarifa de energia elétrica nos anos subseqüentes.

O crescimento da participação das LFC no mercado de iluminação gerou na sociedade preocupação quanto a vários aspectos decorrentes do uso em massa desse produto. Um deles seria a distorção harmônica e o outro a compatibilidade eletromagnética nos sistemas elétricos de potência, uma vez que as LFC incorporam geralmente um reator eletrônico, com a função de proporcionar para a lâmpada tensão elétrica em alta frequência, da ordem de dezenas de kHz para sua alimentação e para facilitar a ignição, eliminando a necessidade de starter que é utilizado nas lâmpadas fluorescentes tradicionais em conjunto com o reator eletromagnético. Outro questionamento que surgiu no mesmo período, refere-se à durabilidade do produto, cuja expectativa inicial era da ordem de 10.000 horas de uso, em contraposição à expectativa de 1.000 horas de uso médio atribuído às lâmpadas incandescentes. No contexto da introdução das LFC no mercado, o Brasil carecia de normas técnicas para o balizamento das características de desempenho e segurança elétrica dessas lâmpadas, tornando mais difícil o julgamento da qualidade do produto, tendo em vista os vários interesses e pontos de vista envolvidos dos

fabricantes, comerciantes e importadores, usuários, órgãos de defesa do consumidor e empresas concessionárias de energia elétrica.

O objetivo deste trabalho é analisar o estado geral das lâmpadas fluorescentes compactas disponíveis no mercado de iluminação, com respeito aos aspectos elétricos de consumo e aos possíveis distúrbios causados pelas mesmas no Sistema Elétrico Brasileiro. Dessa forma, pretende-se mostrar a necessidade da realização de ensaios que identifiquem os níveis de distorções causados por este tipo de carga e incluir como ensaio obrigatório para a certificação e licença para comercialização das LFC. A durabilidade das lâmpadas não foi abordada devido não ser o foco principal deste trabalho.

1.2. Estrutura do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido considerando-se:

- O levantamento do estado da arte, compreendendo conceitos de sistemas de iluminação, qualidade de energia.
- A inserção da iluminação no mercado de energia elétrica: segmentos industrial, comercial e residencial.
- Estudos sobre o tema no Brasil (qualidade de energia, durabilidade das lâmpadas)
- Estudos de comparação de levantamentos feitos com trabalho europeu
- Normalização brasileira a respeito das LFC
- Ensaio realizados de harmônicas e de interferência de alta frequência conduzida.

2. Estado da Arte

2.1. Terminologia e definições dos itens de qualidade

Na ótica do consumidor, talvez seja mais simples e adequado utilizarmos simplesmente a palavra "distúrbios" para englobar todos os fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica.

Estes “distúrbios” podem ter origem na energia elétrica entregue na concessionária de energia, ou na rede interna de distribuição (incluindo equipamentos ali instalados) do próprio consumidor. A Figura 2 mostra a origem dos problemas de qualidade de energia, quando analisada sob a ótica do consumidor.

Fig. 2 – Distúrbios do ponto de vista do consumidor

(Fonte: Site Engecomp)

Neste gráfico podemos verificar que 60% dos problemas de qualidade de energia são provocados por causas naturais. 17% são provocados pelo próprio sistema de fornecimento de energia pelas concessionárias. Apenas 12% são provocados pelo próprio consumidor afetado e 8% pelos consumidores adjacentes ao consumidor afetado.

Os acadêmicos e especialistas, no entanto, classificam os itens de qualidade ("distúrbios") como:

- a) transitórios;
- b) variação de tensão de curta e de longa duração;
- c) desequilíbrios de tensão;
- d) distorções da forma de onda;
- e) oscilações de tensão;

f) variação da frequência do sistema.

A Figura 3 mostra as formas de onda típicas dos itens de qualidade mais comuns:

Fig. 3 – Formas de ondas típicas dos itens de qualidade da energia

(Fonte: Site Engcomp)

2.1.1. Definições gerais dos fenômenos

a) TRANSITÓRIOS: impulsivos ou oscilatórios.

São fenômenos eletromagnéticos oriundos de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica. Geralmente, a duração de um transitório é muito pequena, mas de grande importância, uma vez que submetem equipamentos a grandes solicitações de tensão e/ou corrente. Existem dois tipos de transitórios: os impulsivos, causados principalmente por descargas atmosféricas e ilustrado pela Figura 4, e os oscilatórios, causados por chaveamentos.

Fig. 4 – Corrente transitória oriunda de uma descarga atmosférica

(Fonte: Site Engcomp)

b) **VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO.** Podem ser instantâneas, momentâneas, ou temporárias.

As variações de tensão de curta duração podem ser caracterizadas por alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias. Essas características estão sendo detalhadas na Tabela 1 apresentadas a seguir. Tais variações de tensão são, geralmente, causadas pela energização de grandes cargas que requerem altas correntes de partida, ou pro curto circuitos. Dependendo do local da falha e das condições do sistema, o resultado pode ser uma queda de tensão temporária ("sag"), uma elevação de tensão ("swell"), ou mesmo uma interrupção do sistema elétrico.

Chama-se interrupção de curta duração quando a tensão de suprimento cai para um valor menor que 0,1 pu por um período de tempo não superior a 1 minuto, o que geralmente ocorre por faltas no sistema de energia, falhas de equipamentos e mau funcionamento de sistemas de controle.

Tabela 1 – Fenômenos associados à qualidade de energia – curta duração

Fenômeno	Duração típica	Magnitude
Instantâneo		
Depressões (“SAG” ou “DIP”)	0,5 – 30 ciclos	0,1 – 0,9 pu
Elevações (“SWELL”)	0,5 – 30 ciclos	1,1 – 1,8 pu
Momentânea		
Interrupção	0,5 ciclos – 3 s	< 0,1 pu
Depressões	30 ciclos – 3 s	0,1 – 0,9 pu
Elevações	30 ciclos – 3 s	1,1 – 1,4 pu
Temporários		
Interrupção	3 s – 1 min	< 0,1 pu
Depressões	3 s – 1 min	0,1 – 0,9 pu
Elevações	3 s – 1 min	1,1 – 1,2 pu

Fig. 5 – Distúrbios (sobrecorrentes) causados por uma seqüência de manobras de religador

(Fonte: Site Engcomp)

c) VARIAÇÕES DE TENSÃO DE LONGA DURAÇÃO, que podem ser de três tipos: interrupções, subtensões ou sobretensões sustentadas.

As sobretensões de longa duração, assim como as de curta duração, são caracterizadas pelas suas magnitudes (valores eficazes) e suas durações. A severidade de um "swell" durante uma condição de falta é função do local da falta, da impedância do sistema e do aterramento. Sua duração está intimamente ligada aos ajustes dos dispositivos de proteção, à natureza da falta (permanente ou temporária) e à sua localização na rede elétrica. As principais características deste fenômeno estão sendo apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Fenômenos associados à qualidade de energia – longa duração

Fenômeno	Duração típica	Magnitude
Interrupções sustentadas	> 1 min	0,0 pu
Depressões	> 1 min	0,8 – 0,9 pu
Elevações	> 1 min	1,1 – 1,2 pu

Fig. 6 – Caracterização do “swell”

(Fonte: Site Engcomp)

d) **DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO**, causados por má distribuição de cargas monofásicas

Os desequilíbrios podem ser definidos como o desvio máximo em relação à média das correntes ou tensões trifásicas, dividido pela média das correntes ou tensões trifásicas, expresso em percentual. As origens desses desequilíbrios estão geralmente nos sistemas de distribuição, que apresentam cargas monofásicas distribuídas assimetricamente entre fases, fazendo surgir no circuito tensões com componentes de seqüência negativa. Os desequilíbrios de tensão são particularmente prejudiciais aos motores de indução trifásicos, causando grandes desequilíbrios de corrente na partida e na operação, aquecimento e perda de vida útil.

Fig. 7 – Comportamento do motor de indução trifásico frente à alimentação desequilibrada

- e) **DISTORÇÕES DA FORMA DE ONDA**, que podem ser classificadas em cinco tipos: nível CC, harmônicos, interharmônicos, "notching", e ruídos.

A distorção da forma de onda é definida como um desvio, em regime permanente, da forma de onda puramente senoidal, na frequência fundamental, e é caracterizada principalmente pelo seu conteúdo espectral. Existem cinco tipos principais de distorções da forma de onda:

- **Harmônicos:** tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental (50 ou 60 Hz) na qual opera o sistema de energia elétrica. Estes harmônicos distorcem as formas de onda da tensão e corrente e são oriundos de equipamentos e cargas com características não-lineares instalados no sistema de energia.
- **Interharmônicos:** componentes de frequência, em tensão ou corrente, que não são múltiplos inteiros da frequência fundamental do sistema supridor (50 ou 60Hz). Podem aparecer como frequências discretas ou como uma larga faixa espectral. Os interharmônicos podem ser encontrados em redes de diferentes classes de tensão. Suas principais fontes são conversores estáticos de potência, cicloconversores, fornos de indução e equipamentos a arco. Sinais "carrier" em linhas de potência também podem ser considerados como interharmônicos. Os efeitos deste fenômeno não são bem conhecidos, mas admite-se que os mesmos podem afetar a transmissão de sinais "carrier" e induzir "flicker" visual no display de equipamentos como tubos de raios catódicos.
- **Nível CC:** a presença de tensão ou corrente CC em um sistema elétrico CA é denominado "DC offset". Este fenômeno pode ocorrer como o resultado da operação assimétrica de retificadores de meia-onda. O nível CC em redes de corrente alternada pode levar à saturação de transformadores, resultando em perdas adicionais e redução da vida útil dos mesmos.
- **"Notching":** distúrbio de tensão causado pela operação normal de equipamentos de eletrônica de potência quando a corrente é comutada de uma fase para outra. Este fenômeno pode ser detectado através do conteúdo harmônico da tensão afetada. As componentes de frequência associadas com os "notchings" são de alto valor e, desta forma, não podem ser medidas pelos equipamentos normalmente utilizados para análise harmônica.
- **Ruído:** é definido como um sinal elétrico indesejado, contendo uma larga faixa espectral com frequências menores que 200 KHz, que são superpostas às tensões ou correntes de fase, ou encontradas em condutores de neutro. Os ruídos em sistemas de potência podem ser causados por equipamentos eletrônicos de potência, circuitos de controle, equipamentos a arco,

retificadores a estado sólido ou em fontes chaveadas e, podem estar relacionados com aterramentos impróprios.

f) OSCILAÇÕES DE TENSÃO

As flutuações de tensão correspondem a variações sistemáticas dos valores eficazes da tensão de suprimento dentro da faixa compreendida entre 0,95 e 1,05 pu. Tais flutuações são causadas por cargas industriais e manifestam-se de diferentes formas, a destacar:

- **Flutuações Aleatórias:** causadas por fornos a arco, onde as amplitudes das oscilações dependem do estado de fusão do material e do nível de curto-circuito da instalação.
- **Flutuações Repetitivas:** causadas por máquinas de solda, laminadores, elevadores de minas e ferrovias.
- **Flutuações Esporádicas:** causadas pela partida direta de grandes motores.

Os principais efeitos nos sistemas elétricos resultados das oscilações causadas pelos equipamentos mencionados anteriormente são oscilações de potência e torque das máquinas elétricas, queda de rendimento dos equipamentos elétricos, interferência nos sistemas de proteção, e efeito "flicker" ou cintilação luminosa.

g) VARIAÇÕES DA FREQUÊNCIA DO SISTEMA, definidas como sendo desvios no valor da frequência fundamental do sistema (50 ou 60 Hz).

As variações na frequência de um sistema elétrico são definidas como sendo desvios no valor da frequência fundamental desse sistema (50 ou 60 Hz). A frequência do sistema de potência está diretamente associada à velocidade de rotação dos geradores que suprem o sistema. Pequenas variações de frequência podem ser observadas como resultado do balanço dinâmico entre carga e geração no caso de alguma alteração (variações na faixa de $60 \pm 0,5\text{Hz}$). Variações de frequências que ultrapassam os limites para operação normal em regime permanente pode ser causadas por faltas em sistemas de transmissão, saída de um grande bloco de carga ou saída de operação de uma grande fonte de geração.

Entretanto, em sistemas isolados, como é o caso da geração própria nas indústrias, na eventualidade de um distúrbio, a magnitude e o tempo de permanência das máquinas operando fora da velocidade, resultam em desvios da frequência em proporções mais significativas.

2.2. Distorções Harmônicas

Tecnicamente, uma harmônica é a componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (no caso da energia elétrica, de 60 Hz). A melhor maneira de explicar isto é com a ilustração abaixo. Na Figura 8, vemos duas curvas: uma onda senoidal normal, representando uma corrente de energia "limpa", e outra onda menor, representando uma harmônica. Esta segunda onda menor representa a harmônica de quinta ordem, o que significa que sua frequência é de 5×60 Hz, ou 300 Hz.

Fig. 8 – Forma de onda da harmônica

(Fonte: Site Engcomp)

A Figura 9 mostra como ficaria a soma das duas curvas. Esta curva resultante mostra bem a distorção harmônica da curva de tensão, na presença de harmônicas.

Fig. 9 – Forma de onda distorcida pela presença de harmônica

(Fonte: Site Engcomp)

As distorções harmônicas vêm contra os objetivos da qualidade do suprimento promovido por uma concessionária de energia elétrica, que deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. Entretanto, o fornecimento de energia a determinados consumidores que causam deformações no sistema supridor, prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados à mesma rede elétrica.

No passado não havia maiores preocupações com harmônicos. Cargas com características não lineares eram pouco utilizadas e os equipamentos eram mais resistentes aos efeitos provocados por harmônicas. Nos últimos anos, com o rápido desenvolvimento da eletrônica de potência e com a utilização de métodos que buscam o uso mais racional da energia elétrica, o conteúdo harmônico presente nos sistemas tem-se elevado, causando uma série de efeitos indesejáveis em diversos equipamentos, comprometendo a qualidade e o próprio uso racional da energia elétrica.

Assim, é de grande importância citar aqui os vários tipos de cargas elétricas com características não lineares que têm sido implantadas em grande quantidade no sistema elétrico brasileiro:

- a) Circuitos de iluminação com lâmpadas de descarga;
- b) Fornos a arco;
- c) Compensadores estáticos do tipo reator saturado;
- d) Motores de corrente contínua controlados por retificadores;
- e) Motores de indução controlados por inversores com comutação forçada;
- f) Processos de eletrólise através de retificadores não-controlados;
- g) Motores síncronos controlados por ciclo conversores;
- h) Fornos de indução de alta frequência;
- i) Fornos de indução controlados por reatores saturados;
- j) Cargas de aquecimento controladas por tiristores;
- k) Velocidade dos motores CA controlados por tensão de estator;
- l) Reguladores de tensão a núcleo saturado;
- m) Computadores, e
- n) Eletrodomésticos com fontes chaveadas.

