

JULIANA ZIMBARDI MIQUELIN

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE LÂMPADAS LEDs E LFCs COMO
ALTERNATIVAS EM ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL EM FUNÇÃO DA
IMPLEMENTAÇÃO DA PORTARIA MINISTERIAL N° 1007 QUE LIMITA O USO
DE LÂMPADAS INCANDESCENTES NO BRASIL.**

Guaratinguetá

2011

JULIANA ZIMBARDI MIQUELIN

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE LÂMPADAS LEDs E LFCs COMO ALTERNATIVAS
EM ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL EM FUNÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA
PORTARIA MINISTERIAL Nº 1007 QUE LIMITA O USO DE LÂMPADAS
INCANDESCENTES NO BRASIL.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando M. Astorga

Guaratinguetá

2011

Miquelin, Juliana Zimbardi

M669a Análise de desempenho de lâmpadas LEDs e LFCs como alternativas em iluminação residencial em função da implementação da portaria ministerial n° 1007 que limita o uso de lâmpadas incandescentes no Brasil / Juliana Zimbardi Miquelin – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
75 f : il.

Bibliografia: f. 74-75

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

1. Lâmpadas fluorescentes I. Título

CDU 621.32

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE LÂMPADAS LEDs E LFCs COMO ALTERNATIVAS
EM ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL EM FUNÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA
PORTARIA MINISTERIAL Nº 1007 QUE LIMITA O USO DE LÂMPADAS
INCANDESCENTES NO BRASIL.

JULIANA ZIMBARDI MIQUELIN

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. DURVAL LUIZ S. RICCIULLI
UNESP-FEG

Prof. Dr. JOMAR ESTEVES BUENO
CTIG-FEG

Dedico este trabalho para aquelas pessoas que fazem meu coração sorrir. Para a galera que sempre esteve junto até mesmo quando eu não estava disposta. Para a pessoa que eu esperava que me chutasse quando caí, e que foi uma das primeiras que me ajudou a levantar. Para as pessoas que fizeram a diferença em minha vida. Para as pessoas que quando olho para trás, sinto muitas saudades. Para as pessoas que me aconselharam quando me senti sozinha. Para as pessoas que me deram uma força quando eu não estava muito animada. Para as pessoas que amei. Para as pessoas que abracei. Para as pessoas que encontro apenas em meus sonhos. Para as pessoas que encontro todos os dias e não tenho a chance de dizer tudo o que sinto olhando nos olhos. Para mim. O que importa não é pra quem eu vou dedicar este trabalho, mas o que este trabalho vai trazer de benefício pra mim e para as pessoas que acreditam em mim. Por isso, guardo todas as pessoas importantes da minha vida em uma caixinha dentro do meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada. Agradeço ao meu professor, Prof. Dr. Oscar Armando M. Astorga, orientador desse trabalho, sem o qual não conseguiria atingir minha graduação e ao Jorge Luis Carneiro Júnior, que me apoiou em todo o desenvolvimento deste trabalho e aos professores que compuseram a banca, Prof. Dr. Durval Luiz S. Ricciulli e Prof. Dr. Jomar Esteves Bueno. Agradeço também aos amigos especiais, Marcel Vital Cònsolo e Mattheus Diaz, que me deram força e coragem para vencer as dificuldades. Quero agradecer também a minha irmã Mariana que, embora não tivessem conhecimento disto, iluminou de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos. E não deixando de agradecer de forma grata e grandiosa meus pais, Claudio e Ana Maria, a quem eu rogo todas as noites a minha existência.

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar.”

Bertrand Russell

MIQUELIN, J.Z. Análise de Desempenho de Lâmpadas LEDs e LFCs como Alternativas em Iluminação Residencial em Função da Implementação da Portaria Ministerial nº 1007 que Limita o Uso de Lâmpadas Incandescentes no Brasil. 2010. 75 f. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

RESUMO

Com a imposição da suspensão de fabricação e conseqüente proibição do uso de lâmpadas incandescentes será necessária a substituição das mesmas por outras com maior eficiência energética. Embora a principal alternativa seja a lâmpada fluorescente compacta, o impacto ambiental causado por ela devido ao descarte incorreto e pela quantidade de harmônicos inseridos na rede ocasionando perdas relacionadas à qualidade de energia elétrica do sistema faz com que sejam buscadas novas alternativas para os sistemas de iluminação, que sejam eficientes e apresentem baixo impacto ambiental. Nesse contexto a tecnologia LED (Lighting Emitting Diode), baseada em componentes de estado sólido, apresenta-se como uma opção para os novos projetos de iluminação e substituição dos existentes. Neste trabalho são estudados os aspectos energético, ambiental e econômico decorrentes de uma possível substituição dos sistemas convencionais de iluminação pela nova tecnologia. A partir de testes realizados em laboratório e levantamentos de custos dos diferentes tipos de lâmpadas utilizados para iluminação residencial, foi realizada uma análise comparativa considerando aspectos energéticos e econômicos os quais mostraram que a tecnologia LED, embora possua um investimento inicial alto, é melhor opção quando a qualidade de energia e a preservação do meio ambiente são fatores relevantes na tomada de decisão para a escolha da tecnologia a ser utilizada no sistema de iluminação.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Qualidade de Energia, Limitação do uso das lâmpadas incandescentes, Lâmpadas Fluorescentes Compactas, Lâmpadas LED

MIQUELIN, J.Z. Performance Analysis of LEDs and CFLs as Alternatives in Residential Lighting Function Implementation of Ministerial Decree No. 1007 which limits the use of incandescent lamps in Brazil. 2010. 75 f. Thesis (Graduation in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

ABSTRACT

With the imposition of the suspension of production and subsequent banning of incandescent light bulbs will be necessary to replace it by other more energy-efficient. Although the main alternative is the compact fluorescent lamp, the environmental impact caused by it due to incorrect disposal and the amount of harmonics included in the network resulting in losses related to the quality of electric power system makes them sought new alternatives for lighting systems that are efficient and have low environmental impact. In this context, the LED (Lighting Emitting Diode), based on solid-state components, is presented as an option for new projects and replacement of existing lighting. In this work we studied aspects of energy, environmental and economic impacts of a possible replacement of conventional lighting systems for new technology. From laboratory tests and surveys of the costs of different types of lamps used for residential lighting, we performed a comparative analysis considering energy and economic aspects which showed that the LED technology, but has a high initial investment, it is best when power quality and environmental preservation are relevant factors in decision making for the choice of technology to be used in the lighting system.