Como já foi dito, as distorções harmônicas causam muitos prejuízos às plantas industriais. De maior importância é a perda de produtividade e de vendas devido a paradas de produção causadas

por inesperadas falhas em motores, acionamentos, fontes ou simplesmente "repicar" de disjuntores.

Segue relação mais detalhada destes prejuízos:

- a) Capacitores: queima de fusíveis, e redução da vida útil;
- b) Motores: redução da vida útil, e impossibilidade de atingir potência máxima;
- c) Fusíveis/Disjuntores: operação falsa/errônea, e componentes danificados;
- d) Transformadores: aumento de perdas, causando redução de capacidade e diminuição da vida útil;
- e) Medidores: possibilidade de medições errôneas e de maiores contas;
- f) Telefones: interferências;
- g) Máquinas Síncronas: sobre aquecimento das sapatas polares, causado pela circulação de correntes harmônicas nos enrolamentos amortecedores;
- h) Acionamentos/Fontes: operações errôneas devido a múltiplas passagens por zero, e falha na comutação de circuitos, e
- i) Carregamento exagerado do circuito de neutro, principalmente em instalações que agregam muitos aparelhos eletrônicos e possuem malhas de terra mal projetadas.

Um dos principais problemas causados por harmônicos, no entanto, se dá junto a bancos de capacitores, que podem originar condições de ressonância, caracterizando uma sobretensão nos terminais das unidades capacitivas.

Em decorrência desta sobretensão tem-se uma degradação do isolamento das unidades capacitivas, e em casos extremos, uma completa danificação dos capacitores. Além disso, consumidores conectados no mesmo ponto ficam submetidos a tensões perigosas, mesmo não sendo portadores de cargas poluidoras em suas instalações. Mesmo sem uma condição de ressonância, um capacitor é sempre um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas e sempre estará sujeito a sobrecarga e ao sobre aquecimento excessivo, reduzindo sua vida útil conforme ilustrado na Figura 10.

Fig. 10 – Vida útil x sobre temperatura em capacitores

(Fonte: Site Engcomp)

2.3. Normas e organizações relacionadas com qualidade de energia

A Comunidade Européia tem ocupado tradicionalmente a vanguarda no quesito normas de qualidade de energia, a exemplo da norma EN50160 adotada como referência vários países. Nos EUA, muitas concessionárias têm usado normas como a IEEE 519 apenas como referência, raramente incluindo cláusulas sobre este assunto nos contratos com clientes. Entretanto, o clima de desregulamentação pode significar que contratos com cláusulas de qualidade de energia possam vir a ser comuns no futuro. A lista seguir relaciona normas e entidades principais:

- EN50160: é uma norma que cobre tensão de alimentação, tensão nominal, flutuação de tensão, variação de tensão de curta duração, regulação de tensão, tremulação, severidade da tremulação, cava, interrupção, sobretensão temporária, sobretensão transitória, tensão harmônica, tensão interharmônica e desequilíbrio de tensão;
- IEC 61000-4-15: prescreve método de medição de flicker que inclui especificações para medidores.
- IEC 61000-4-7: descreve uma técnica de medição padrão para harmônicas.
- IEEE 519 (1992): prática recomendada pela IEEE, utilizada principalmente por concessionárias de energia nos EUA. Descreve níveis aceitáveis de harmônicas para o ponto de entrega de energia pela concessionária.
- IEEE 1159 (1995): prática recomendada pelo IEEE para monitoração e interpretação dos fenômenos que causam problemas de qualidade de energia.

- CBEMA: Computer and Business Equipment Manufacturers Association. Virou ITI em 1994. A curva CBEMA define os níveis de suportabilidade de equipamentos, em função da magnitude da tensão e da duração do distúrbio. Distúrbios que caíam fora da curva podem causar danos aos equipamentos.
- ITI: Information Technology Industry Council. Instituição que trabalha para defender os interesses da indústria de informática.

2.4. Resumo: causas, efeitos e soluções

Tabela 3 – Distúrbios elétricos: causas, efeitos e soluções

Distúrbio	Descrição	Causas	Efeitos	Soluções
Interrupções	Interrupção total da alimentação elétrica	Curto-circuitos, descargas atmosféricas, e outros acidentes que exijam manobras precisas de fusíveis, disjuntores, etc.	Queda do sistema, danificação de componentes, perda de produção	UPS, geradores de emergência (interrupções de longa duração)
Transientes	Distúrbio na curva senoidal, resultando em rápido e agudo aumento de tensão	Descargas atmosféricas, manobras da concessionária, manobras de grandes cargas e bancos de capacitores	Travamento, perda de memória e erros de processamento Queima de placas eletrônicas, danificação de materiais de isolamento e de equipamentos	Supressores de transientes UPS com supressores de transientes Transformadores de isolamento
Sag / Swell	Subtensões (sags) ou sobretensões (swells) curtas (meio ciclo de até 3 segundos) Sags respondem por cerca de 87% de todos os distúrbios elétricos	Queda/Partida de grandes equipamentos Curto-circuitos Falha em equipamentos ou manobras da concessionária	Perda de dados e erros de processamento Desligamento de equipamentos Oscilações em motores com redução de vida útil	UPS, reguladores de tensão
Ruídos	Sinal indesejado de alta frequência que altera o padrão normal de tensão (onda senoidal)	Interferência de estações de rádio e TV Operação de equipamentos eletrônicos	Travamentos, perda de dados e erros de processamento Recepções distorcidas (áudio e vídeo)	UPS, transformadores de isolamento e filtros de linha
Harmônicos	Alteração do padrão normal de tensão (onda senoidal), causada por frequências múltiplas da fundamental (50-60Hz)	UPS, Reatores eletrônicos, inversores de frequência, retificadores e outras cargas não-lineares.	Sobreaquecimento de cabos e equipamentos Diminuição da performance de motores Operação errônea de disjuntores, relés e fusíveis	Filtros de harmônicas, reatores de linha, melhorias na fiação e no aterramento, transformadores de isolamento

Variações de Tensão de Longa Duração	Variações de tensão com duração acima de 1 minuto	Equipamentos e fiação sobrecarregados Utilização imprópria de transformadores Fiação sub-dimensionada ou conexões mal feitas	Desligamento de equipamentos Sobreaquecimento de motores e lâmpadas Redução de vida útil ou de eficiência dos equipamentos	UPS Verificar conexões e fiações elétricas Transferência de equipamentos para outros circuitos
--------------------------------------	---	--	--	--

(Fonte: Site Engcomp)

2.5. Evolução do Mercado de Iluminação no Brasil

2.5.1. Introdução

A iluminação consome cerca de 17% do total da eletricidade utilizada no Brasil (Leonelli, 1995). Considerando que o consumo de energia chegou a 359,6 TWh em 2004, o consumo de energia, somente em iluminação, alcançou 61,13 TWh.

Em 2001, houve um decréscimo no patamar do consumo de energia elétrica em função do racionamento havendo uma redução de cerca de 6,6% no consumo total.

Podemos verificar, através da Tabela 4 e do gráfico comparativo da Figura 11, que o setor que mais reduziu o consumo durante o racionamento foi o setor residencial. Em 2000, o consumo residencial representava cerca de 25% do total do consumo brasileiro e em 2001, este total passou a ser cerca de 23%, porém este índice não foi repetido no ano seguinte, quando o valor chegou a cerca de 22%.

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica por setor

Setor	Valores em TWh			Valores Percentuais		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Energético	10.479	11.154	11.635	3,16%	3,60%	3,59%
Residencial	83.613	73.770	72.770	25,21%	23,82%	22,43%
Comercial	47.510	44.668	45.407	14,33%	14,42%	14,00%
Público	29.200	27.136	28.058	8,80%	8,76%	8,65%
Agropecuário	12.856	12.395	12.922	3,88%	4,00%	3,98%
Transporte	1.250	1.200	940	0,38%	0,39%	0,29%
Industrial	146.730	139.406	152.651	44,24%	45,01%	47,06%
Total	331.638	309.729	324.365	-	-	-

(Fonte: BEN, 2004)

Figura 11 – Gráfico de comparação entre consumos de eletricidade por setores

Dois dos fatores que colaboraram para a redução do consumo de energia em 2001 foi a mudança no hábito de consumo, principalmente no setor residencial, e a utilização de equipamentos que consomem menos energia. Podemos citar como exemplo, o aumento do uso das lâmpadas compactas fluorescentes que têm como principais características uma vida útil maior, uma eficiência luminosa melhor que a lâmpada incandescente, além da redução do consumo de energia devido à sua potência muito mais reduzida.

2.5.2. As lâmpadas no Mercado Brasileiro

As lâmpadas utilizadas na iluminação são classificadas de acordo com o seu mecanismo básico de produção de luz. São elas:

a. Lâmpadas incandescentes

Seu princípio de funcionamento se baseia na emissão de luz pela incandescência de um filamento superaquecido através da passagem de uma corrente elétrica. Em temperaturas mais elevadas, os átomos são excitados e passa a existir a emissão de luz na faixa visível quando estes decaem para um estado de menor energia. Portanto, o filamento de uma lâmpada incandescente deve ser projetado para que a sua temperatura alcance a

incandescência e a porcentagem da radiação emitida na faixa do espectro visível (LIE – PEA).

b. Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga funcionam como o próprio nome diz, através de descargas elétricas em gases que podem ser classificadas em, pelo menos, dois tipos:

- Descarga de “*Townsend*” e
- Descarga luminescente, entre outros tipos.

Uma lâmpada à descarga apresenta um invólucro translúcido, conhecido como tubo de descarga, em cujas extremidades existem eletrodos, que podem ser hastes metálicas ou filamentos, cuja função é emitir elétrons quando aquecidos. No interior do tubo, existe uma mistura de gases com vapor(es) metálico(s) a uma dada pressão. Ao se aplicar uma diferença de potencial externa, os elétrons emitidos pelo eletrodo negativo (cátodo) são acelerados em direção ao eletrodo positivo (ânodo), colidindo no caminho, com átomos do vapor metálico. Colisões elásticas provocam aumento de temperatura sem quebrar a estabilidade do átomo, ao passo que as inelásticas provocam sua ionização. O decaimento do átomo para o seu estado de menor energia é acompanhado de emissão de radiação. A luz emitida pelas lâmpadas à descarga apresenta, em geral, uma distribuição espectral discreta, contendo as raias características dos átomos que compõem o vapor metálico (LIE – PEA).

2.5.3. Lâmpadas incandescentes convencionais

São constituídas de um filamento de tungstênio, mantido no interior de um bulbo sob vácuo ou com uma atmosfera gasosa não halógena. São classificadas de acordo com o seu campo de aplicação:

- a.** Lâmpada de médio e grande porte para orientação e iluminação geral de interiores e exteriores;
- b.** Lâmpadas em miniatura para utilização em aplicações automotivas, sinalização, luminárias portáteis ou de uso especial;
- c.** Lâmpadas fotográficas para aplicações em projetores, estúdio e câmaras escuras e;
- d.** Lâmpadas infravermelhas para aquecimento e aplicações medicinais.

A ilustração apresentada na Tabela 5 exhibe um dos tipos de lâmpadas incandescentes disponível no mercado:

Tabela 5 – Exemplo de lâmpada incandescente

Ilustração	Descrição
Lâmpada incandescente – iluminação decorativa

(Fonte: Catálogo Osram)

2.5.4. Lâmpadas incandescentes halógenas

A lâmpada halógena é uma lâmpada incandescente à qual se adiciona um elemento halógeno, em geral, iodo ou bromo.

O elemento halógeno reage quimicamente com as partículas de tungstênio sublimadas, formando haletos que apresentam uma temperatura de condensação inferior a 250°C. Mantendo-se a temperatura do bulbo acima deste valor, evita-se o depósito de material sublimado sobre o mesmo. Por outro lado, correntes térmicas transportam os haletos novamente para as regiões de alta temperatura onde ocorre a sua dissociação e o tungstênio retorna ao filamento. A necessidade de elevadas temperaturas de filamento exige a presença de uma atmosfera protetora, geralmente uma mistura de nitrogênio com um gás inerte (argônio ou criptônio) na proporção de 0,1% a 1% do elemento halógeno, para reduzir a taxa de sublimação do tungstênio.

A ilustração apresentada na Tabela 6 exibe alguns tipos de lâmpadas incandescentes halógenas disponíveis no mercado.

Tabela 6 – Exemplo de lâmpada incandescente halógenas

Ilustração	Descrição
Lâmpada halógena dicróica
Lâmpada halógena refletora
Lâmpadas halógenas
Lâmpada halógena – refletor dicróico

(Fonte: Catálogo Osram)

2.5.5. Lâmpadas à descarga de baixa pressão

As lâmpadas à descarga de baixa pressão utilizam vapores metálicos (mercúrio ou sódio) a pressões da ordem de 10^{-3} atmosferas e operam com uma densidade de potência de arco da ordem de 0,5 W/cm a 2 W/cm. A radiação emitida pela descarga apresenta uma distribuição espectral, onde se destacam as raias predominantes dos átomos que constituem o vapor metálico. Estão disponíveis no mercado as lâmpadas à descarga de baixa pressão de vapor de mercúrio, conhecidas como lâmpadas fluorescentes.

a. Lâmpadas fluorescentes

Nessa lâmpada, o tubo de descarga de vidro transparente, é revestido internamente com uma camada de pó branco, genericamente conhecido com fósforo. Esse material atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível. Na Tabela 7 são apresentados alguns exemplos de lâmpadas fluorescentes comuns disponíveis no mercado.

Tabela 7 – Exemplo de lâmpada fluorescente comum

Ilustração	Descrição
Lâmpadas fluorescentes tubulares comuns
Lâmpadas fluorescentes tubulares “Energy Saver”

(Fonte: Catálogo Osram)

b. Lâmpadas fluorescentes compactas

Esta lâmpada foi introduzida no mercado no início da década de 80 e apresenta alguns detalhes construtivos que a diferenciam das lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais, porém, seu princípio de funcionamento é idêntico. Ela é constituída de um tubo de vidro do tipo T4 ou T5 (que representa o diâmetro do tubo), com revestimento de “tri-fósforo” e filamentos nas suas extremidades. Existem diversas formas construtivas para o tubo de descarga. Podemos citar as mais comuns:

- a) um tubo único curvado em “U”;
- b) dois tubos independentes, unidos por uma ponte;
- c) três tubos independentes, unidos por uma ponte, e
- d) dois tubos entrelaçados formando um espiral.

Em geral, a lâmpada compacta só apresenta duas conexões elétricas, uma vez que os filamentos encontram-se ligados em série através de um “starter”, o qual fica alojado num invólucro na base da lâmpada.

Abaixo, a Tabela 8 mostra exemplos do mercado das lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 8 – Exemplo de lâmpada fluorescente compacta

Ilustração	Descrição
Lâmpada compacta fluorescente (dupla)
Lâmpada fluorescente compacta com reator eletrônico incorporado

Lâmpada
fluorescente
compacta
“flat”

Lâmpada
fluorescente
compacta
longa

Lâmpada
fluorescente
compacta
simples

Lâmpada
fluorescente
compacta para
corrente
contínua

Lâmpada
fluorescente
compacta tripla

2.6. Reatores para lâmpadas de descargas: a realidade brasileira

Reatores são equipamentos auxiliares necessários para o acendimento de lâmpadas de descarga (fluorescentes ou HID “High Intensity Discharge”). Servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito funcionamento das lâmpadas. Podem ser eletromagnéticos ou eletrônicos.