KEYWORDS: Energy Efficiency, Power Quality, limiting the use of incandescent bulbs, Compact Fluorescent Lamps, LED Lamps

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| AIE - | Agência Internacional de Energia |
| ANEEL - | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| Design - | Projeto |
| Drivers - | Circuito controlador |
| Elestrosmog - | É o nome dado às condições que causam em cada um de nós, a perda de bem-estar provocada pela poluição electromagnética. |
| ENCE - | Etiqueta Nacional de Conservação de Energia |
| INMETRO - | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| LED - | Diodo Emissor de Luz |
| LFC - | Lâmpada Fluorescente Compacta |
| LI - | Lâmpada Incandescente |
| MME - | Ministério de Minas e Energia |
| PBE - | Programa de Etiquetagem Brasileiro |
| Plug-in- | Conector |
| PROCEL - | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| RELUZ - | Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes |
| Retrofit - | Novo projeto |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Potencial hidrelétrico total do Brasil..... | 15 |
| Figura 2 – Selo PROCEL..... | 18 |
| Figura 3 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia..... | 18 |
| Figura 4 – Consumo de energia médio por hora dos principais eletrodomésticos no setor residencial brasileiro. | 20 |
| Figura 5 – Potencial de CO2 economizado..... | 25 |
| Figura 6 – Espectro de luz visível..... | 28 |
| Figura 7 – Fluxo Luminoso..... | 29 |
| Figura 8 – Iluminância..... | 29 |
| Figura 9 – Tipos de Lâmpadas..... | 31 |
| Figura 10 – Lâmpadas Incandescentes Convencionais..... | 31 |
| Figura 11 – Lâmpada Incandescente Convencional..... | 32 |
| Figura 12 – Lâmpadas Incandescentes Halógenas..... | 33 |
| Figura 13 – Lâmpada Incandescente halógena..... | 34 |
| Figura 14 – Tipos de lâmpadas halógenas..... | 34 |
| Figura 15 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares..... | 35 |
| Figura 16 – Funcionamento da lâmpada fluorescente..... | 36 |
| Figura 17 – Lâmpadas Fluorescentes Compactas..... | 37 |
| Figura 18 – Lâmpadas Fluorescentes Compactas..... | 38 |
| Figura 19 – Lâmpadas LED..... | 40 |
| Figura 20 – Foto da Fachada do LESIP..... | 44 |
| Figura 21 – Fonte de Tensão..... | 45 |
| Figura 22 – Lâmpada Incandescente X LED..... | 45 |
| Figura 23 – LFC X LED..... | 45 |
| Figura 24 – Medição da Iluminancia e Temperatura de Cor..... | 46 |
| Figura 25 – Sala de Medições..... | 46 |
| Figura 26 – Sala Escura para Medições..... | 47 |
| Figura 27 – Tensão aplicada às lâmpadas..... | 48 |
| Figura 28 – Distribuição Harmônica de Tensão..... | 48 |
| Figura 29 – Forma de onda de corrente na LI 60W..... | 49 |
| Figura 30 – Distribuição Harmônica de Corrente da LI 60W..... | 49 |
| Figura 31 – Valores de Potência e Energia na LI 60W..... | 50 |
| Figura 32 – Forma de onda de tensão e corrente na LI 60W..... | 50 |
| Figura 33 – Forma de onda de corrente na LFC 15W..... | 51 |
| Figura 34 – Distribuição Harmônica de Corrente da LFC 15W..... | 51 |
| Figura 35 – Valores de Potência e Energia na LFC 15W..... | 52 |
| Figura 36 – Forma de onda de tensão e corrente na LFC 15W..... | 52 |
| Figura 37 – Forma de onda de corrente na LED 5W..... | 53 |
| Figura 38 – Distribuição Harmônica de Corrente da LED 5W..... | 53 |
| Figura 39 – Valores de Potência e Energia na LED 5W..... | 54 |
| Figura 40 – Forma de onda de tensão e corrente na LED 5W..... | 54 |
| Figura 41 – Forma de onda de corrente na LED 10W..... | 55 |
| Figura 42 – Distribuição Harmônica de Corrente da LED 10W..... | 55 |
| Figura 43 – Valores de Potência e Energia na LED 10W..... | 56 |
| Figura 44 – Forma de onda de tensão e corrente na LED 10W..... | 56 |
| Figura 45 – Comparativo entre as correntes consumidas nas lâmpadas..... | 57 |
| Figura 46 – Comparativo entre os THD nas lâmpadas..... | 57 |
| Figura 47 – Comparativo entre os fatores de potência nas lâmpadas..... | 58 |
| Figura 48 – Comparativo entre as iluminâncias nas lâmpadas..... | 58 |
| Figura 49 – Comparativo entre as temperaturas de cor nas lâmpadas..... | 58 |
| Figura 50 – Lâmpada Incandescente..... | 60 |
| Figura 51 – Lâmpada Fluorescente..... | 60 |
| Figura 52 – Lâmpada LED..... | 61 |
| Figura 55 – Gráfico Comparativo..... | 68 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA | 13 |
| 2.1 | Matriz de Geração de Energia Elétrica | 13 |
| 2.2 | Procel | 16 |
| 2.3 | Reluz | 19 |
| 2.4 | Demanda de Iluminação | 20 |
| 3 | ANÁLISE DA LIMITAÇÃO DO USO DE LÂMPADAS INCANDESCENTES DO MERCADO BRASILEIRO | 25 |
| 4 | CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO E TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL | 28 |
| 4.1 | Conceitos de Iluminação | 28 |
| 4.2 | Tecnologias de Iluminação Interna | 30 |
| 4.2.1 | Lâmpada Incandescente Convencional | 31 |
| 4.2.2 | Lâmpada Incandescente Halógena | 33 |
| 4.2.3 | Lâmpada Fluorescente Tubular | 35 |
| 4.2.4 | Lâmpada Fluorescente Compacta | 37 |
| 4.2.5 | Lâmpada LED | 39 |
| 5 | RESULTADOS COMPARATIVOS DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES E LED NO QUE DIZ RESPEITO À QUALIDADE DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA | 43 |
| 5.1 | Metodologia | 44 |
| 5.2 | Equipamentos Utilizados | 47 |
| 5.3 | Resultados | 48 |
| 5.3.1 | Medições feitas com a Fonte de Tensão | 48 |
| 5.3.2 | Medições feitas na Lâmpada Incandescente de 60W (LI 60W) | 49 |
| 5.3.3 | Medições feitas na Lâmpada Fluorescente Compacta de 15W (LFC 15W) | 50 |
| 5.3.4 | Medições feitas na Lâmpada LED de 5W | 52 |
| 5.3.5 | Medições feitas na Lâmpada LED de 10W | 54 |
| 5.3.6 | Comparativo entre as Lâmpadas | 57 |
| 6 | ANÁLISE FINANCEIRA | 60 |
| 6.1 | Valor das Lâmpadas no Mercado | 60 |
| 6.2 | Valores das Principais Concessionárias do País | 61 |
| 6.3 | Economia gerada pela troca das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas fluorescentes e LED | 64 |
| 6.4 | Lâmpada Incandescente | 68 |
| 6.5 | Lâmpada Fluorescente | 69 |
| 6.6 | Lâmpada LED | 70 |
| 7 | CONCLUSÃO | 73 |
| | REFERÊNCIAS | 74 |

1 INTRODUÇÃO

A legislação atual impõe a suspensão da fabricação a ser seguida no futuro, por uma proibição de uso, das lâmpadas incandescentes, que constituem a tecnologia mais acessível e barata para o consumidor e por isto, a mais utilizado atualmente.

Dentro das alternativas a este tipo de lâmpadas, a lâmpada fluorescente compacta (LFC) desponta como a mais provável candidata à substituição, pelas suas características energéticas. Apesar deste benefício, existe um questionamento sobre os impactos que a massificação do uso desta tecnologia terá sobre a qualidade de energia elétrica, principalmente devido a geração de harmônicos e seus impactos sobre o sistema elétrico.