A correta aplicação dos reatores garante melhor desempenho para os projetos elétricos e luminotécnico, contribuindo diretamente para a manutenção do fluxo luminoso para a vida útil da lâmpada.

2.6.1. Eletromagnéticos

Os eletromagnéticos fazem parte da primeira geração de reatores. São constituídos por um núcleo de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster e com carga mineral, tendo grande poder de isolamento e dissipação térmica. Conhecidos como reatores “pesados”, são divididos em duas categorias por princípio de funcionamento:

- Partida convencional: precisam de um “*starter*” para o acendimento da lâmpada. Indicados para locais úmidos, de baixa temperatura ou sem condições de aterramento, e
- Partida rápida: não há necessidade de “*starter*” e a lâmpada acende rapidamente (desde que associado ao uso de uma luminária de chapa metálica devidamente aterrada). Nesse tipo, os filamentos são aquecidos constantemente pelo reator, o que facilita o acendimento da lâmpada em curto espaço de tempo. Indicados para ambientes agressivos como, por exemplo, locais onde se faz galvanoplastia.

Há divergências quanto ao futuro dos reatores eletromagnéticos. Alguns fabricantes acreditam que acabarão sendo definitivamente substituídos, pois a tecnologia dos reatores eletrônicos está em plena evolução e conquista cada vez mais espaço. Há fabricantes, entretanto, que afirmam que ainda há o que evoluir na tecnologia eletromagnética, mas reatores deste tipo ainda serão largamente consumidos por um bom tempo. Defendem que, analisando-se, por exemplo, reatores HID, a família dos eletrônicos está limitada industrialmente à potência de 150 W e se restringe, na maioria dos casos, à iluminação interna. O serviço pesado fica por conta dos eletromagnéticos que, além de atenderem a todas as potências (até 3500 W), são extremamente resistentes, tanto a intempéries atmosféricas quanto a oscilações da rede elétrica, com vida média superior a 20 anos. Esta é uma das razões pelas quais em lâmpadas de descarga à alta pressão – como as de vapor de

mercúrio, vapor de sódio ou multivapores metálicos, entre outras – de potências superiores a 150 W – são normalmente utilizados reatores do tipo eletromagnético.

Algumas lâmpadas necessitam de um ignitor, que tem a função semelhante ao “*starter*” nas fluorescentes. Todos os ignitores são eletrônicos.

Os ignitores fornecem um pico de tensão para o acendimento da lâmpada e para que as do tipo de descarga de alta pressão acendam corretamente, deverá ser obedecida uma distância máxima entre reator e lâmpada, caso contrário, pode ocorrer queda de tensão. Essa distância varia de acordo com o tipo de lâmpada.

2.6.2. Eletrônicos

Os reatores eletrônicos são aqueles constituídos por componentes eletrônicos (capacitores, indutores, resistores, circuitos integrados e outros).

Operam em alta frequência (de 20 KHz a 50 KHz), proporcionando economia de energia, pois os reatores eletrônicos têm menores perdas elétricas, comparados com os reatores eletromagnéticos.

Presentes no mercado desde meados dos anos 80 são o que há de mais moderno em termos de reatores para lâmpadas de descarga. No Brasil, a empresa Begli iniciou o desenvolvimento de reatores eletrônicos nacionais para lâmpadas fluorescentes, de forma pioneira, em 1985.

Conhecidos como reatores “leves”, os eletrônicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos eletromagnéticos, entre as quais:

- São mais compactos;
- Mais leves;
- Consomem menos energia;
- Aumentam a vida útil das lâmpadas;
- Eliminam efeitos estroboscópicos;
- São mais eficazes;
- Apresentam versões diferenciadas de acendimento;
- Proporcionam uma luz com cor mais estável, e
- Apresentam melhor manutenção lumínica (condições que garantam uma melhor luminância na área)

Quanto ao acendimento da lâmpada, podem ser de:

- Partida rápida ou programada: o acendimento controla eletronicamente o sistema de preaquecimento dos filamentos da lâmpada. O reator gera uma pequena tensão em cada filamento e, em seguida, uma tensão de circuito aberto surge entre os extremos da lâmpada. O tempo entre a energização do reator e o acendimento das lâmpadas fluorescentes ocorre em torno de 1 a 2,5 segundos.
- Partida instantânea: nesse sistema não há o pré-aquecimento dos filamentos. O reator gera diretamente a tensão de circuito aberto para o acendimento instantâneo das lâmpadas fluorescentes.

Independente do tipo de partida, o reator deve assegurar as características necessárias para o correto funcionamento da lâmpada, sem comprometer sua vida útil ou mediana.

Suas principais características são:

- Alto fator de potência (os de qualidade superior);
- Alta frequência (elimina o efeito estroboscópico e o de cintilação);
- Baixa carga térmica, que resulta em economia de energia;
- Aumento de vida útil da lâmpada em 50% (os de alta performance);
- Economia de energia em torno de 50%, e
- A possibilidade de dimerização e utilização de sistemas inteligentes, com redução no consumo de energia de até 70% em comparação com os eletromagnéticos.

Tais características dependem, entretanto, da qualidade de projeto e fabricação do produto. O fato de o reator ser eletrônico, não significa, necessariamente, que corresponderá a todas as vantagens que se espera de um modelo desta tecnologia.

Por serem equipamentos eletrônicos de alta frequência, podem causar interferências que vão desde ruídos no rádio ou estremelecimento de imagem da TV, até o colapso de sistemas de computadores, comunicação, segurança, monitores hospitalares, entre inúmeros outros, caso não possuam filtros contra estas interferências.

Quando se deseja um sistema elétrico de qualidade, como instalações em bancos, lojas, indústrias, hospitais, escritórios e grandes obras, convém optar por reatores de alta performance.

2.6.3. Diferenças entre baixa e alta performance

Esta classificação diz respeito apenas aos reatores eletrônicos.

Os reatores eletrônicos de baixa performance são conhecidos como “acendedores eletrônicos”, porque acendem a lâmpada única e exclusivamente, espalhando sujeira (tecnicamente chamada de harmônicos) na corrente elétrica. Normalmente são de menor custo, de baixo fator de potência e reduzem a vida útil da lâmpada em 50%. Nessa linha mais barata de reatores existem alguns que até são de alto fator de potência – o que não deve ser confundido com alta performance.

Os reatores eletrônicos de alta performance possuem alto fator de potência, filtros harmônicos e proteções contra sobretensão, sobrecorrente e condições anormais. Um de seus indicadores de qualidade é a THD (Taxa de Distorção Harmônica), cujo valor deve ser menor que 30% (mínimo exigido pela norma ABNT 14418).

2.6.4. Reatores dimerizáveis

Uma enorme vantagem dos reatores eletrônicos é poderem ser dimerizáveis em uma ampla faixa. Este avanço tecnológico permite o controle do nível da iluminação fluorescente – o que era impossível até então. Pode-se conseguir uma economia de energia de até 70% em relação a um sistema com os reatores eletromagnéticos.

Os modelos dimerizáveis podem ser usados em conjunto com sensores de presença e de movimento, possibilitando a integração a sistemas de controle e gerenciamento inteligentes.

2.6.5. Certificação

As LFC foram tomando espaço no mercado de iluminação e a exigência da qualidade e a questão segurança virou preocupação tanto para a população como para os fabricantes. Para a população, a garantia de adquirir um produto com durabilidade era muito importante. Para os fabricantes a preocupação era garantir que o produto tivesse uma qualidade e garantisse a segurança para seus usuários. Por isso a questão de padronização de características dos produtos, ou melhor, o surgimento de normas que determinavam os fatores limitantes para aceitação dos produtos pelos segmentos foi amplamente discutido por fabricantes do produto, comerciantes, usuários, órgãos de defesa do consumidor e empresas concessionárias de energia elétrica.

O processo de certificação para reatores eletrônicos foi coordenado pelo INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – com o objetivo assegurar que os produtos comercializados no mercado brasileiro estejam em conformidade com os requisitos exigidos pela ABNT (normas NBR14417 e NBR14418/1999). Pela Portaria 27 de 14 de fevereiro de 2002, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC, todos os

reatores eletrônicos só podem ser comercializados se apresentarem certificação acompanhada de selo do INMETRO.

Alguns fabricantes, entretanto, alertam aos especificadores e consumidores sobre o fato de que a certificação é apenas uma condição prévia para que o produto chegue ao mercado, mas não representa, nem garante qualidade do produto.

A certificação é um indicador de que o fabricante cumpriu o mínimo necessário especificado na norma, porém a durabilidade e a confiabilidade do reator estão no esmero do projeto e na qualidade dos componentes utilizados. O processo industrial precisa de vários controles de qualidade durante o processo, devido ao grande número de componentes eletrônicos montados e interligados um a um. A Tabela 9 apresenta uma comparação entre os reatores eletromagnéticos e eletrônicos.

Tabela 9 – Comparação entre reatores eletromagnéticos e eletrônicos

REATORES			
Equipamentos auxiliares necessários para o acendimento de lâmpadas de descarga			
Eletromagnéticos (primeira geração de reatores)		Eletrônico (tecnologia mais moderna)	
Partida Convencional (precisam de “starter”)	Partida Rápida (não precisam “starter”)	Partida Rápida	Partida Instantânea
Características		Características	
<ul style="list-style-type: none"> • Grande poder de isolamento e dissipação térmica • Normalmente utilizados em lâmpadas de descarga de alta pressão, como as de vapor de mercúrio, vapor de sódio ou multivapores metálicos, entre outras, de potências superiores a 150 W, sendo que algumas necessitam de um ignitor, que tem a função semelhante ao “starter” nas fluorescentes. • Atendem a todas as potências (até 3.500 W). • Extremamente resistentes tanto à interpéries atmosféricas quanto a oscilações da rede elétrica. • Vida média superior a 20 anos. • Menor preço de aquisição. • Peso e tamanho são desvantagens. 		<ul style="list-style-type: none"> • Alto fator de potência (os de qualidade superior). • Alta frequência (elimina o efeito eletroscópio e o de cintilação). • Baixa carga térmica, que resulta em economia de energia. • Aumento de vida útil de lâmpada em 50% (os de alta performance). • Economia de energia em torno de 50%. • Possibilidade de dimerização e utilização de sistemas inteligentes, com redução no consumo de energia de até 70% na comparação com os eletromagnéticos. • Podem causar interferências que vão desde ruídos no rádio ou estremecimento de imagem da TV, até o colapso de sistemas de computadores, de comunicação, segurança, monitores hospitalares, entre inúmeros outros, caso não possuam filtros contra estas intrferências. 	

(Fonte: Lume Arquitetura, et al)

2.7. Compatibilidade Eletromagnética

2.7.1. Introdução

Esta seção apresenta aspectos relevantes da EMC, um breve histórico de EMI (Interferência Eletromagnética), a certificação de produtos, aspectos da normalização, a marcação CE, marcas de conformidade, termos básicos, definições e ainda a Figura 12 mostra um organograma que apresenta o resumo das categorias básicas de EMC, ressaltando a emissão conduzida como ponto abordado neste trabalho.

Figura 12 – Categoria básica da EMC

Fonte: (Magnus, et al, 2001)

2.7.2. Aspectos gerais

Em um ambiente doméstico, quando um eletrodoméstico interfere em outro, como uma batedeira gerando chuva no televisor ou o mau contato em um interruptor provocando interferência eletromagnética no rádio, ocorre um problema de EMC. Por definição (IEC 61000-1-1, 1992), a EMC é a característica que equipamentos, dispositivos ou sistemas possuem de não interferirem ou serem interferidos, quando localizados em um determinado ambiente. Um ambiente pode ser um equipamento, uma sala, uma fábrica, uma região ou um território. A Figura 13 ilustra um

problema de compatibilidade entre dois microcomputadores, onde está indicada tanto a interferência conduzida que pode haver através do cabo de alimentação como a interferência irradiada que pode se propagar por ondas eletromagnéticas.

Quando há um problema de EMC em um ambiente caracterizado pela degradação no funcionamento de um equipamento, dizemos que o equipamento está sendo interferido, ou está sob a ação de uma EMI. Podemos, com toda certeza, dizer que um ou mais de um equipamento neste ambiente, não atende aos requisitos apresentados pelas normas pertinentes em relação a EMI.

A EMI é um problema sério e uma forma crescente de poluição ambiental. Seus efeitos podem ser pequenos, como um ruído perturbador em um receptor de rádio, ou grande, como um risco de acidente com uma aeronave ao sofrer uma interferência quando está em procedimento de aterrissagem, ou ainda o risco de falha de equipamentos que mantêm um paciente vivo durante uma cirurgia.

Figura 13 – Compatibilidade entre dois microcomputadores

Fonte: (Magnus, et al, 2001)

2.7.3. Definições

Os termos e definições sobre EMC podem ser divididos em três grupos, que serão apresentados a seguir, sendo considerados de fundamental importância para uma interpretação com melhor entendimento, principalmente quando o objetivo for aplicações práticas ligadas ao desenvolvimento e avaliação de sistemas eletromagneticamente compatíveis.

2.7.4. Termos básicos

O primeiro grupo é formado por termos básicos que são:

- a) Meio Eletromagnético – é a totalidade de fenômenos eletromagnéticos existente em um dado local;
- b) Distúrbios Eletromagnéticos – é qualquer fenômeno eletromagnético que pode degradar a performance de um dispositivo, equipamento ou sistema;
- c) Interferência eletromagnética (EMI) – é a degradação da performance de um dispositivo, equipamento ou sistema causado por distúrbios eletromagnéticos;
- d) Compatibilidade eletromagnética (EMC) – é a característica apresentada por um equipamento ou sistema, de operar satisfatoriamente em um meio eletromagnético sem sofrer uma interferência e sem introduzir indesejáveis distúrbios neste ambiente;
- e) Emissão (eletromagnética) – é o fenômeno pelo qual a energia eletromagnética emana de uma fonte;
- f) Degradação (de performance) – é uma falha indesejável na performance operacional de um dispositivo, equipamento ou sistema;
- g) Rádio interferência – é a degradação na recepção de um sinal recebido, causado por um distúrbio eletromagnético que têm componentes dentro do espectro de rádio-frequência;
- h) Imunidade (a um distúrbio) – é a característica de um dispositivo, equipamento ou sistema de operar sem degradação na presença de um distúrbio eletromagnético, e
- i) Susceptibilidade (eletromagnética) – é a falta de proteção de um dispositivo, equipamento ou sistema para operar sem degradação, na presença de um distúrbio eletromagnético. É o oposto de imunidade.

2.7.5. Termos combinados

O segundo grupo é formado por termos combinados que são:

- a) Nível de emissão (de uma fonte de distúrbio) – é o nível de um dado distúrbio eletromagnético emitido por um dispositivo, equipamento ou sistema, medido através de algum método;
- b) Limite de emissão (de uma fonte de distúrbio) – é o nível máximo de emissão admissível para um dispositivo, equipamento ou sistema;

- c) Nível de imunidade – é o nível de um dado distúrbio eletromagnético, incidente de alguma forma em um dispositivo, equipamento ou sistema, sem ocorrer nenhum grau de degradação no funcionamento, e
- d) Limite de imunidade – é o nível mínimo de imunidade requerido para um dispositivo, equipamento ou sistema.

2.7.6. Termos interrelacionados

O terceiro grupo é formado por termos interrelacionados que são:

- a) Margem de emissão – é a razão entre o nível de compatibilidade eletromagnética e o limite de emissão;
- b) Margem de imunidade – é a razão entre o limite de imunidade e o nível de compatibilidade eletromagnética, e
- c) Margem de compatibilidade (eletromagnética) – é a razão entre o limite de imunidade e o limite de emissão.

2.8. Interferência eletromagnética

As emissões eletromagnéticas são interferências causadas por um equipamento, dispositivo ou sistema, que são divididas em dois tipos, de acordo com o meio de propagação:

- a) interferências irradiadas, e
- b) interferências conduzidas.

As interferências irradiadas são as que se propagam através de campos eletromagnéticos, enquanto as interferências conduzidas propagam-se por cabos de alimentação ou por interligações físicas entre equipamentos, dispositivos ou sistemas. Para exemplificar as interferências irradiadas, temos os sinais gerados por uma emissora de rádio, que causam interferência em outras emissoras de rádio. No caso das interferências conduzidas, podemos citar os distúrbios gerados por um equipamento de potência acionado por tiristores.

2.9. Susceptibilidade eletromagnética

A suscetibilidade eletromagnética é a falta de proteção contra EMI, apresentada por um equipamento, quando submetido a um ambiente que apresenta fenômenos eletromagnéticos, tais como:

- a) Interferências irradiadas;
- b) Interferências conduzidas, e
- c) Interferências eletrostáticas.

2.10. A EMC e a Eletrônica de Potência

Nos últimos anos, a EMC tornou-se um tópico muito importante no campo da Eletrônica de Potência. Os problemas causados pela interferência de ruídos eletromagnéticos atingem um espectro de frequência muito grande, que pode ir desde alguns ciclos da rede de alimentação até às frequências de comunicações extremamente altas.

Como atualmente a maioria dos equipamentos eletro-eletrônicos utiliza conversores CA-CC ou CC-CC, o estudo da EMI na Eletrônica de Potência é plenamente justificável e necessário. As interferências eletromagnéticas geradas por um conversor podem comprometer o funcionamento de outros equipamentos que estiverem conectados à rede de alimentação ou outro meio de propagação.

Do ponto de vista da Eletrônica de Potência, a Emissão conduzida é de grande relevância, podendo interferir diretamente na qualidade de energia e, conseqüentemente, em outros equipamentos que estão conectados à mesma rede de alimentação.

A influência da EMI injetada na rede de alimentação CA por conversores de potência, como por exemplo, fontes chaveadas devem ser levadas em consideração. Isto porque os conversores devem atender às normas e regulamentações internacionais de EMI, as quais limitam a geração de ruído conduzido e irradiado.

As emissões conduzidas por estes equipamentos ocupam uma faixa que vai de 20 Hz, um pouco acima da faixa audível, até próximo a 30 MHz, dependendo da frequência do conversor e da tecnologia utilizada. Os circuitos conversores da maioria das fontes de alimentação dos equipamentos domésticos, comerciais e industriais trabalham em frequências fixas entre 20 kHz e 150 kHz, embora haja casos em que estes circuitos trabalhem em frequências mais baixas. Nas frequências mais altas operam conversores especiais que utilizam tecnologias mais avançadas

especialmente concebidas para reduzir as perdas de comutação. Na Tabela 10 estão apresentados alguns exemplos de conversores utilizados comercialmente, com frequências de operações e funções respectivamente.

Tabela 10 – Exemplo de aplicações de conversores de potência

Equipamentos	Frequências	Função
Fonte Chaveada	20 – 100 kHz	Suprir energia à carga
Reator Eletrônico	20 – 50 kHz	Alimentar lâmpada de descarga
UPS	2 – 20 kHz	Fornecimento de energia ininterrupto
Inversores	2 – 20 kHz	Acionamento de máquinas elétricas

Fonte: (Magnus, et al, 2001)

Outro ponto muito importante tem sido a redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos, pois hoje o tempo de vida de um produto no mercado é muito curto, principalmente devido à rápida evolução tecnológica.

3. Certificação e Normalização

3.1. Introdução

As lâmpadas fluorescentes compactas iniciaram seu crescimento no mercado de iluminação por volta do ano 2000 através de importações. Esse aumento substancial de produtos gerou na sociedade uma preocupação quanto a vários aspectos, sendo um deles a qualidade de energia pelo fato das LFC incorporarem um reator eletrônico com a função de proporcionar à lâmpada, tensão elétrica em alta frequência (da ordem de dezenas de kHz) normalmente para sua alimentação e para facilitar a ignição, eliminando a necessidade do starter utilizado nas lâmpadas fluorescentes tradicionais que utilizam reator eletromagnético.

Outro aspecto que preocupou bastante foi a questão da durabilidade, cuja expectativa era da ordem de 10.000 horas de uso contra a de 1.000 horas de uso médio das lâmpadas incandescentes, daí a necessidade da padronização dos produtos colocados no mercado.

Com essa necessidade, as normas técnicas sobre as LFC foram surgindo e, conseqüentemente, a certificação passou a ser um item diferencial na concorrência dos importadores/fabricantes.

3.2. Certificação

Certificação é o procedimento pelo qual um organismo certificador, também chamado de terceira parte, dá uma garantia escrita de que um produto ou sistema está em conformidade com requisitos especificados, após serem feitos ensaios exigidos pelas normas pertinentes em um laboratório credenciado para tal finalidade. Essa garantia é fornecida através de uma marca registrada, que indica que um produto ou sistema cumpre as exigências de uma norma específica ou diretiva.

A seguir, na Figura 14, podemos observar a etiqueta de um produto com algumas marcas de conformidade como, por exemplo, a marca dos Estados Unidos (UL), a marca do Canadá (CSA), a marca da Alemanha (VDE) e a marca CE da comunidade européia, entre outras. Além das marcas de conformidade, também está indicada a norma a que o produto atende a norma internacional IEC 60950, cujo escopo é a segurança de equipamentos ligados à tecnologia de informação, ou seja, qualquer equipamento utilizado para processamento de informações como, por exemplo: microcomputador, impressora, fax, copiadora e outros equipamentos conectados aos que foram citados.

Figura 14 – Marcas de Conformidade

Fonte: (Magnus, et al, 2001)

3.3. A Normalização

A normalização é o processo de estabelecer e aplicar parâmetros a fim de abordar ordenadamente uma atividade específica, com a participação de todos os interessados, levando em conta as condições funcionais e as exigências de segurança. Seus objetivos são:

- Proporcionar uma maior troca de informações entre clientes e fornecedores, com vistas a garantir a confiabilidade entre produtos;
- Padronizar para haver uma compatibilidade entre produtos;
- Garantir os direitos do consumidor através da garantia da qualidade;
- Garantir a segurança do usuário através da conformidade com as Normas, e
- Eliminar barreiras comerciais com adoção de critérios únicos.

Os principais órgãos responsáveis pela Normalização são:

- A nível internacional, a Organização Internacional de Normalização (ISO), a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), entre outras;
- A nível regional, o Comitê MERCOSUL de Normalização (CMN), a comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT), o Comitê Europeu de Normalização (CEN), entre outros;
- A nível nacional, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Instituto Argentino de Normalização (IRAM), o Instituto de Normalização Nacional Americano (ANSI), o Instituto de Normalização Britânica (BSI), entre outros.

3.4. Órgãos regulamentadores

Os órgãos regulamentadores têm como função controlar a aplicação das normas pertinentes em uma determinada área de abrangência ou país. Cabe a estes órgãos publicar portarias, nas quais estão definidas as regras de fiscalização e controle das marcas ostentadas nos produtos.

3.5. Normas aplicadas à LFC

A partir 1999 os órgãos regulamentadores publicaram uma série de leis, resoluções, normas e portarias que regulamentaram a qualidade das LFC no mercado brasileiro.

A primeira delas foi a Resolução nº 334 de 02 de dezembro de 1999 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Essa resolução autorizava as Concessionárias do Serviço Público de Energia Elétrica a desenvolverem, dentro dos seus programas de combate ao desperdício de energia elétrica, projetos que visassem à melhoria do fator de carga de unidades consumidoras localizadas em suas respectivas áreas de concessão, ou seja, iniciava-se o programa de Eficiência Energética, ou seja, o incentivo ao investimento em projetos que visassem o combate ao desperdício de energia.

Em 2000, a Associação Brasileira de Normas Técnicas lançou as normas NBR14538 e NBR14539, que dizem respeito às lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – requisitos de segurança e desempenho respectivamente.

O principal objetivo da NBR 14538 é especificar os requisitos de segurança e intercambialidade, juntamente com os métodos de ensaio e condições requeridas, e assim demonstrar a conformidade de lâmpadas fluorescentes tubulares com dispositivos integrados à base para controlar o acendimento e o funcionamento estável (lâmpadas com reator integrado), destinadas ao uso doméstico e iluminação geral similar, tendo:

- Potência nominal até 60W, inclusive;
- Tensão nominal de 100V a 250V;
- Frequência nominal de 50Hz ou 60Hz;
- Base com rosca Edson.

Já a NBR 14539 tem como principal objetivo especificar os requisitos de desempenho, juntamente com os métodos de ensaio e as condições requeridas para demonstrar a conformidade de lâmpadas fluorescentes tubulares.

Podemos destacar nessa última as observações quanto à manutenção do fluxo luminoso. Ela sugere que após 2000h de funcionamento, incluindo o período de sazonalidade, a manutenção do fluxo luminoso não deve ser inferior a 80% do valor declarado pelo fabricante ou vendedor responsável. Quanto à eficiência, ela especifica que o mínimo para uma lâmpada deve ser 40 lm/W, medida logo após o sazonalidade de 100h.

Ainda em 2000, o Presidente da República promulgou a Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000, que obriga as concessionárias e permissionárias a aplicarem, anualmente, o montante de, no mínimo, 75 centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final. Em outras palavras, o que antes era recomendação passou a ser obrigação.¹

Essa lei também definia que o percentual deveria ser aplicado da seguinte forma:

- Os investimentos seriam aplicados de acordo com regulamentos estabelecidos pela ANEEL;
- No mínimo trinta por cento seriam destinados a projetos desenvolvidos por instituições de pesquisa sediadas na região Norte, Nordeste e Centro-Oeste;
- Para instituições de pesquisa e desenvolvimento receptoras de recursos nacionais e reconhecidas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT;
- Para instituições de ensino superior credenciadas junto ao Ministério da Educação e Cultura – MEC.

Em 2001, através da Resolução nº 394, de 17 de setembro, a Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceu critérios para aplicação de recursos em projetos de combate ao desperdício de energia elétrica, por parte das concessionárias e permissionárias do serviço de distribuição de energia elétrica, em medidas que tenham por objetivo a conservação e o combate ao desperdício de energia. Esta resolução estabelece:

- Aplicação anual de, no mínimo, 0,50% (cinquenta centésimos por cento) da Receita Operacional Líquida, calculada de acordo com a Resolução da ANEEL nº 185, de 21 de maio de 2001;

¹ Para uma grande parte das concessionárias, a obrigatoriedade da aplicação de recursos anuais em programas de eficiência de energia já existia a partir dos contratos de concessão, porém para outras isso passou a ser uma obrigatoriedade que não existia anteriormente.

- Critérios de projeto no que se refere à Relação Custo Benefício (RCB) calculada de acordo com o Manual para Elaboração dos Programas Anuais de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica;
- Quando necessário, ações de marketing deverão estar incluídas nos projetos.

Em 2002, a Portaria nº 020 de 29 de janeiro do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC através do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) estabeleceu algumas regras quanto a reatores e lâmpadas fluorescentes tubulares. Esta portaria define que no Sistema Brasileiro de Certificação (SBC) fica mantida a certificação compulsória de reatores, para lâmpadas fluorescentes tubulares fabricados e comercializados no país, ou seja, fica obrigatório o atendimento aos pré-requisitos das normas técnicas em vigor para que seja permitida sua comercialização.

Ainda em 2002, no dia 03 de setembro, a Resolução nº 492 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL altera o percentual sobre a Receita Operacional Líquida que se destina a aplicação em programas de eficiência energética de 0,25% para 0,5% até 31 de dezembro de 2005.

Em 13 de maio de 2004, o INMETRO publicou seu “Regulamento de Avaliação da Conformidade de Lâmpadas Fluorescentes Compactas com reator integrado”, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem. Este regulamento traz as regras para fabricantes/importadores utilizarem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em sua linha de produção, especificamente para as LFC com reator integrado.

No ano de 2006, a Portaria Interministerial nº 132 de 12 de junho institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, com a finalidade de elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, e estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado, além de aprovar a Regulamentação Específica de lâmpadas fluorescentes compactas.

A regulamentação que define os índices mínimos de Eficiência Energética de lâmpadas fluorescentes compactas e estabelece que:

Art. 3º - *O índice de Eficiência Energética a ser utilizado é definido como a razão entre o fluxo luminoso medido e a potência elétrica consumida medida em watts. A potência consumida não deve ser inferior a 90% da potência declarada.*

§ 1º. Para obtenção desse índice será considerada a média aritmética dos valores dos índices de eficiência energética das dez lâmpadas amostradas.

§ 2º. Os índices de Eficiência Energética deverão ser calculados para as medições feitas ao completar 100 horas e 2000 horas de funcionamento.

Art. 4º - Os índices mínimos de eficiência energética a serem atendidos nos ensaios ao completar 100 horas são definidos na TABELA de Índices Mínimos de Eficiência Energética – 100h.

Tabela 11 – Índices mínimos de Eficiência Energética – 100 horas

LFC sem invólucro	Índice Mínimo (lumens/watt)
Potência da lâmpada ≤ 8 W	43,0
$8W < \text{Potência da lâmpada} \leq 15W$	50,0
$15W < \text{Potência da lâmpada} \leq 25W$	55,0
$25W < \text{Potência da lâmpada}$	57,0
LFC com invólucro	Índice Mínimo (lumens/watt)
Potência da lâmpada ≤ 8 W	40,0
$8W < \text{Potência da lâmpada} \leq 15W$	40,0
$15W < \text{Potência da lâmpada} \leq 25W$	44,0
$25W < \text{Potência da lâmpada}$	45,0
Obs.: Entende-se como LFC com invólucro quando esta recebe uma cobertura adicional sobre o tubo de descarga podendo o invólucro ser transparente ou translúcido	

Fonte: (PRI nº 132/2006)

§ 1º. Os índices mínimos de Eficiência Energética a serem atendidos nos ensaios ao completar 2000 horas de funcionamento são iguais a 80% daqueles definidos na Tabela 11.