Outra questão a ser considerada e com cada vez mais importância, é do impacto ambiental a ser causado, uma vez que as LFCs utilizam metais pesados que, quando descartados de forma incorreta, afetam negativamente a saúde e o meio ambiente.

Outra alternativa para os sistemas de iluminação é tecnologia baseada em componentes de estado sólido, denominada como tecnologia LED (Lighting Emitting Diode), que encontra-se atualmente ocupando cada vez mais fatias do mercado de iluminação residencial, sendo o seu desempenho e evolução objetos de diversos estudos.

Diante desta realidade, é necessário um maior conhecimento sobre a análise de desempenho em termos energéticos e ambientais, das tecnologias destinadas a substituir as lâmpadas incandescentes. É importante também discutir de forma apropriada, baseada em análises reais, a oportunidade de desenvolvimento tecnológico que esta nova lei, que estabelece a proibição de fabricação das lâmpadas incandescentes oferece.

Este trabalho tem por objetivo fornecer subsídios que possam contribuir para a escolha correta da tecnologia a ser utilizada na substituição das lâmpadas incandescentes, pretende também discutir essa nova lei sobre o ponto de vista do consumidor e do sistema elétrico, bem como, estudar os efeitos que a utilização das novas lâmpadas poderão ter sobre o meio ambiente.

As análises são acompanhadas de um estudo de viabilidade econômica das diversas alternativas.

O trabalho está dividido em cinco etapas. No capítulo 2 é apresentado um estudo da matriz de geração de energia elétrica brasileira, uma explicação sobre o PROCEL e seu programa RELUZ e a demanda atual e futura da iluminação residencial brasileira.

No capítulo 3 é apresentado um estudo sobre a limitação do uso das lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro, a portaria em que está baseada e os benefícios que

trarão a conservação de energia elétrica. Serão mostrados os prós e contras da aplicação desta lei.

No capítulo 4 são definidos conceitos relacionados à iluminação e a descrição das tecnologias utilizadas pela lâmpada incandescente e das que podem ser utilizadas como substitutas: fluorescentes compactas e LEDs.

O capítulo 5 apresenta os resultados de análises laboratoriais comparativas no que se refere ao iluminamento, conteúdo harmônico e potência consumida das lâmpadas, tratando da qualidade de energia e da eficiência energética. Esses dados justificam o uso de lâmpadas LED no lugar das lâmpadas fluorescentes.

O capítulo 5 é dedicado à análise financeira a partir de um cenário no qual se substituem lâmpadas incandescentes e fluorescentes por lâmpadas LED. Verifica-se o tempo de retorno para cada substituição.

2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

2.1 Matriz de Geração de Energia Elétrica

O Brasil sempre baseou sua geração no modelo hídrico de geração de energia devido ao abundante recurso disponível no país. Cerca de 24% do potencial hidráulico brasileiro conhecido e estimado, é utilizado em hidrelétricas, incluindo-se aí as usinas em construção. É estimado que nas próximas duas décadas, as fontes hidráulicas continuem a desempenhar papel importante no atendimento a crescente demanda de energia elétrica. A Tabela 1 mostra o potencial hidrelétrico brasileiro distribuído por Estado e a Tabela 2, distribuído por Bacia Hidrográfica (ELETROBRAS / 2010).

Conforme pode ser visto nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 1, ainda existe grande potencial hidrelétrico para ser explorado no Brasil. As usinas em operação ou em construção totalizam quase 87.54 GW de potencia, com um potencial estudado de 98.07 GW e estimado de aproximadamente 57.76 GW, totalizando uma potencia hidráulica no país de cerca de 243.37 GW.

Tabela 1 – Potencial Hidrelétrico Brasileiro (MW) em cada estágio por Estado – Dezembro de 2010.

| Estado | Usinas em Construção (MW) | Usinas em Operação (MW) |
|---------------|----------------------------------|--------------------------------|
| AC | 0,00 | 0,00 |
| AL | 0,00 | 1.582,25 |
| AM | 0,00 | 250,00 |
| AP | 0,00 | 67,98 |
| BA | 25,00 | 6.859,53 |
| CE | 0,00 | 4,00 |
| DF | 0,00 | 30,00 |
| ES | 0,00 | 474,77 |
| GO | 26,25 | 5.878,36 |

| | | |
|--------------|-----------------|------------------|
| MA | 0,00 | 663,18 |
| MG | 262,00 | 12.016,29 |
| MS | 0,78 | 3.546,45 |
| MT | 415,94 | 1.476,72 |
| PA | 0,00 | 8.500,30 |
| PB | 0,00 | 3,52 |
| PE | 0,00 | 745,54 |
| PI | 0,00 | 118,65 |
| PR | 1.076,00 | 14.871,46 |
| RJ | 198,05 | 1.223,18 |
| RN | 0,00 | 0,00 |
| RO | 3.257,50 | 291,33 |
| RR | 0,00 | 5,00 |
| RS | 157,28 | 4.904,29 |
| SC | 93,49 | 3.622,81 |
| SE | 0,00 | 1.581,00 |
| SP | 82,78 | 10.899,68 |
| TO | 11,40 | 2.312,27 |
| TOTAL | 5.606,47 | 81.928,56 |

Fonte: Eletrobrás, 2011.

Tabela 2 – Potencial Hidroelétrico Brasileiro (MW) em cada estágio por Bacia Hidrográfica – Dezembro de 2010

| Bacia | Usinas em Construção (MW) | Usinas em Operação (MW) |
|--|--|--|
| Atlântico Leste | 455,90 | 4.816,43 |
| Atlântico Norte / Noreste | 0,00 | 319,79 |

| | | |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Atlântico Sudeste | 68,59 | 3.457,89 |
| Rio Amazonas | 3.673,44 | 1.087,05 |
| Rio Paraná | 1.201,15 | 41.892,01 |
| Rio São Francisco | 1,50 | 10.687,50 |
| Rio Tocantins | 11,40 | 13.142,57 |
| Rio Uruguai | 194,48 | 6.525,31 |
| TOTAL | 5.606,46 | 81.928,54 |

Fonte: Eletrobrás, 2011.