Em 16 de novembro de 2006 a Portaria nº 289 do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, através do INMETRO, aprova o Regulamento de Avaliação da Conformidade de Lâmpadas Fluorescentes Compactas com reator integrado e institui, no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, a **etiquetagem compulsória** de lâmpadas fluorescentes com reatores integrados, ou seja, fica estabelecido que a partir desta portaria, que para a certificação passa a ser obrigatório o atendimento dos pré-requisitos das normas em vigor, e assim permitindo sua comercialização.

Podemos, agora, fazer um resumo geral da normalização das LFC que está sendo apresentados na Tabela 12 a seguir:

Tabela 12 – Resumo da Normalização das LFC no Brasil

Data	Legislação	Órgão responsável	O que determina
	Contratos de concessão	ANEEL	Já obrigava algumas concessionárias a aplicar um percentual de receita em projetos de eficiência energética
02/12/1999	Resolução nº 334	ANEEL	Início dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento na área de Eficiência Energética - Recomendação
06/2000	NBR 14538	ABNT	Requisitos de segurança e intercambialidade das LFC tubulares
06/2000	NBR 14539	ABNT	Requisitos de desempenho juntamente com os métodos de ensaio e as condições requeridas para demonstrar a conformidade das LFC tubulares
24/07/2000	Lei nº 9.991	Congresso Nacional	Determina que as Concessionárias devam aplicar no mínimo, 75 centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final (neste caso, obrigou a todos que ainda não praticavam)
17/09/2001	Resolução nº 394	ANEEL	Aplicação anual de, no mínimo, 0,50% (cinquenta centésimos por cento) da Receita Operacional Líquida por parte das Concessionárias de Energia
29/01/2002	Portaria nº 020	MDIC - INMETRO	Fica mantida a certificação compulsória de reatores para lâmpadas fluorescentes tubulares fabricados e comercializados no país
03/09/2002	Resolução nº 492	ANEEL	Altera o percentual sobre a Receita Operacional Líquida que se destina a aplicação em programas de eficiência energética de 0,25% para 0,5% até 31 de dezembro de 2005.
13/05/2004	Etiquetagem	INMETRO	Regras para fabricantes/importadores

RESP/010 - LUZ			utilizarem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em sua linha de produção, especificamente para as LFC com reator integrado.
12/06/2006	Portaria Interministerial nº 132	MME, MCT, MDIC	Institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE com a finalidade de elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia além de definir os índices mínimos de Eficiência Energética de lâmpadas fluorescentes compactas
16/11/2006	Portaria nº 289	MDIC	Institui no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, a etiquetagem compulsória de lâmpadas fluorescentes com reatores integrados

3.6. Principais normas EMC

A Tabela 13 apresenta as principais normas internacionais existentes sobre a EMC, além dos limites apresentados pelas normas mais relevantes, e os principais órgãos regulamentadores e suas faixas de abrangências para a EMI. Na sequência será dada uma atenção especial à norma IEC CISPR 16-1, que especifica os principais requisitos para os equipamentos utilizados nos ensaios de EMI.

As principais normas são:

Tabela 13 – Principais Normas sobre EMC

Norma	Descrição
IEC61.000-1-1	Aplicação, interpretação de definições consideradas básicas para a EMC.
IEC61.000-6-3	Recomendações para a emissão de equipamentos elétricos e eletrônicos utilizados em ambientes residenciais, comerciais e industriais de pequeno porte.
IEC60.555-2	Distúrbios em sistemas elétricos causados por equipamentos eletrodomésticos e similares (Harmônicos)

IEC61.000-3-2	Harmônicos de corrente
IEC61.000-3-3	Flutuações de tensão e de “flicker”
NBR CISPR 11	Norma brasileira harmonizada com a norma CISPR11 – Equipamentos eletromédicos
IEC CISPR 12	Veículos, barcos e equipamentos que utilizam faíscas como meio de ignição
IEC CISPR 13	Equipamentos de som, televisores e receptores de rádio
IEC CISPR 14	Ferramentas elétricas operadas a motor, utilizadas em ambientes domésticos
IEC CISPR 15	Dispositivos utilizados em iluminação e similares
IEC CISPR 16-1	Métodos e especificação de equipamentos para medição de perturbações radioelétricas e imunidade (Parte 1) – Equipamentos de medição
IEC CISPR 16-2	Métodos e especificação de equipamentos para medição de perturbações radioelétricas e imunidade (Parte 2) – Métodos e medição
ANSI C63.12	Limites para Compatibilidade Eletromagnética – Recomendação Prática
NBR 12304	Limites e métodos de medição de radioperturbação em equipamento para tecnologia da informação
VDE 0871	Método de medidas e limites máximos para EMI, geradas por equipamentos industriais, científicos e eletromédicos

3.7. Limites para EMI estabelecidos nas principais normas

As Normas CISPR 16-1 e CISPR 16-2 apresentam apenas as especificações e parâmetros dos equipamentos de medição, o método de ensaio, disposição dos equipamentos e amostras de ensaio e a área de ensaio. Porém, estas normas não trazem limites para avaliação de conformidade.

As normas que apresentam os limites de EMI, embora esses limites sejam bastantes próximos, variam de acordo com a aplicação ou o ambiente de utilização. Na Figura 15, estão apresentados os limites EMI de acordo com a Norma Alemã VDE 0871, identificando a sua utilização em equipamentos de acordo com a classe destes. A diferença entre os limites de interferência dos equipamentos de classe A e classe B estão bem caracterizados.

Equipamentos Classe A – Uso mais restrito, utiliza-se de uma distância de proteção de 30m, aplicados em áreas industriais, onde suas interferências não comprometem o desempenho de outros equipamentos.

Equipamentos Classe B – Uso mais comum, com uma distância de proteção de 10m, aplicável a equipamentos de uso doméstico.

Figura 15 – Limites para as interferências conduzidas pela VDE 0871

Fonte: (Magnus, et al, 2001)

Neste trabalho foi utilizada a CISPR 15 para EMI conduzida, reproduzida nas Tabelas de limites.

Tabela 14 – Mínimos valores com faixa de frequência de 150 kHz a 1605 kHz

Faixa de frequência	Valores Mínimos
kHz	dB
150 a 160	28
160 a 1400	28 a 20*
1400 a 1605	20

* Decréscimo linear com escala logarítmica de frequência

Limites dos distúrbios de tensão no terminal da carga para faixa de frequência de 9 kHz a 30 MHz.

Fonte: (STD IEC CISPR 15 – ENGL 2000)

Tabela 15 – Limites de distúrbios de tensão nos valores principais

Faixa de Frequência	Limites dB(μ V)*	
	Quase Pico	Valor Médio
9 kHz to 50 kHz **	110	-
50 kHz to 150 kHz **	90 to 80 ***	-
150 kHz to 0,5 MHz	66 to 56 ***	56 to 46 ***
0,5 MHz to 2,51 MHz	56	46
2,51 MHz to 3,0 MHz	73	63
3,0 MHz to 5,0 MHz	56	46
5 MHz to 30 MHz	60	50

* Na frequência da transição entre faixas, aplicam-se os limites mais baixos

** Os valores limites na faixa de frequência de 9kHz a 150 kHz são considerados “limites provisórios”, que podem ser modificados após alguns anos de experiência

*** Os limites diminuem linearmente com o logaritmo da frequência na escala de 50 kHz a 150 kHz e 150 kHz a 0.5 MHz

Nota: No Japão, os limites na faixa de frequência de 9 kHz a 150 kHz não são aplicáveis. Além disso, o limite de 56 dB (μ V) de quase-pico e de 46 dB (μ V) de Valor Médio aplica-se na faixa de 2.51 MHz e 3 MHz.

Fonte: (STD IEC CISPR 15 – ENGL 2000)

4. Procedimentos experimentais para obtenção das grandezas elétricas

4.1. Definição das amostras

Uma verificação no mercado mostrou que a potência das LFC varia muito de fabricante para fabricante e de modelo para modelo e sua forma construtiva também. Dessa forma, adotou-se que um dos parâmetros utilizados como referência seria o valor de mercado, ou melhor, lâmpadas de valores comerciais bem próximos e de fabricantes diferentes. A forma construtiva das LFC é variada, apresentando lâmpadas com potências iguais, porém com formatos diferentes (2 tubos, 3 tubos, grandes, pequenas, espirais). Assim, conseguimos uma amostra bem variada e que abrange uma boa gama disponível.

Foram selecionadas cerca de 7 LFC, sendo 6 de fabricantes diferentes e uma com forma construtiva diferente das tubulares mais usuais.

A Tabela 16 estabelece as características de cada uma das amostras utilizadas:

Tabela 16 – Dados das amostras utilizadas

Tipo	Fabric.	Potência (W)	Tensão (V)	Temp.Cor (K)	Eficiência (lm/W)	Fluxo Lum. (lm)	Valor Coml. R\$
LFC1	A	20	110/127	6500	55	1100	8,00
LFC2	B	16	110/130	4000	52	900	6,82
LFC3	C	30	127	6500	52	1495	11,15
LFC4	D	11	127	6400	67,6	744	7,40
LFC5	E	25	127	4000	65	1720	10,09
LFC6	F	13	110/130	4000	65	800	6,91
LFC7	F	15	120/127	6500	44	660	8,72

4.2. Procedimento laboratorial

4.2.1. Medições de IEM

Considerando que seriam necessárias medições sob condições padronizadas, optou-se pela utilização de uma metodologia de ensaio de lâmpadas, utilizada em laboratórios comerciais que realizam testes de rotina nas LFC.

As medições foram realizadas em câmara blindada, no laboratório de Ensaio de Compatibilidade Eletromagnética do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. Inicialmente, foram realizadas

medições para obtenção dos índices de distorção harmônicos gerados pelas amostras. A montagem utilizada nas medições foi a mostrada na Figura 16 e definida pela CISPR 15.

Fig. 16. Esquema padrão para a realização das medições de IEM

Fonte: (adaptado de STD IEC CISPR 15 – ENGL 2000)

A Figura 17 mostra o aparelho LISN que foi utilizado na medição.

Fig. 17. LISN (“Line impedance stabilization network”) utilizada nas medições de IEM

4.2.2. O LISN

LISN ou “Line Impedance Stabilisation Network” é uma abreviatura de “Impedância Estabilizada de Rede”.

Um LISN é um dispositivo utilizado para criar uma impedância conhecida em linhas para alimentação do equipamento elétrico durante testes de interferência eletromagnética. Um LISN é projetado tipicamente para permitir medidas de interferência eletromagnética que existe na linha de alimentação. Cumpre três funções principais:

- 1) Filtra a tensão principal e deve bloquear as frequências mais elevadas das frequências principais.
- 2) Deve fornecer uma impedância característica ao dispositivo sob teste.
- 3) A tensão conduzida de interferência produzida pelo dispositivo testado é transferida a um medidor, como por exemplo, um analisador de espectro ou um receptor de IEM.

Fig. 18. Esquema elétrico de um LISN típico, porém para 50 Hz

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/LISN>

Fig. 19. Vista interna LISN

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/LISN>

Obs.: Devido à necessidade de um atenuador de 20 dB na entrada do sinal no aparelho de medição, os valores obtidos foram corrigidos em 20 dB.

O aparelho mostrado na Figura 20 foi utilizado para receber os valores medidos das amostras. Além de receber os valores, existe uma interface com um software do próprio fabricante para

geração de gráficos e para a comparação de valores entre as amostras.

Fig. 20. EMI Receiver utilizado nas medições de IEM

4.2.3. Medições de Grandezas Elétricas

Para medições das grandezas elétricas, tais como: corrente, tensão, harmônicos, THD etc., foi utilizado um analisador de qualidade de energia, com as seguintes características:

Largura de faixa larga: C.C., 2 hertz a 500 kHz

Medidas de tensão CC, corrente e potência, assim como a tensão CA, correntes de 2 Hz a 500 kHz. (Medidas de potência C.A. para frequências de 2 Hz a 300 kHz).

Tecnologia digital de amostragem

Emprega um conversor A/D de 16 bits e uma alta velocidade de processamento com exatidão de 0.03%.

A Figura 21 mostra uma vista frontal do aparelho utilizado.

Fig. 21. Analisador de Qualidade de Energia

As lâmpadas foram submetidas à alimentação em tensão de 110V e 127V durante as medições, considerando tensões usuais de fornecimento de tensão secundária, conforme a região.

A Figura 22 mostra a fonte tensão de baixa distorção harmônica utilizada.

Fig. 22. Fonte de tensão com baixa distorção harmônica

Os valores utilizados como referência para a realização das comparações foram os definidos pela norma CISPR15, reproduzidos na Tabela 17.

Tabela 17 – Limites de distúrbios de tensão nos terminais de alimentação

Faixa de Frequência	Limites dB(μ V)*	
	Quase Pico	Valor Médio
9 kHz to 50 kHz **	110	-
50 kHz to 150 kHz **	90 to 80 ***	-
150 kHz to 0,5 MHz	66 to 56 ***	56 to 46 ***
0,5 MHz to 2,51 MHz	56	46
2,51 MHz to 3,0 MHz	73	63
3,0 MHz to 5,0 MHz	56	46
5 MHz to 30 MHz	60	50

* Na frequência da transição, aplicam-se os limites mais baixos

** Os valores limites na faixa de frequência de 9kHz a 150 kHz são considerados “limites provisórios” que podem ser modificados após alguns anos de experiência

*** Os limites diminuem linearmente com o logaritmo da frequência na escala de 50 kHz

a 150 kHz e de 150 kHz a 0.5 MHz.

Nota: No Japão, os limites da escala de frequência de 9 kHz a 150 kHz não são aplicáveis.

Além disso, o limite de 56 dB (μ V), de quase-pico, e de 46 dB (μ V) para Valor Médio, aplicam-se na faixa de 2.51 MHz e 3 MHz.

Fonte: (STD IEC CISPR 15 – ENGL 2000)

5. Avaliação dos dados obtidos

5.1. Interferência Eletromagnética

Conforme mostrado no capítulo 4, todas as lâmpadas foram ensaiadas da mesma forma e com a mesma aparelhagem. Neste ensaio as amostras foram submetidas ao teste apenas uma vez.

O ensaio consistiu em submeter às amostras às variações de frequências de 9kHz a 30MHz através do esquema de ligação apresentado na Figura 16.

Na análise dos gráficos mostrados, devemos esclarecer o seguinte ponto:

- A norma CISPR 15 determina os valores de pico máximo e os valores médios máximos como indicadores para aprovação das amostras no que diz respeito à interferência eletromagnética emitida. Estes valores são apresentados como sendo as linhas retilíneas indicadas no gráfico. A linha azul, de forma geral, representa o valor de pico máximo, e a linha vermelha, a linha de valor médio. Os valores com grande variação indicam os resultados obtidos após a medição.

Após esclarecer este ponto, podemos analisar então, os primeiros gráficos apresentados.

Para efeito de comparação, iremos apresentar os gráficos obtidos de cada uma das lâmpadas ensaiadas de forma a evidenciar aquelas que estão dentro da faixa especificada pela norma CISPR 15.

Fig. 23. Gráfico obtido após a medição das amostras LFC1(a) e LFC2 (b)

Na Figura 23 (a), o gráfico da amostra LFC1 apresenta valores inferiores àqueles definidos pela norma. Não existe ultrapassagem dos limites definidos, com exceção de uma leitura do valor de

pico, o que não caracteriza que esta amostra esteja fora de norma.

No caso da Figura 23 (b), a ultrapassagem ocorre no intervalo de 150 kHz à 2MHz, aproximadamente. Isso também ocorre no caso dos valores indicados como média máxima: a ultrapassagem chega a 36% do valor estipulado pela norma em seu ponto mais significativo.

A Figura 24 apresenta mais duas amostras para comparação do desempenho neste teste.

Fig. 24. Gráfico obtido após a medição das amostras LFC3(a) e LFC4 (b)

Podemos observar que nos casos apresentados na Figura 24 (a) e (b), ambas as amostras ultrapassam as linhas limítrofes, porém não alcançam os valores apresentados pela amostra LFC2. Na primeira amostra apresentada a ultrapassagem chega a 16% enquanto que na segunda alcança 32% em seu ponto mais significativo.

A Figura 25 apresenta mais duas amostras para comparação do desempenho.

Fig. 25. Gráfico obtido após a medição das amostras LFC5(a) e LFC6 (b)

A Figura 25 (a) e (b) apresenta uma diferença menor que na comparação anterior. A ultrapassagem, no caso da LFC5 alcança cerca de 20% e no caso da LFC6 cerca de 9%.

Para complementar estas comparações, optou-se em utilizar outra amostra de um mesmo fabricante. Dessa forma podemos analisar se o comportamento de ambas é semelhante ou varia conforme os modelos e características.

Fig. 26. Gráfico obtido após a medição das amostras LFC6(a) e LFC7 (b)

Como podemos observar na Figura 26, existe uma diferença nos resultados de uma lâmpada para outra. A lâmpada identificada como amostra LFC7 tem uma ultrapassagem de 36% dos valores de referência em seu ponto mais significativo.

5.1.1. Resumo

Neste item, realizou-se uma comparação dos resultados obtidos na medição de EMI conduzida. Verificamos que dentre as amostras testadas, apenas duas delas não ultrapassam os valores determinados pela norma CISPR 15. Uma observação feita nas amostras é que a ultrapassagem ocorre nos intervalos de 150 kHz e 2MHz.

5.2. Determinação dos índices de harmônicos

As amostras foram testadas de forma a verificarmos os valores de harmônicos gerados por cada uma delas individualmente.

a) Medição das Harmônicas

Para facilitar o entendimento da análise feita, a Tabela 18 apresenta a comparação dos THD de

tensão e corrente obtidas a partir das medições, considerando as duas tensões aplicadas nas amostras.

Pode-se observar que os índices de distorção harmônica individuais são consideráveis.

Tabela 18 – Comparativo das distorções harmônicas de tensão (THDV) e de corrente (THDI) entre amostras

Comparativo entre as amostras (Simulado)						Comparativo entre as amostras (Medido)			
Tipo	Pot. (W)	THD V (%)	THDV (%)	THDI (%)	THDI (%)	THDV (%)	THDV (%)	THDI (%)	THDI (%)
		110 V	127 V	110 V	127 V	110 V	127 V	110 V	127 V
LFC1	20	0,093	0,105	49,463	53,680	0,110	0,120	50,080	54,220
LFC2	16	0,107	0,109	90,831	96,704	0,120	0,140	91,150	97,050
LFC3	30	0,164	0,115	107,184	112,967	0,180	0,200	109,120	115,400
LFC4	11	0,104	0,106	92,354	98,420	0,100	0,130	93,990	100,120
LFC5	25	0,131	0,132	114,817	122,965	0,160	0,180	115,460	124,070
LFC6	13	0,112	0,128	108,575	114,304	0,130	0,140	111,700	117,400
LFC7	15	0,115	0,132	134,410	140,687	0,130	0,150	137,600	144,180
Valores Médios		0,118	0,118	99,662	105,675	0,133	0,151	101,300	107,491

Os valores apresentados como “simulado” foram obtidos através dos valores medidos desde a 1ª a 50ª harmônicas aplicados a planilha de simulação apresentada no item 5.4.1. apresentado a seguir. Já os valores apresentados como “medido” foram os valores obtidos na própria medição.

Na distorção harmônica da tensão, os valores medidos estão dentro dos limites permitidos por normas internacionais (IEC 61000 - < 5%).

Em relação à distorção harmônica de corrente, as diferenças entre a amostra que indicou menor valor e a que indicou maior valor chegou a 171% na tensão de 110V e a 162% na tensão de 127V.

É importante colocar que a amostra LFC7 tem como tensão de alimentação definida pelo fabricante como sendo 120/127V. Assim, o resultado obtido na medição com a tensão de 110V deve ser corrigido para que não haja engano nas considerações a seguir. Dessa forma, devemos considerar que o THDI em 110V seja 116,418%.

Esses índices são muito altos se considerarmos que os produtos passam por processos de fabricação semelhantes.

As Figuras 27 e 28 mostram os gráficos comparativos de distorção harmônica onde se pode comparar, de forma mais clara, as amostras e apontar as diferenças mais significativas no que diz respeito à variação de tensão.

Fig. 27. Comparação das distorções harmônicas de tensão em relação à variação de tensão

Considerando que todos os ensaios foram realizados em laboratório, a distorção harmônica de tensão medida manteve-se em valores muito baixos. A utilização da fonte de baixa distorção harmônica não deve ser considerada como uma situação real onde pode haver distorções na fonte de alimentação e que devem ser levadas em consideração.

Na distorção harmônica de corrente, observamos na Figura 27, que o maior valor de distorção encontrada (amostra LFC7) chega a 140% (116% corrigido) na tensão de alimentação de 127 V, e a 137% na tensão de 110 V. Para a amostra que apresentou menor valor de distorção, os valores encontrados foram de 57% na tensão 127 V e de 55% na tensão 110 V. Esta amostra foi a LFC1.

Fig. 28. Comparação das distorções harmônicas de corrente em relação à variação de corrente

5.3. Simulação das formas de ondas produzidas

As simulações foram realizadas para ilustrar melhor as consequências causadas pelas distorções harmônicas geradas pelas lâmpadas fluorescentes compactas utilizadas como amostras.

Essa ilustração foi simulada através da utilização de uma planilha preparada em Excel alimentada com os valores encontrados nas medições realizadas.

A Figura 29 apresenta a curva simulada da amostra com menor distorção encontrada.

Fig. 29. Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – amostra LFC1(127V)

A Figura 30 mostra a simulação do sinal de corrente senoidal com os índices de distorção harmônica encontrados na amostra com pior desempenho (LFC7).

Fig. 30. Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – amostra LFC7(127V)

5.4. Simulação das formas de ondas produzidas com a combinação de duas ou mais amostras

Outra análise feita foi a combinação de duas amostras simulando uma instalação real, onde a possibilidade da instalação de LFC de fabricantes e potências diferentes é muito comum.

A primeira simulação foi feita a partir da combinação da amostra com melhor desempenho, ou seja, aquela que apresentou menor índice de distorção juntamente com a amostra que apresentou pior desempenho, as amostras LFC1 e LFC7 respectivamente.

A seguir foi simulada a distorção harmônica a partir da combinação de duas amostras com desempenho semelhantes, porém de fabricantes distintos. Neste caso, as amostras utilizadas foram LFC2 e LFC4.

E finalmente foi simulada a distorção harmônica com amostras de desempenhos iguais e de mesmo fabricante. Foi escolhida a combinação de duas amostras LFC7 cujo desempenho foi o pior encontrado.

5.4.1. Cálculos utilizados na simulação

Foi elaborada uma planilha em Excel para simular os valores obtidos ponto a ponto da cada carga e ainda considerando as distorções harmônicas medidas na parte experimental deste estudo.

A taxa de distorção harmônica foi calculada através da equação 1 apresentada abaixo:

$$THD_f = \frac{\sqrt{(h_2)^2 + (h_3)^2 + (h_4)^2 + \dots + (h_n)^2}}{h_1} \times 100\% \quad (1)$$

Onde: $h_1, h_2, \dots, h_n$ representam o valor eficaz das harmônicas de ordem 1, 2, ..., n.

A THD_f representa a distorção harmônica total em relação à componente fundamental.

A corrente “true rms” (i_{rms}) foi calculada através da equação 2 apresentada:

$$I_{rms} = \sqrt{(h_1)^2 + (h_2)^2 + (h_3)^2 + (h_4)^2 + \dots + (h_n)^2} \quad (2)$$

Como exemplo, a Figura 31 mostra um exemplo da planilha preparada para a simulação. Neste exemplo, algumas colunas e linhas foram ocultas para que a imagem pudesse ser colocada neste trabalho. Os ângulos foram definidos com intervalos de 5° e foram consideradas até a 50ª harmônica.

Ângulo (graus)	Ângulo (Radianos)	1	2	3	4	5	Total
Corr.(A)	THD(%)	100,00%	0,01%	1,73%	0,05%	1,39%	
53,94	F.P.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,09	6,65	0,00	0,34	0,01	0,45	10,17
10	0,17	13,25	0,00	0,66	0,02	0,81	16,62
15	0,26	19,74	0,00	0,93	0,03	1,02	21,98
20	0,35	26,09	0,01	1,14	0,04	1,04	28,20
25	0,44	32,24	0,01	1,27	0,04	0,87	34,14
30	0,52	38,14	0,01	1,32	0,03	0,53	39,22
35	0,61	43,75	0,01	1,27	0,02	0,09	44,37
40	0,70	49,03	0,01	1,14	0,01	-0,36	49,25
45	0,79	53,94	0,01	0,93	0,00	-0,75	53,99
50	0,87	58,44	0,01	0,66	-0,01	-1,00	58,24
55	0,96	62,49	0,01	0,34	-0,02	-1,06	62,17
60	1,05	66,06	0,01	0,00	-0,03	-0,92	65,81
340	5,93	-26,09	-0,01	-1,14	-0,04	-1,04	-28,20
345	6,02	-19,74	0,00	-0,93	-0,03	-1,02	-21,98
350	6,11	-13,25	0,00	-0,66	-0,02	-0,81	-16,62
355	6,20	-6,65	0,00	-0,34	-0,01	-0,45	-10,17
360	6,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I _{rms}	53,96	53,94	0,01	0,93	0,03	0,75	53,47
THDI (%)	3%						

Fig. 31. Exemplo da planilha em Excel utilizada nas simulações

5.4.2. Resultados obtidos

Na primeira simulação proposta o sinal obtido está bem atenuado, ou seja, a distorção no sinal total obtida pelas amostras individualmente foi minimizada devido à compensação de um sinal pelo outro. Isto se esclarece pelo fato de que a soma do sinal é feita pontualmente, ou seja, frequência a frequência. A Figura 32 apresenta o sinal obtido a partir da composição das amostras LFC1 e LFC7.

Fig. 32. Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação das amostras LFC1 e LFC7 (127V)

Podemos observar os resultados obtidos através da Tabela 19.

Tabela 19 – Comparativo das distorções harmônicas com a combinação das amostras LFC1 e LFC7

Amostra	LFC1	LFC7	LFC1+LFC7
Irms (A)	0,2197	0,2984	0,5038
THDI	54%	141%	94%

Na segunda simulação onde as amostras com desempenho próximo foram associadas, os valores obtidos seguem um padrão de atenuação da distorção.

A Figura 33 mostra a forma de onda obtida nesta situação.

Fig. 33. Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação das amostras LFC2 e LFC4 (127V)

A Tabela 20 apresenta os valores obtidos neste caso.

Tabela 20 – Comparativo das distorções harmônicas com a combinação das amostras LFC2 e LFC4

Amostra	LFC2	LFC4	LFC2+LFC4
Irms (A)	0,2117	0,2868	0,4988
THDI	98%	97%	97%

Na terceira simulação realizada combinamos cinco lâmpadas de mesmo tipo para verificarmos a atenuação ocorre neste caso.

A Figura 34 mostra a curva obtida após a combinação de cinco vezes a amostra LFC7.

A última simulação realizada foi chamada de Casa Padrão. Nesta simulação, além de algumas amostras do estudo foram incluídas algumas cargas existentes em uma residência que foi considerada como padrão. Nela estão inclusos os seguintes pavimentos: cozinha, lavanderia, banheiro, dois dormitórios, sala de jantar em conjunto com sala de estar.

As cargas incluídas na simulação estão apresentadas a seguir na Tabela 22.

Tabela 22 – Relação de Cargas utilizadas na simulação Casa Padrão

Carga	Potência (W)	Tensão	Quantidade	Corrente Nominal
Lâmpadas LFC7	15	127 V	10	1,18
Chuveiro Elétrico	5.400	220 V	01	24,54
Microondas	1.500	127 V	01	11,81
Tomadas de Uso Específicas	600	127 V	05	23,62
Geladeira	600	127 V	01	4,72
Tomadas de Uso Geral	100	127 V	13	10,24
Televisão	300	127 V	01	2,36
Computador	500	127 V	01	3,94
Torneira Elétrica	3.500	220 V	01	15,91
Ferro de passar roupas	1.500	127 V	01	11,81
Total				57,75

Para o cálculo da corrente total foi considerado um fator de demanda de 0,6 para as tomadas de uso específico e para as tomadas de uso geral. O fator de demanda geral adotado foi 0,6. Para as demais cargas, o fator de demanda adotado foi 1.

A simulação da Casa Padrão foi realizada da mesma forma que as simulações anteriores, ou seja, através de uma planilha em Excel onde as cargas foram acrescentadas considerando as potências dos aparelhos definidas como padrão pelas Concessionárias para o cálculo de demanda.

As cargas resistivas como chuveiro, ferro elétrico, torneira elétrica considerou-se nenhuma distorção. No caso das tomadas de uso geral e específicas não foram consideradas com distorção, pois qualquer carga pode ser ligada às mesmas e estas podem ser de qualquer tipo. As lâmpadas utilizadas nesta simulação foram as amostras que tiveram o pior resultado, ou seja, as amostras LFC7.

Os resultados obtidos foram os apresentados a seguir nas Figuras 35 e 36.

Fig. 35. Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação de aparelhos eletrodomésticos da Casa Padrão

Fig. 36. Gráfico do sinal de corrente com interferência de harmônica – combinação de aparelhos eletrodomésticos + lâmpadas da Casa Padrão

O sinal senoidal obtido e mostrado na Figura 36 apresenta uma distorção de pequeno valor. Isso se deve em razão da soma pontual das curvas dos diversos aparelhos ligados à instalação da Casa Padrão. Na Tabela 23 apresentamos um resumo dos valores obtidos por aparelho e o total.