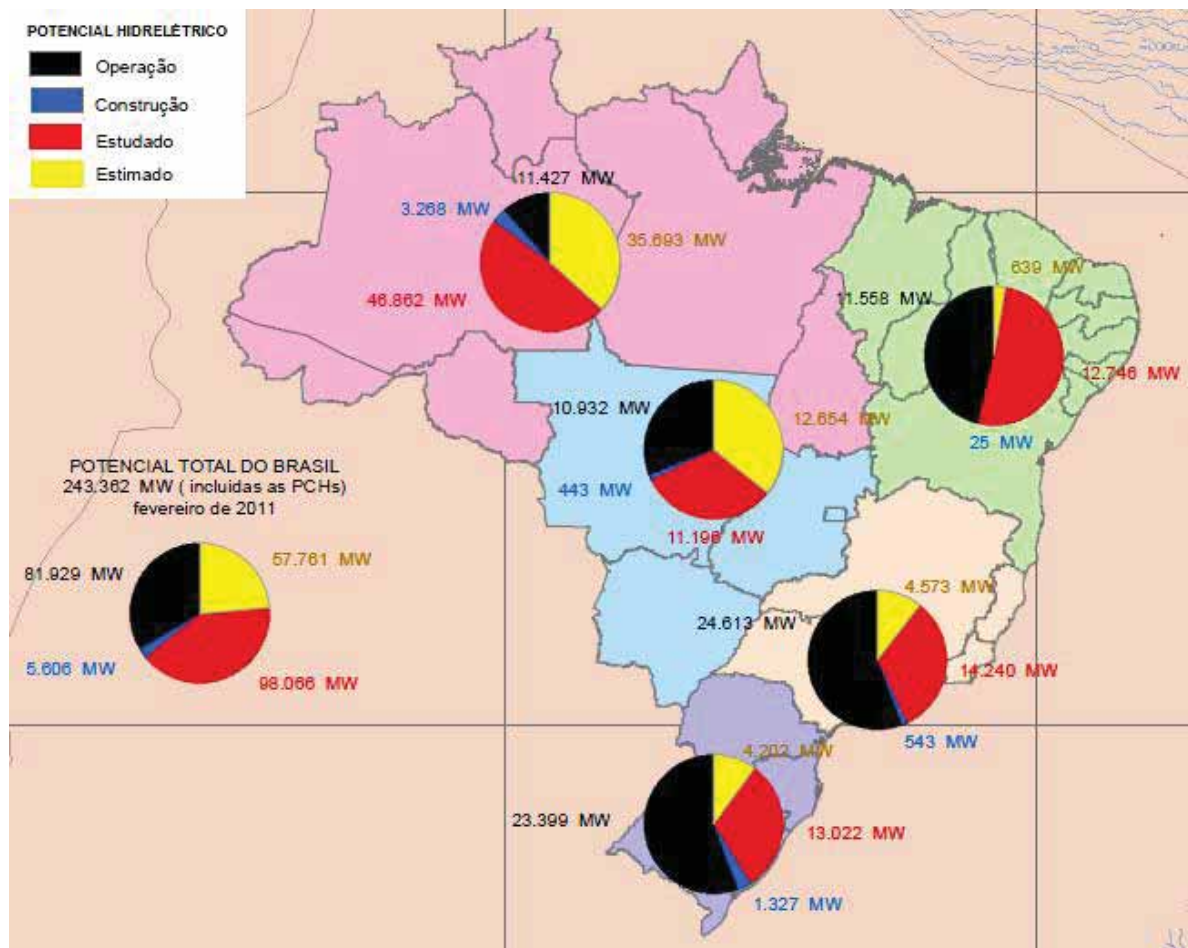


Figura 1 – Potencial hidrelétrico total do Brasil.

Fonte: Eletrobrás, 2011.

Segundo o site da ANEEL (ANEEL, 2010), o sistema elétrico brasileiro conta com 89.297,9 km de linhas de transmissão. A empresa de pesquisa energética EPE mostra, na Tabela 3, um consumo nacional de energia elétrica no Brasil na ordem de 419 TWh/ano em 2010.

Tabela 3 – Consumo nacional de Energia Elétrica

| Consumo (GWh) | 2003 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Residencial | 76.162 | 94.746 | 100.776 | 107.160 |
| Industrial | 136.221 | 180.049 | 166.181 | 183.743 |
| Comercial | 47.531 | 61.813 | 65.255 | 69.086 |
| Outros | 47.073 | 56.079 | 56.477 | 59.027 |
| BRASIL | 306.987 | 392.688 | 388.688 | 419.016 |
| Crescimento (%) | 2003 | 2008 | 2009 | 2010 |
| Residencial | 4,7 | | 6,4 | 6,3 |
| Industrial | 4,0 | | -7,7 | 10,6 |
| Comercial | 5,1 | | 5,6 | 5,9 |
| Outros | 6,1 | | 0,7 | 4,5 |
| BRASIL | 4,7 | | -1,0 | 7,8 |

Fonte: EPE, 2011.

Observa-se que no ano de 2010 o consumo teve um aumento de 36,5% em relação ao ano de 2003, sendo que o setor residencial teve um aumento de consumo de 40,7% no mesmo período e o setor comercial teve um aumento de 45,3%.

2.2 Procel

A racionalização do consumo de energia elétrica, o combate ao desperdício, a redução de custos e os investimentos setoriais responsáveis pelo aumento da eficiência energética é o

que promove O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), que tem como gestora a Eletrobras.

Entre 1986 e 2009, o PROCEL teve um resultado de economia de energia de 38,4 GWh, montante correspondente a 9,9% do consumo de eletricidade no Brasil em 2009 (388 GWh). O relatório de resultados da PROCEL de 2009 informa que para esse montante seria necessária uma usina de aproximadamente 9.105 MW de capacidade. No mesmo período, o PROCEL provocou uma redução de demanda de ponta de 11.636 MW.

Focando em 2009, o PROCEL contribuiu para uma economia de energia de 5.473 GWh, uma redução de demanda na ponta de 2.098 MW e evitou a emissão de 135 mil toneladas de CO_2 .

Tabela 4 – Principais resultados energéticos das ações do PROCEL em 2009.

| Resultado | Total |
|---|--------------|
| Redução da Demanda na Ponta (MW) | 2.098 |
| Energia Economizada (GWh) | 5.473 |
| Usina Equivalente (MW) | 1.213 |
| Emissão de CO_2 Equivalente Evitada (mil tCO_2e) | 135 |

Fonte: Eletrobras/Procel - Avaliação

Tabela 5 – Resultados anuais obtidos pelo PROCEL (1986 – 2009)

| Ações | 2009 |
|---|-------------|
| Investimentos Eletrobrás/Procel (R\$ milhões) | 9,02 |
| Investimentos RGR (R\$ milhões) | 55,95 |
| Investimento do Projeto de Eficiência Energética para o Brasil (R\$ milhões) | - |
| Emissão de CO_2 Equivalente Evitada (mil tCO_2e) | 64,97 |
| Energia Economizada (GW) | 5.473 |
| Redução de Demanda de Ponta (MW) | 2.098 |
| Usina Equivalente (MW) | 1.312 |
| Investimentos Postergados (R\$ milhões) | 3.918 |

Fonte: Eletrobras/Procel - Avaliação

Por um Decreto Presidencial em 1993, o selo PROCEL de economia de energia foi instituído. Este selo tem por objetivo orientar o consumidor na hora da compra, mostrando os níveis de eficiência energética de cada produto dentro de certa categoria, o que proporciona ao consumidor uma redução na conta de energia elétrica. Ele também favorece a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento tecnológico.



Figura 2 – Selo PROCEL

Fonte: Eletrobrás, 2011.

Em relação ao uso de consumo de energia elétrica mais eficiente verifica-se que em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) lançou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que utiliza a denominada Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que é semelhante à etiqueta europeia.

Normalmente os produtos contemplados pelo selo da PROCEL são caracterizados pela faixa “A” da ENCE.

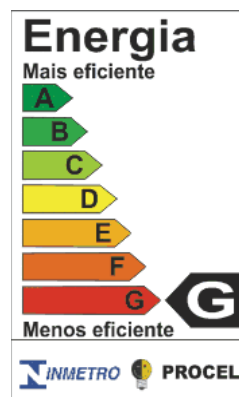


Figura 3 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

Fonte: Eletrobrás, 2011.