No caso do computador, da geladeira e da televisão foram utilizados os dados referentes ao estudo intitulado “Corrente harmônicas em aparelhos eletrodomésticos” [Gonzales, Pires, Silva e Almeida, 2005]. Este estudo apresenta os resultados obtidos após medições de várias amostras de aparelhos eletrodomésticos realizadas através de um analisador de qualidade de energia. Os valores adotados são medianos obtidos dos resultados apresentados no referente estudo.

Tabela 23 – Valores de Irms e TDHI adotados para simulação

Carga	Irms (A)	TDHI (%)
Lâmpadas LFC7	3	141
Chuveiro Elétrico	24,55	0
Microondas ²	11,81	0
Tomadas de Uso Específicas	23,6	0
Geladeira	4,74	9
Tomadas de Uso Geral	10,27	0
Televisão	3,47	108
Computador	5,56	100
Torneira Elétrica	15,91	0
Ferro de passar roupas	11,81	0
Total	58,8	9

5.4.3. Resumo

Em geral, as amostras apresentaram um grande índice de distorção harmônica individualmente, porém este valor foi atenuado quando da junção, em uma instalação elétrica residencial, de outras cargas cuja distorção encontrada foi menor, ou ainda, considerando as diversas cargas comuns em uma residência onde chamamos de Casa Padrão.

² Como no citado artigo não foi encontrado nenhum resultado de medição realizada nos microondas e, para que não fosse adotado um valor aleatório sem justificativas, a distorção foi considerada com valor zero. Isso não quer dizer que o mesmo não tenha resultados que devam ser considerados em estudos futuros.

6. Avaliação dos impactos na rede de distribuição

6.1. Um estudo internacional

6.1.1. Objetivos do Estudo

Esta seção apresenta resultados de um amplo estudo internacional visando a avaliação dos impactos na rede de distribuição. O objetivo da pesquisa foi avaliar as lâmpadas fluorescentes compactas de diversos fabricantes europeus e identificar seu comportamento individual e em grupo além de analisar fatores de simultaneidade presentes nas normas aplicadas às lâmpadas. Outro fator investigado foi o efeito das lâmpadas fluorescentes compactas quando da variação de tensão no sistema de alimentação. Além disso, o potencial de economia e os efeitos ecológicos das LFC comparadas às lâmpadas incandescentes foram examinadas.

6.1.2. Lâmpadas Utilizadas

Foram utilizadas as LFC dos seguintes fabricantes:

- General Electric
- Osram
- Philips
- Sylvania

Foram utilizadas cerca de 100 peças de cada uma para efeito de comparação.

A Tabela 24 apresentada a seguir mostra a relação completa das lâmpadas utilizadas neste trabalho.

Tabela 24 – Relação de lâmpadas utilizadas por fabricante

Fabricante	Tipo	Potência em Watts
General Electric	Biax Eletronic	11
	Biax Eletronic	15
	Biax Eletronic	20
	DULUX EL 7	7
	DULUX EL 11	11
Osram	DULUX EL 15	15

	DULUX EL 20	20
	PL – Eletronic/C	9
	PL – Eletronic/C	11
Philips	PL – Eletronic/C	15
	PL – Eletronic/C	20
	Mini-Lynx	7
	Mini-Lynx	11
Sylvania	Mini-Lynx	15
	Mini-Lynx	20
Empresa de Moscou	Aladin	11

Obs.: Atendendo à uma solicitação de uma empresa de Moscou, foi incluída a lâmpada do tipo Aladin de 11 W.

Nesta pesquisa, foram utilizadas 1440 amostras no total. Este número, conforme relatório, foi escolhido pelas seguintes razões:

- O padrão definido por norma é realizar medições para intervalos de corrente de 0,2 a 1,2 x In. Correntes com valores abaixo de 0,2 x In causam erro da medição na ordem de 3% e não há precisão. No intervalo especificado, este valor é de 1%.
- Para o cálculo por meio de simulação, o modelo utilizado neste estudo se mostra muito dependente do número de lâmpadas adotadas. Os resultados esperados para 1440 lâmpadas, na análise de distorção harmônica em corrente (di) são menores que 10%. Assim, ficou definido o uso deste número de amostra por ser mais adequado.

Os modelos de redes utilizadas foram às seguintes descritas a seguir:

- N1 – Estação Spittelbreitengasse da Stadtwerke – VIENA. A estação inclui um transformador de 400 kVA com uma potência de curto-circuito de 7MVA. Ela alimenta cerca de 250 residências.
- N2 – Rede rural de baixa tensão que consiste em fontes de alimentação radiais. Foram divididas em duas partes:
 - a) Pinsdorf – Serviços utilitários na Alta Áustria – Kraftwerke AG (OKA);
 - b) Walchsee – Serviços públicos municipais no domínio da água – Tyrolean Kraftwerke AG (TIWAG).

- N3 – Instalação predial com número elevado de lâmpadas e um elevado número de cargas não lineares de baixa tensão. As medições foram feitas na rede de baixa tensão da Universidade Tecnológica de Viena.

6.2. Resultados do Estudo

A Tabela 25 mostra os valores obtidos nas análises das redes empregadas.

Tabela 25 – Resumo dos valores medidos para as diversas redes utilizadas

Valores de Redes	TU-Wien		Spittelbreiteng WIENSTROM		Pinsdorf OKA		Walchsee TIWAG	
Trafo	S_N	500 kVA	400 kVA	400 kVA	400 kVA	400 kVA	400 kVA	400 kVA
	V	10/0,4 kV	10/0,4 kV	10/0,4 kV	28,75/0,4 kV	28,75/0,4 kV	6/0,4 kV	6/0,4 kV
Fator de distorção da rede du (tensão)	A	B	A	B	A	B	A	B
THDV	3,5 %	7 %	2,5 %	6%	1,2 %	3,5 %	0,6 %	1,7 %
u_3	0,2 %	0,7 %	0,2 %	1,1 %	0,04 %	0,26 %	0,1 %	0,5 %
u_5	3,0 %	6,5 %	2,3 %	5,6 %	0,9 %	3,4 %	0,1 %	1,1 %
u_7	0,3 %	1,5 %	0,3 %	2 %	0,05 %	0,8 %	0,05 %	1,4 %
Fator de distorção da rede di (corrente)	A	B	A	B	A	B	A	B
THDI	12 %	30 %	4 %	15 %	2 %	22 %	2 %	31 %
i_3	3,5 %	7 %	3,5 %	12 %	1,8 %	18 %	1 %	20 %
i_5	10 %	17 %	1,5 %	6 %	0,1 %	11 %	0,5 %	14 %
i_7	3 %	10 %	0,2 %	2,5 %	0,5 %	7 %	0,1 %	9 %

Fonte: (Brauner, Wimmer, 1995)

Na Tabela 23, podemos notar que existe uma grande diferença de fatores de distorção de uma rede para outra.

Segundo o autor do trabalho, os valores de THDV e THDI apresentados mostram uma variação grande. Na coluna A, podemos observar os valores obtidos considerando metade da carga utilizada na simulação, ou seja, 720 LFC, e, na coluna B, os valores obtidos com a totalidade da carga definida anteriormente, ou seja, 1440 lâmpadas.

6.3. Conclusões do Estudo

Este estudo teve o objetivo de avaliar o comportamento das redes na presença das lâmpadas compactas fluorescentes disponíveis no mercado. A partir das medições realizadas, descobriu-se uma grande relação entre os valores de distorção da forma de onda com a distorção da fonte de

alimentação, ou seja, quanto maior esta distorção, maior a contribuição das cargas na distorção de corrente. Se as cargas examinadas forem de um mesmo tipo de LFC então a distorção obtida é muito significativa, levando em conta a contribuição da fonte de tensão. Entretanto, existe uma considerável redução quando a carga é composta por LFC de diferentes fabricantes.

As distorções totais foram obtidas, primeiramente, pela medição da rede considerando o maior número de LFC, ou seja, 1440 unidades. O registro de todos os dados de cada rede, separadamente, possibilitou a obtenção dos ângulos de fase e, conseqüentemente, a análise de possível extinção de efeitos com a sobreposição dos resultados.

A Figura 37 mostra o gráfico comparativo dos resultados obtidos para cada tipo de lâmpada utilizada neste estudo e, ainda, considerando distorções de tensão na rede com valores de 0,5% (quase senoidal) e de 3,6% obtida de uma rede verdadeira (TU-Wien).

Fig. 37. Fator de distorção de corrente de LFC de diferentes fabricantes considerando redes com distorção de 0,5% e 3,6%

O estudo realizado para análise do ângulo de fase foi baseado na composição dos resultados obtidos com um grupo de LFC de diferentes fabricantes com potência de 11W (duas unidades Philips, duas unidades Sylvania e uma General Electric) e a corrente obtida para um televisão.

Fig. 38. Comparação de uma televisão com grupo de 5LFC de fabricantes diferente em rede com $du = 4,6\%$

A Figura 38 mostra a comparação da televisão com uma LFC. É possível verificar claramente o aparecimento de um pico da televisão. O tempo decorrido do pico da LFC com a televisão é de aproximadamente 1,3 ms. Segundo os autores, isto corresponde a uma mudança de fase na frequência fundamental $\Delta\phi_1 = 24^\circ$. Para a 5ª harmônica, esta mudança de fase representa $\Delta\phi_5 = 5 \cdot 24^\circ = 120^\circ$. Assim, a adição vetorial dos dois ponteiros atuais resulta já em uma extinção parcial.

A Figura 39 mostra os vetores para cada harmônica no plano complexo.

Fig. 39. Plano complexo dos vetores para cada harmônica

É possível notar que há uma redução dos vetores da 5ª. e da 7ª. harmônicas devido à oposição de fases mostrada. No caso da 3ª. harmônica, haverá acréscimo pelo fato de estarem no mesmo quadrante.

7. Panorama Mundial

7.1. Pesquisa Eletrobrás/Procel ano base 2005

7.1.1. Introdução

Com o objetivo de incentivar o uso racional de energia, a Eletrobrás/Procel coletou dados a respeito de consumo para a Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPH) cujo resultado, divulgado em 2007, está disponível no Sistema de Informação de Posse e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos (SINPHA).

Ao cruzar os dados consolidados foi possível realizar simulações de curvas e observar o impacto de projetos de substituição de lâmpadas.

Esta pesquisa faz parte de um projeto global de “Avaliação do Mercado de eficiência energética no Brasil” e contempla os seguintes segmentos:

- Comercial/industrial (média tensão)
- Poderes públicos (alta tensão)
- Comercial/industrial (baixa tensão)
- Residencial (baixa tensão)

Os dados obtidos no SINPHA são bastante importantes para que possamos tirar algumas conclusões significativas deste estudo. Dessa forma, os resultados relevantes serão apresentados neste capítulo.

7.1.2. Setor Residencial

Na amostra utilizada no setor residencial, temos que 68% das residências consomem menos de 200 kWh mês. A distribuição dos domicílios por região está apresentada na Figura 40.

Fonte: SINPHA 2005

Trabalho realizado por Abilumi/Taxonomia Empresarial

Fig. 40. Distribuição por região dos domicílios da amostra

No caso da participação das lâmpadas no mercado brasileiro, temos os seguintes índices:

Tabela 26 – Distribuição por tipos de lâmpadas no mercado brasileiro

Tipo	Percentual
Incandescente 25W	1,28
Incandescente 40W	4,88
Incandescente 60W	37,07
Incandescente 100W	5,95
Incandescente 150W	0,26
Fluorescente Tubular 20W	6,35
Fluorescente Tubular 40W	9,31
Fluorescente Compacta até 15W	14,53
Fluorescente Compacta > 15W	17,41
Fluorescente Circular	1,69
Dicrónica	0,77
Outros	0,52

Fonte: SINPHA 2005

Na Figura 41, podemos observar o perfil de uso de lâmpadas fluorescentes e incandescentes conforme a faixa de consumo de energia.

Fonte: SINPHA 2005

Trabalho realizado por Abilumi/Taxonomia Empresarial

Fig. 41. Utilização de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por nível de consumo de energia

Utilizando os simuladores do programa SINPHA disponíveis no Portal Procel Info é possível simular algumas condições a serem analisadas.

- Substituição de 40% de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas de 13 W no Brasil.

Fonte: SINPHA 2005

Fig. 42. Curva de simulação da substituição de 40% de incandescentes por LFC de 13W

Redução do consumo

Fonte: SINPHA 2005

Trabalho realizado por Abilumi/Taxonomia Empresarial

Fig. 43. Percentual de redução de consumo com a substituição por intervalos do dia

- b) Substituição de 100% das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas de 13 W no Brasil.

Fonte: SINPHA 2005

Fig. 44. Curva de simulação da substituição de 100% de incandescentes por LFC de 13W

É possível perceber uma redução de 30% no horário de ponta (18 às 20h).

7.2. Políticas de incentivo de substituição de lâmpadas em nível mundial

Diversos países, conscientes do problema de degradação do meio ambiente, estão definindo políticas de incentivo à substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes. A Tabela 27 apresenta um resumo das políticas já determinadas para alguns países.

Tabela 27 – Resumo das Políticas de incentivo à substituição de lâmpadas no mundo

País	Política Adotada
Austrália	Primeiro país a interromper a venda de lâmpadas incandescentes até 2010. Introdução de uma legislação mais rigorosa com a qualidade das lâmpadas incandescentes de maneira a diminuir a sua fabricação das mesmas (começando a vigorar em 2009/2010)
Brasil	Programa de subsídios para lâmpadas fluorescentes tem sido encorajado Projeto de Lei do Sr. Arnon Bezerra, de maio de 2007 ³ <ul style="list-style-type: none"> • Estabelece a proibição do uso de lâmpadas incandescentes em todo o território nacional e normas para disciplinar sua substituição por lâmpadas fluorescentes até 1º. de janeiro de 2010 • Fica proibida, a partir desta data, a fabricação, importação e a comercialização para uso em território nacional de lâmpadas incandescentes • Até a data mencionada, a indústria e os importadores devem se adaptar para a produção e a comercialização de LFC em conformidade com o estabelecido nesta lei
União Européia	Proposta para exigir o aumento da eficiência energética na iluminação de rua até 2008. Aumentar a exigência na utilização de lâmpadas incandescentes em residências até 2009
Portugal	Estabeleceu uma taxa sobre as lâmpadas de baixa eficiência energética. Está no aguardo da resolução da Portaria do Ministério da Economia que irá definir os tipos e modelos de lâmpadas de baixa eficiência sobre as quais incidirá a taxa. Distribuição gratuita de quase 1 milhão de lâmpadas eficientes no país durante o ano de 2007.
Estados Unidos	Califórnia Vendas de lâmpadas incandescentes entre 25 e 150W deverá ser proibida até 2012 Lâmpadas pequenas e de baixa voltagem, como as lâmpadas de iluminação de Natal, estariam isentas da proibição Expansão de programas de incentivos para encorajar a compra de lâmpadas mais eficientes.
	Texas Projeto de lei que exigirá a substituição de todas as lâmpadas das repartições e escolas públicas estaduais por lâmpadas fluorescentes ou diodos emissores de luz (LED), já a partir de 2007

³ A Lei citada estabelece a troca de 100% de lâmpadas até 2010. Existe um consenso entre os profissionais que existem lugares e situações que a troca seria inviável devido ao ciclo de operações do conjunto da lâmpada acarretando um desgaste muito maior. Essa questão está sendo discutida em vários âmbitos para a sugestão do valor ótimo do percentual de substituição.