Tabela 6 – Equipamentos passíveis a receber o selo PROCEL de economia de energia.

| Equipamentos passíveis a receber o selo PROCEL |
|---|
| 1. Refrigerador uma porta compacto |
| 2. Refrigerador uma porta |
| 3. Refrigerador combinado |
| 4. Refrigerador combinado <i>Frost Free</i> |
| 5. <i>Freezer</i> vertical |
| 6. <i>Freezer</i> vertical <i>Frost Free</i> |
| 7. <i>Freezer</i> horizontal |
| 8. Motor elétrico de alto rendimento |
| 9. Motor elétrico padrão |
| 10. Lâmpada fluorescente circular |
| 11. Lâmpada fluorescente compacta |
| 12. Lâmpada a vapor de sódio |
| 13. Reator eletromagnético para lâmpada a vapor de sódio |
| 14. Reservatório térmico |
| 15. Reservatório térmico de alta pressão |
| 16. Coletor solar – banho |
| 17. Coletor solar – piscina |
| 18. Condicionador de ar tipo janela |
| 19. Condicionador de ar tipo <i>Split Hi-Wall</i> |
| 20. Máquina de lavar roupas – automática |
| 21. Máquina de lavar roupas – semiautomática |
| 22. Televisor CRT – Modo de Espera |
| 23. Ventilador de Teto |
| 24. Refrigerador de uma porta <i>Frost Free</i> |
| 25. Televisor LCD – Modo de Espera |
| 26. Televisor Plasma – Modo de Espera |
| 27. Condicionador de ar tipo <i>Split</i> Piso-Teto |
| 28. Máquina de lavar roupas – Lava & Seca |

Fonte: Eletrobrás, 2011.

2.3 Reluz

Em 2000, a Eletrobras, como o apoio do Ministério de Minas e Energia, criou o Reluz, um programa nacional de iluminação pública e sinalização semafórica eficientes.

Com a implantação do Reluz o setor elétrico teria uma economia de até 1,3 bilhões de kWh por ano de energia elétrica e uma redução de até 292 MW da carga no horário de ponta do consumo. Porém, não conseguiu atingir nem 50% da economia planejada. (PROCEL, 2011)

2.4 Demanda de Iluminação

O setor residencial é responsável por 25,6% do consumo de energia, enquanto o setor industrial é responsável por 43,9% e o setor comercial é responsável por 16,5%, cabendo a outros o consumo de 25,4% de energia. A parcela de iluminação no setor residencial é de 21%. (DGGE, 2010)

O Brasil tem uma demanda de consumo de energia residencial conforme Figura 4. Nesta figura podemos observar que entre 18h e 24h acontece o pico de demanda de iluminação residencial.

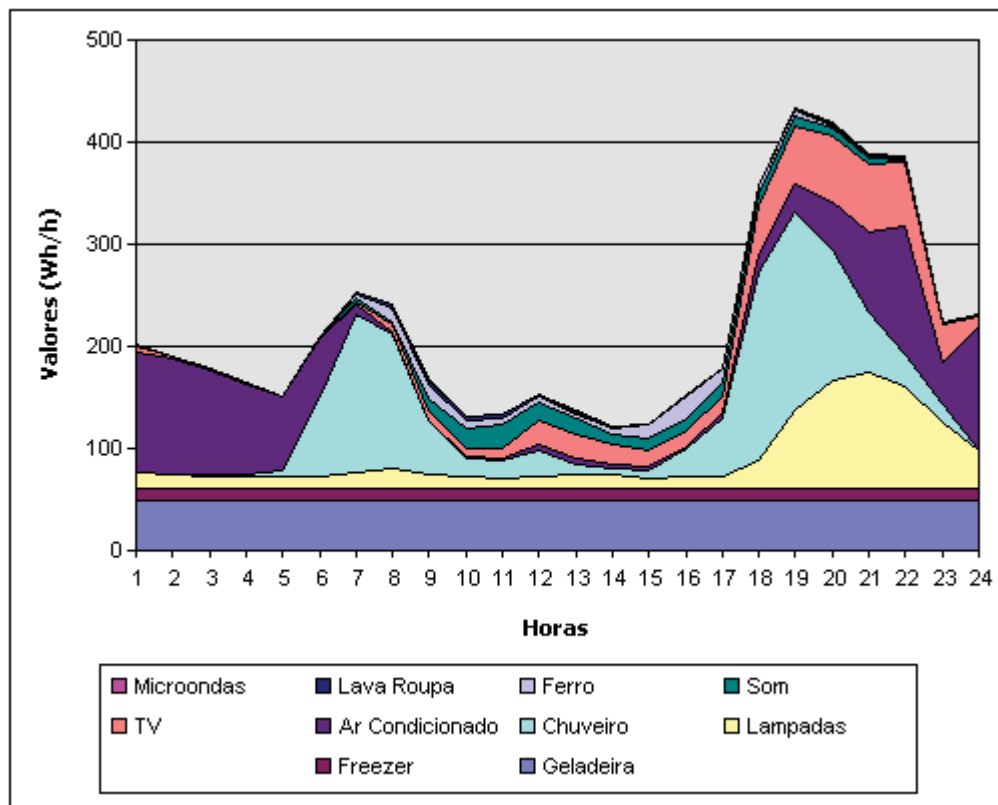


Figura 4 – Consumo de energia médio por hora dos principais eletrodomésticos no setor residencial brasileiro

Fonte: SINPHA, 2006

A iluminação residencial é baseada, conforme mostram as Tabelas 7 a 11, em lâmpadas incandescentes que representa 65,66% do consumo do país.

Tabela 7: distribuição de consumo de energia elétrica por tipo de lâmpada no setor residencial da região Centro-Oeste.

| Tipo | Potência (W) | Consumo mensal por lâmpada (kWh/mês) | Participação do consumo mensal por lâmpada em relação ao consumo da iluminação (%) |
|------------------------------|---------------------|---|---|
| Incandescente | 25 | 0,05 | 0,23 |
| | 40 | 0,82 | 3,86 |
| | 60 | 12,72 | 59,80 |
| | 100 | 0,53 | 2,51 |
| | 150 | 0,02 | 0,08 |
| Fluorescente Tubular | 20 | 0,84 | 3,93 |
| | 40 | 2,79 | 13,10 |
| Fluorescente Compacta | 15 | 1,73 | 8,13 |
| | 20 | 0,98 | 4,60 |
| Fluorescente Circular | 20 | 0,50 | 2,34 |
| Dicrónica | 50 | 0,30 | 1,42 |
| TOTAL | | 21,62 | 100,00 |

Fonte: Eletrobrás, 2007

Na Tabela 7, verifica-se que 66,48% das lâmpadas utilizadas no setor residencial na região Centro-Oeste são lâmpadas incandescentes enquanto 12,73% são lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 8: distribuição de consumo de energia elétrica por tipo de lâmpada no setor residencial da região Norte.

| Tipo | Potência (W) | Consumo mensal por lâmpada (kWh/mês) | Participação do consumo mensal por lâmpada em relação ao consumo da iluminação (%) |
|----------------------|---------------------|---|---|
| Incandescente | 25 | 0,24 | 1,19 |
| | 40 | 1,06 | 5,25 |
| | 60 | 6,63 | 32,77 |
| | 100 | 2,05 | 10,13 |

| | | | |
|------------------------------|-----|--------------|---------------|
| | 150 | 1,09 | 5,38 |
| Fluorescente Tubular | 20 | 3,36 | 16,60 |
| | 40 | 3,11 | 15,36 |
| Fluorescente Compacta | 15 | 0,72 | 3,54 |
| | 20 | 1,39 | 6,89 |
| Fluorescente Circular | 20 | 0,59 | 2,76 |
| Dicrónica | 50 | 0,03 | 0,15 |
| TOTAL | | 20,24 | 100,00 |

Fonte: Eletrobrás, 2007

A Tabela 8 mostra que 54,72% das lâmpadas utilizadas no setor residencial da região Norte são incandescentes enquanto 10,43% são fluorescentes compactas.

Tabela 9: distribuição de consumo de energia elétrica por tipo de lâmpada no setor residencial da região Nordeste.

| Tipo | Potência (W) | Consumo mensal por lâmpada (kWh/mês) | Participação do consumo mensal por lâmpada em relação ao consumo da iluminação (%) |
|------------------------------|---------------------|---|---|
| Incandescente | 25 | 0,21 | 1,89 |
| | 40 | 0,95 | 8,54 |
| | 60 | 4,71 | 42,41 |
| | 100 | 0,17 | 1,54 |
| | 150 | 0,01 | 0,08 |
| Fluorescente Tubular | 20 | 0,88 | 7,91 |
| | 40 | 1,68 | 15,10 |
| Fluorescente Compacta | 15 | 0,49 | 4,37 |
| | 20 | 1,88 | 16,94 |
| Fluorescente Circular | 20 | 0,12 | 1,07 |
| Dicrónica | 50 | 0,02 | 0,15 |
| TOTAL | | 11,20 | 100,00 |

Fonte: Eletrobrás, 2007

Na Tabela 9 vemos que a região Nordeste é a região que mais se adaptou ao uso das lâmpadas fluorescentes compactas. Embora o uso de lâmpadas incandescentes ainda seja de 54.46%, o uso de lâmpadas LFCs já alcançou 21,31% das residências nordestinas.

Tabela 10: distribuição de consumo de energia elétrica por tipo de lâmpada no setor residencial da região Sudeste.

| Tipo | Potência (W) | Consumo mensal por lâmpada (kWh/mês) | Participação do consumo mensal por lâmpada em relação ao consumo da iluminação (%) |
|------------------------------|---------------------|---|---|
| Incandescente | 25 | 0,04 | 0,12 |
| | 40 | 0,75 | 2,05 |
| | 60 | 17,00 | 46,19 |
| | 100 | 8,14 | 22,13 |
| | 150 | 0,86 | 2,34 |
| Fluorescente Tubular | 20 | 1,19 | 3,22 |
| | 40 | 4,69 | 12,74 |
| Fluorescente Compacta | 15 | 1,28 | 3,49 |
| | 20 | 2,36 | 6,42 |
| Fluorescente Circular | 20 | 0,41 | 1,13 |
| Dicróica | 50 | 0,07 | 0,07 |
| TOTAL | | 36,81 | 100,00 |

Fonte: Eletrobrás, 2007

A Tabela 10 mostra que a região sudeste, embora a mais rica economicamente dentre as regiões do Brasil ainda tem sua iluminação residencial com um grande número de lâmpadas incandescentes em uso (72,83%) e apenas 9,91% da iluminação residencial utiliza-se das lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 11: distribuição de consumo de energia elétrica por tipo de lâmpada no setor residencial da região Sul.

| Tipo | Potência (W) | Consumo mensal por lâmpada | Participação do consumo mensal por lâmpada em relação ao |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|---|
|-------------|---------------------|-----------------------------------|---|

| | | (kWh/mês) | consumo da iluminação (%) |
|------------------------------|-----|--------------|---------------------------|
| Incandescente | 25 | 0,03 | 0,14 |
| | 40 | 0,80 | 3,69 |
| | 60 | 10,72 | 49,70 |
| | 100 | 3,39 | 15,74 |
| | 150 | 0,36 | 1,68 |
| Fluorescente Tubular | 20 | 0,45 | 2,10 |
| | 40 | 2,80 | 12,99 |
| Fluorescente Compacta | 15 | 0,74 | 3,43 |
| | 20 | 2,13 | 9,90 |
| Fluorescente Circular | 20 | 0,11 | 0,52 |
| Dicrónica | 50 | 0,02 | 0,11 |
| TOTAL | | 21,62 | 100,00 |

Fonte: Eletrobrás, 2007

A Tabela 11 mostra 70,95% de lâmpadas incandescentes na iluminação residencial da região sul e 13,33% de LFCs.

3 ANÁLISE DA LIMITAÇÃO DO USO DE LÂMPADAS INCADESCENTES DO MERCADO BRASILEIRO

O presente capítulo traz uma breve análise sobre a portaria que determina a limitação do uso das lâmpadas incandescentes no Brasil.

Em 2007, a Agência Internacional de Energia (AIE) ao estimar que a demanda de energia primária possa aumentar em 55% de 2005 a 2030, trazendo sérios riscos a segurança energética e sustentabilidade ambiental, recomendou que os governos retirassem o mais rapidamente possível as lâmpadas incandescentes de seus mercados, assim que fossem economicamente e comercialmente viáveis.

Para atingir esse objetivo, propôs que fosse estabelecido um cronograma de implantação de metas e que houvessem ações governamentais internacionalmente coordenadas com o setor industrial para assegurar a oferta de lâmpadas eficientes de boa qualidade para substituir as ineficientes retiradas do mercado. A Figura 5 mostra a quantidade de CO₂ economizado até 2030, se as recomendações da Agência Internacional de Energia forem seguidas (AIE, 2007).

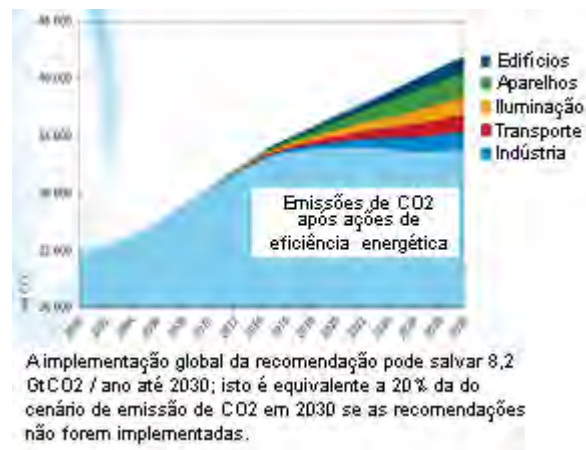


Figura 5 – Potencial de economizado.

Fonte: AIE, 2009.

A exemplo da União Européia e de países como EUA, Austrália e Argentina que estabeleceram um cronograma para retirar as lâmpadas incandescentes de seus mercados, o governo brasileiro, em 31 de dezembro de 2010, publicou a portaria interministerial nº 1007 que estabelece uma agenda de implantação de índices de desempenho energético para

lâmpadas incandescentes com o intuito de bani-las gradativamente do mercado brasileiro (MME, 2010).