New Jersey	Cogita a proibição de lâmpadas incandescentes nos prédios públicos até 2010 (proposta) Esforços para impor em todo o estado uma iluminação mais eficiente
Connecticut	Proposta para estudo sobre a disponibilidade de lâmpadas eficientes com preço competitivo Criar uma lista de lâmpadas incandescentes ineficientes e proibir sua venda Criar penalidade para violação e sobretaxa de 10% na venda de cada lâmpada incandescente
Rhode Island	Proposta defende que até 2012 nenhuma lâmpada incandescente deverá ser vendida no estado
Minnesota	Estuda a proposta que autoriza a taxação na venda ou na transferência de lâmpadas incandescentes pelo atacadista em \$0,25 por lâmpadas
Hawaii	Propostas de encorajar o uso de lâmpadas fluorescentes
Illinois	Todos os edifícios do governo deverão usar lâmpadas fluorescentes
México/ Noruega	No Protocolo de Kyoto, há a possibilidade de implementações conjuntas A Noruega pagou pela troca de lâmpadas incandescentes por outras mais eficientes no México
Grã-Bretanha	Organização Ban the Bulb (“proibir as lâmpadas”) pressiona o governo para iniciativas de uso de lâmpadas mais eficientes
Canadá	Interromper a venda de lâmpadas incandescentes até 2012 como parte do plano para diminuir em até 20% o consumo até 2020
Cuba	Plano de substituição anunciado em 2005. Em 2006 adquiriu 200 milhões unidades de LFC da China
Filipinas	As lâmpadas fluorescentes já representam 64% da iluminação residencial
Nova Zelândia	Anunciou que poderá banir as lâmpadas incandescentes
Venezuela	Já substituiu 53 milhões de lâmpadas incandescentes por fluorescentes em mais de 95% dos lares domiciliares

Fonte: Abilumi e Taxonomia Empresarial 2007

Na iniciativa privada, podemos destacar algumas iniciativas. A Tabela 28 apresenta um resumo destas propostas.

Tabela 28 – Resumo das Políticas de incentivo à substituição de lâmpadas no mundo

Empresa		Política Proposta
Philips	Lighting	Plano de deixa de vender as lâmpadas incandescentes até 2016
Cooperation		Utilização de lâmpadas mais eficientes em todos os postes existentes nos EUA até 2016
General Elctric		Mudança no padrão de eficiência energética como uma opção ao invés da proibição total Novos estudos para fazer lâmpadas incandescentes mais eficientes. Obs.: A GE é contra a proibição completa da venda de lâmpadas incandescentes
Website		O nome se deve ao tempo que se leva para realizar a troca de uma lâmpada
http://18seconds.com		Fornece uma contagem das lâmpadas de baixo consumo vendidas em todos EUA desde 01/01/2007
Wall Mart		Anunciou uma campanha publicitária para aumentar vendas de lâmpadas de baixo consumo De 40 milhões de unidades em 2005 para 100 milhões em 2008

European Companies Federation	Lamp	Suporta uma iniciativa de padrão de eficiência de lâmpadas que pode fazer com que as lâmpadas incandescentes desapareçam
Currys Bretanha)	(Grã-	Maior rede de vendas de eletrodoméstico do país Anunciou que deixará de vender lâmpada de alto consumo

7.3. Resumo

O incentivo mundial para o uso de lâmpadas mais eficientes é grande. Enquanto países já estão tomando providências para a proibição da venda de lâmpadas ineficientes, outros ainda estão em propostas para tomar as primeiras atitudes. É inspirador que a iniciativa privada também esteja se engajando nesta luta de preservação do planeta com suas iniciativas internas de não comercialização de lâmpadas ineficientes.

8. Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros

Este trabalho foi desenvolvido utilizando processos de medições que não haviam sido utilizados com este tipo de carga para as averiguações da qualidade de energia. A medição da interferência eletromagnética nos trouxe resultados que, até então, eram desconhecidos. Apesar da não repetição das medições na mesma amostra e em várias amostras do mesmo tipo, os resultados mostraram que a distorção harmônica e a interferência eletromagnética gerada por este tipo de carga pode se tornar preocupante, dependendo da situação e aplicação do uso das mesmas.

Após as medições de interferência eletromagnética nas amostras, os valores alcançaram variações de até 36% no pior caso em relação aos valores determinados pela norma CISPR15.

Quanto à distorção harmônica total de corrente, foi observada variabilidade de até 171% entre o maior e menor valor de THDI, dentre as LFC testadas.

Os resultados obtidos na simulação das amostras em situações que se aproxima do real se mostraram bem diferentes daqueles já observados.

Além disso, as normas de certificação não citam este tipo de teste mesmo não sendo obrigatório. A transgressão da norma é clara em algumas amostras.

A tentativa de reproduzir uma situação real realizando a simulação em uma casa padrão, considerando cargas reais não foi tão significativa, porém alerta a necessidade de estudos mais detalhados do assunto.

As políticas de incentivo à substituição de lâmpadas são de muita importância para a redução de gasto de energia no mundo todo. Poupar é importante também pelo aspecto de preservação da natureza. Porém, é importante salientar que o problema das harmônicas também é preocupante.

Os índices levantados neste estudo, caso fizéssemos a expansão para uma quantidade elevada de LFC instaladas, chegaria a valores alarmantes. Assim, é importante chamar a atenção deste item que não pode ser deixado de lado. A certificação das lâmpadas deve incluir um estudo para checar os níveis de distúrbios, dos tipos levantados aqui, de forma a termos uma padronização.

O estudo de reatores eletrônicos dimerizáveis em conjunto com as lâmpadas fluorescentes deve ser item de próximos estudos para se ter noção das distorções geradas.

Outra sugestão de estudo seria a atenção aos diagramas fasoriais obtidos das cargas em sistemas trifásicos devido a algumas citações de efeitos de redução em determinadas harmônicas o que não foi possível complementar neste estudo.

9. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, J. E. L.; SILVEIRA, P. M.; ABREU, J. P. **Efeitos das fluorescentes compactas em sistemas de distribuição.** Eletricidade Moderna, n.378, p.50-115-69, Set. 2005.

ALVAREZ, A. L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: Metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

ANDRADE, Jr., K. R.; LEÃO, R. P. S. **Diagnóstico e solução de problemas de consumidores: casos práticos.** Eletricidade Moderna, n.339, p.108-115, Jun. 2002.

MORAES, JR., G. M.; SANTOS, E. B.; ALVES, A. C. B. As ações de eficiência e qualidade de energia elétrica. Eletricidade Moderna, n.373, p.164-115-171, Abr. 2005.

ANEEL. **Resolução nº 492 de 03 de setembro.** Critérios para publicação de recursos em Programas de Eficiência Energética. 2002.

Apostila de Qualidade de Energia, disponível em: <<http://www.engecomp.com.br>>. Acesso em 20 de novembro de 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR8184 – Lâmpadas fluorescentes e luminárias – Medição de Radiointerferência – Método de ensaio.** 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR5464 – Eletrotécnica e Eletrônica – Interferências Eletromagnéticas.** 1981.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14417 – Reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares – Prescrições gerais e de segurança.** 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14418 – Reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares – Prescrições de desempenho.** 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14538 – Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de Segurança.** 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14539 – Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de desempenho.** 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 60061-1 – Bases de lâmpadas, porta-lâmpadas, bem como gabaritos para o controle de intercambialidade e segurança – Parte 1: Bases de lâmpadas.** 1998.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2005 (ano base 2004).** MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Brasília – DF, 2005.

BRASIL. **Portaria nº 020 de 29 de janeiro.** Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2002.

BRASIL. **Portaria nº 27 de 18 de fevereiro.** Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 2000.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 132** de 12 de junho. Brasília. 2006.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 289** de 16 de novembro. Brasília. 2006.

BRAUNER, G.; WIMMER, K. **Netzrückwirkungen durch Kompaktleuchtstofflampen in Niederspannungsnetzen. Impactos na rede por lâmpadas fluorescentes compactas em baixa tensão.** Comunidade de Estudos de Energia Schriftenreihe. E-Werk. Áustria. 1995.

DEHOFF, P. **Relação entre eficiência energética na iluminação e as necessidades do usuário.** Eletricidade Moderna, n.382, p.124-135, Jan. 2005.

DWYER, R.; KHAN, A. K., MCGRANAGHAN, M.; TANG, L.; MCCLUSKEY, R. K.; SUNG, R.; HOUVY, T. **Evaluation of harmonic impact from compact fluorescent lights on distribution system.** Transaction on Power Systems, IEEE, vol. 10, nº 4, Nov. 1995.

ELETROBRÁS. **Plano 2015 – plano nacional de energia elétrica 1993 – 2015. v.1.** Rio de Janeiro, 1994.

ELETROBRÁS/PROCEL Info. Disponível em <www.elektrobras.com/pci/main.asp>. Acesso em 14 de outubro de 2006.

European Standart EN50160 – Voltage Characteristics of Supplied by Public Distribution Systems. Nov. 1994.

GABALDÓN, F. S.; GÓMEZ, E.; ENCINAS, N.; MOLINA, A.; VALERO, S.; ORTIZ, M.; FRANCO, F. G. **Nova tecnologia para melhorar a eficiência energética das instalações de uma universidade.** Eletricidade Moderna, n.378, p.70-83, Set. 2005.

GAMA, P. H. R. P.; OLIVEIRA, A. **Conservação de Energia e sua relação com a qualidade da energia elétrica.** Artigo apresentado no XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu – Paraná, Out. 1999.

GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil.** Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1994.

GOEDBLOED, J. J. **Electromagnetic Compatibility. Translation of Electromagnetic compatibilitie.** Pretencie Hall. London, Inglaterra. 1992.

GONZALES, M. L.; PIRES, I. A.; SILVA, S. R.; ALMEIDA, P. C. A. **Medições de correntes harmônicas em aparelhos eletrodomésticos**. Eletricidade Moderna, n.382, p.110-123, Jan. 2005.

IEC 60950 – Safety for apparatus of information technology. Londres. Inglaterra. Apr. 1992.

IEC 61000-1-1 – Eletromagnetic compatibility (EMC) – Application and interpretation of fundamental definitions and terms, 1 ed. Londres. Inglaterra. Apr. 1992.

IEC CISPR 15/96 – 03 – Limits and Methods of Measurements of Radio Disturbance Characteristics of Electrical Lighting and Similar Equipaments. Londres. Inglaterra. 1996.

IEC CISPR 16 – 1 – 2. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Conducted disturbances. Londres. Inglaterra. 1996.

IEEE Task Force on the Effects of Harmonics on Equipment, *Effects of Harmonics on Equipment*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8 nº 2. New York. USA. Apr. 1993.

Informações Gerais disponível em <<http://en.wikipedia.org/wiki/LISN>>. Acessada em 29/09/2007.

LEONELLI, P.A. **Efficient Lighting in Brazil**. European Conference on Energy-Efficient Lighting, 3rd, Proceedings. Newcastle-upon-Tyne, England, 1995.

LEONELLI, P.; MONTEIRO, R.; ARAÚJO, L.; POLIS, H.; GELLER, H. **Evolução do mercado para produtos eficientes de iluminação**. Eletricidade Moderna, n.281, p.60-76, Ago. 1997.

MAGNUS, H.F. **Desenvolvimento de uma ferramenta para ensaios de EMI conduzida de baixo custo**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre, 2001.

MONTEIRO, P. R. D. **Projeto de eficiência energética nas instalações de uma universidade.** Eletricidade Moderna, n.379, p.68-83, Out. 2005.

OLIVEIRA, H. R. P. M.; JESUS, N. C.; FIGUEIREDO, C. E. C.; BATISTA, E. L.; MARTINEZ, . L. B. **Análise de problemas de qualidade da energia em circuitos de baixa tensão.** Eletricidade Moderna, n.381, p.98-109, Dez. 2005.

PEA/POLI. **Apostila de Lâmpadas Elétricas.** Laboratório de Instalações Elétricas. Escola Politécnica de USP, São Paulo. Consulta em 05 de maio de 2007.

PENNA, C; RESENDE, J. W.; SAMESIMA, M. I. **Avaliação das características elétricas, de iluminação e de suportabilidade a chaveamentos de lâmpadas fluorescentes compactas.** Artigo apresentado no II CITENEL, 2003.

PIANTINI, A.; KANASHIRO, A.; TATIZAWA, H. **Perturbações em redes elétricas.** Apostila de aula ENE 5728. Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Set. 2005.

RESENDE, J. W.; SAMESIMA, M. I. **Substituição de lâmpada incandescente por fluorescente compacta.** Eletricidade Moderna, n.381, p.90-108, Dez. 2005.

REVISTA LUMIÈRE. **Curso de Fotometria On line.** Disponível em: <
<http://www.edlumiére.com.br/index.php/content/view/368/65/>> Acesso em 30 de março de 2004.

SAMESIMA, M. I.; RESENDE, J.W.; PEREIRA, G. M. V. **Avaliação econômica e de suportabilidade a chaveamentos quando da substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.** Artigo apresentado no VI SBQEE. Belém. Pará. 2005.

SARTORI, C. A. F. **Tópicos de compatibilidade eletromagnética: abrangência e importância atual.** Laboratório de Magnetismo - EPUSP, PUC/SP, CNEN-CTMSP. Artigo apresentado para

VIII Seminário sobre a Eletro-Eletrônica: Aplicada à Modalidade “Compatibilidade Eletromagnética”, AEA, São Paulo, 2006.

SAUER, I. **Usos finais de energia – tecnologias, processos e tendências.** Apostila de aula ENE 5703. Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Jun, 2005.

TEIXEIRA, M. D.; PAULILLO, G.; AOKI, A. R.; ARCHANJO, D. L. **Avaliação de Impacto de lâmpadas fluorescentes compactas na rede de distribuição da Copel.** Artigo apresentado no II SPEE. Curitiba. Paraná. 2004.

TEIXEIRA, M. D.; PAULILLO, G.; AOKI, A. R.; PENICHE, R. A.; ARCHANJO, D. L. **Análise do impacto de lâmpadas fluorescentes compactas na rede de distribuição da Copel.** Artigo apresentado no VI SBQEE. Belém – PA, Ago. 2005.

TETRI, E.; GLIGOR, V. **Dimerização contínua em função da luz natural e seus efeitos.** Eletricidade Moderna, n.381, p.158-165, Dez. 2005.