A eficiência média mundial dos sistemas de iluminação aumentou significativamente nas últimas décadas. Em 1960, a eficiência energética era de cerca de 18lm/W e em 2005, essa média aumentou para 50lm/W. Porém, a eficiência da iluminação não é algo uniforme entre todos os equipamentos de iluminação, pois depende da necessidade de cada situação e da tecnologia utilizada. Em média, o setor residencial tem a eficiência mais baixa, aproximadamente 20lm/W em 2005, valor muito inferior ao setor comercial (50lm/W) e do setor industrial (80lm/W) (AIE, 2006)

A baixa eficiência do setor residencial pode ser atribuída a vários fatores, sendo um deles a alta quantidade de lâmpadas incandescentes, que é uma tecnologia menos eficiente. Sendo assim, o potencial de conservação de energia elétrica com uma política de banir essas lâmpadas para que sejam substituídas por lâmpadas mais eficientes é considerável. (Bastos, 2010)

Embora o Brasil tenha uma matriz geradora de energia elétrica com um baixo fator de emissão de gases do efeito estufa quando comparado aos outros países, demonstra em seu planejamento energético promover a conservação de energia, conforme compromisso voluntário assumido no final de 2009 em Copenhagen para a redução de emissão de gases causadores do efeito estufa, e aprovação da lei 12187/2009 que trata da política nacional de mudanças climáticas, e do decreto 7390/2010, que regulamenta os artigos 6º, 11 e 12 da lei 12187/2009.

Nesse contexto, foi publicada a portaria interministerial nº 1007 em 2010, com o objetivo de tornar a iluminação mais eficiente no Brasil.

Essa portaria trata da regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas incandescentes. Esses níveis mínimos são mostrados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Níveis mínimos de eficiência energética – 127V

| Lâmpadas Incandescentes Domésticas de 127V – 750 horas | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Potência (W) | EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W) | | | | |
| | 30/06/2012 | 30/06/2013 | 30/06/2014 | 30/06/2015 | 30/06/2016 |
| | | | | | |

| | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|
| Acima de 150 | 20,0 | 24,0 | | |
| 101 a 150 | 19,0 | 23,0 | | |
| 76 a 100 | | 17,0 | 22,0 | |
| 61 a 75 | | 16,0 | 21,0 | |
| 41 a 60 | | | 15,5 | 20,0 |
| 26 a 40 | | | 14,0 | 19,0 |
| Até 25 | | | 11,0 | 15,0 |

Tabela 13 – Níveis mínimos de eficiência energética – 220V

| Lâmpadas Incandescentes Domésticas de 220V – 1.000 horas | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Potência (W) | EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W) | | | | |
| | 30/06/2012 | 30/06/2013 | 30/06/2014 | 30/06/2015 | 30/06/2016 |
| Acima de 150 | 18,0 | 22,0 | | | |
| 101 a 150 | 17,0 | 21,0 | | | |
| 76 a 100 | | 14,0 | 20,0 | | |
| 61 a 75 | | 14,0 | 19,0 | | |
| 41 a 60 | | | 13,0 | 18,0 | |
| 26 a 40 | | | | 11,0 | 16,0 |
| Até 25 | | | | 10,0 | 15,0 |

4 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO E TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL

Este capítulo traz a definição de conceitos relacionados à iluminação, bem como descreve as principais tecnologias disponíveis no mercado para iluminação interna.

4.1 Conceitos de Iluminação

Espectro Eletromagnético

É o intervalo completo da radiação eletromagnética, que contém desde as ondas de rádio, as microondas, o infravermelho, a luz visível, os raios ultravioleta, os raios X, até a radiação gama.

Espectro visível é a porção do espectro eletromagnético cuja radiação composta por fótons, pode ser captada pelo olho humano. Identifica-se esta radiação como sendo a luz visível, ou simplesmente luz. Esta faixa do espectro situa-se entre a radiação infravermelha e a ultravioleta. Para cada frequência da luz visível é associada uma cor. Tem ciclos de 400THz a 750THz e comprimento de onda de 700 nm a 400 nm (Wikipédia, 2011).

A Figura 6 mostra o espectro de luz visível.

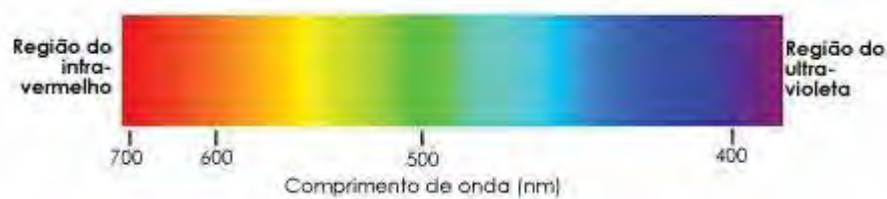


Figura 6 – Espectro de luz visível

Fonte: Wikipédia, 2011.

Fluxo Luminoso

É chamado fluxo luminoso a radiação total emitida em todas as direções por uma fonte luminosa ou fonte de luz que pode produzir estímulo visual. Estes comprimentos de onda estão compreendidos entre 380 a 780 nm. Sua unidade é o lumen (lm).

Para aferir quantos lumens são emitidos por uma fonte luminosa, é preciso medir nas direções onde se deseja esta informação, já que a fonte luminosa quase nunca irradia luz uniformemente em todas as direções (VIANNA, 2001).

A Figura 7 exemplifica o fluxo luminoso.

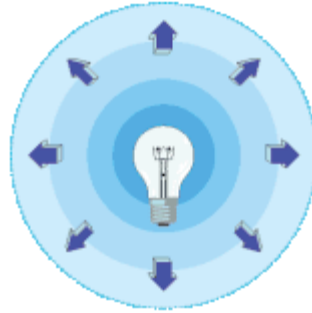


Figura 7 – Fluxo Luminoso

Fonte: Prof2000

Iluminância

Iluminamento, intensidade de iluminação ou iluminância é uma grandeza de luminosidade que faz a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície e a sua área. Sua unidade de medida é o lux (lx) (ABNT).

A Figura 8 mostra a iluminância.

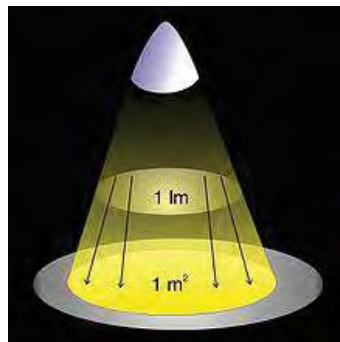


Figura 8 – Iluminância

Fonte: ABNT

Eficiência Luminosa

Rendimento luminoso ou eficiência luminosa é um indicador de eficiência utilizado para avaliar o rendimento da conversão de energia em luz por uma determinada fonte luminosa. É um indicador de mérito que consiste na avaliação do razão entre o fluxo luminoso (em lumens) e a potência (geralmente medida em watts).

Distorção Harmônica Total

É um parâmetro para quantificar numericamente o quanto uma forma de onda está distorcida tomando-se como referência uma função senoidal (DAMATO, 2005).

Fator de Potência

Fator de potência é a razão entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S), indicando a eficiência do uso de energia.

$$FP = \frac{P}{S}$$

Para um circuito não senoidal o fator de potência pode ser calculado da seguinte maneira, considerando a distorção harmônica total de corrente:

$$FP \cong \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + DHT_1^2}}$$

4.2 Tecnologias de Iluminação Interna

De acordo com Xavier (2005) as lâmpadas são os componentes principais em um sistema de iluminação. Dependendo do princípio utilizado para a geração da luz, elas podem ser classificadas em lâmpadas incandescentes ou lâmpadas de descarga. As lâmpadas incandescentes irradiam luz através do aquecimento de um condutor sólido, quando da passagem de uma corrente elétrica, enquanto que as lâmpadas de descarga emitem luz devido à passagem da corrente através de um gás. Existem ainda as lâmpadas mistas, que utilizam os dois processos anteriores durante o funcionamento da lâmpada.

Os principais tipos de lâmpadas para iluminação residencial que podem ser encontradas no mercado pode ser observada na Figura 9:

- Incandescente → Convencional / Halógena
 - Fluorescente → Tubular / Compacta
 - LED

Figura 9 – Tipos de Lâmpadas.

Fonte: Autoria Própria

4.2.1 Lâmpada Incandescente Convencional



Figura 10 – Lâmpadas Incandescentes Convencionais

Fonte: naoseiainda22, 2011.

As lâmpadas incandescentes (Figura 10) consistem de um bulbo contendo um filamento que é aquecido e emite luz. Até 95% da energia emitida pelas lâmpadas incandescentes é transformada em calor, e então, a sua eficiência é inerentemente baixa.

Lâmpadas incandescentes podem ter diferentes tipos de acabamento que podem modificar o brilho do filamento. Algumas substâncias internas, como gases de halogênio e filamentos especiais de tungstênio controlam a emissão de luz. Tungstênio é utilizado porque tem um alto ponto de fusão e uma baixa taxa de evaporação em altas temperaturas. O filamento é cercado por um gás (argônio no padrão das lâmpadas incandescentes) para reduzir a taxa de evaporação do tungstênio e isso eleva a temperatura em que o filamento pode operar e, portanto, a saída de luz. No entanto o gás também conduz calor, o que reduz a eficácia global. (AIE, 2006)

A Figura 11 mostra a composição de uma lâmpada incandescente.

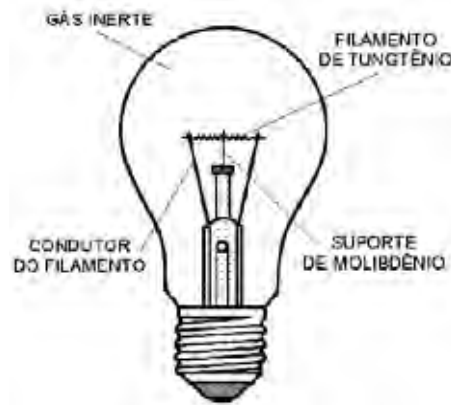


Figura 11 – Lâmpada Incandescente Convencional

Fonte: Bastos, 2010

A lâmpada incandescente convencional foi desenvolvida em 1878 e as melhorias de *design* continuaram a ser feitas até 1936 quando os níveis de eficácia nesse período aumentaram por um fator de aproximadamente 10 (CADDET, 1991). Não ocorreram mais desenvolvimentos até que as lâmpadas halógenas aparecessem em 1958.

A vida útil de uma lâmpada incandescente não é afetada pelo número de vezes que ela é acesa, mas com uma média de apenas 1.000 horas, ela é menor do que a vida útil de outras alternativas.

Lâmpadas incandescentes criam uma iluminação de cor confortável e, acima de tudo, são baratas para comprar e prontamente disponíveis em muitos tipos de lojas de varejo. Suas características de cromaticidade são perto da reprodução de cor perfeita, mas elas só são capazes de produzir luz mais quente com temperaturas de cor na faixa de 2.400K a 3.100K, que é aproximadamente equivalente à luz do dia entre o nascer do sol e uma hora depois. As lâmpadas incandescentes mais comuns distribuem luz difusa em todas as direções a partir do bulbo, no entanto, podem ser alojadas dentro de refletores para proporcionar distribuição de luz mais estreita ou direcionada quando for necessário.

As lâmpadas incandescentes também são comumente disponíveis em grande variedade de formas decorativas, tais como a vela e formas de chama. Seu preço baixo, cor quente e longa familiaridade levaram essas lâmpadas a serem muito adquiridas em nível mundial, e são particularmente prioritárias em aplicações residenciais na maioria dos países.

Elas têm a menor eficácia de saída de iluminação (6-18lm/W) do que suas possíveis substitutas.

4.2.2 Lâmpada Incandescente Halógena



Figura 12 – Lâmpadas Incandescentes Halógenas

Fonte: fazfacil, 2010.

Lâmpadas halógenas de tungstênio (Figura 12) são um derivado de maior eficiência das lâmpadas incandescentes. Essas lâmpadas foram desenvolvidas na década de 1950, mas não foram comercializadas até os anos 1980 (AIE, 2006).

O bulbo que encerra o filamento é preenchido com um gás de halogênio de alta pressão, que permite maior temperatura do filamento do que as que são possíveis nas lâmpadas incandescentes. A maior temperatura do filamento não só aumenta a eficácia da lâmpada como também gera um “branco” de luz. Além disso, o gás halogênio altera os limites de evaporação do filamento de tungstênio e, por uma regeneração química (chamada ciclo halógeno) re-deposita tungstênio evaporado sobre a superfície quente do filamento. Conseqüentemente, a depreciação luminosa (o que é devido à parede do bulbo escurecendo) encontrada em lâmpadas incandescentes torna-se insignificante em lâmpadas halógenas, na qual a vida útil do filamento é mais longa (AIE, 2006).

A temperatura elevada da parede da lâmpada é necessária para o ciclo de trabalho do halogênio, e isso só é possível se feita de um material transparente resistente a temperatura. Para tanto, é usado, por exemplo, sílica fundida ou quartzo. A expansão relativa desses materiais e sua alta temperatura resultam em ser mais fácil para aumentar o filamento em uma pequena cápsula.

O revestimento é transparente para luz visível, mas reflete o elemento infravermelho. Este elemento aumenta a temperatura e eficácia em 40 a 60% em comparação com outros projetos de lâmpadas incandescentes. A mesma tecnologia de infravermelho tem sido incorporada com êxito em uma base experimental de lâmpadas incandescentes padrões (AIE, 2006).

A Figura 13 mostra a composição de uma lâmpada incandescente halógena.

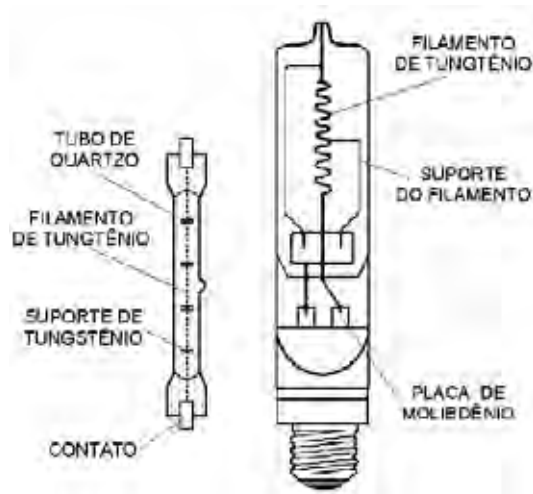


Figura 13 – Lâmpada Incandescente halógena

Fonte: Bastos, 2010.

Lâmpadas halógenas de tungstênio têm eficácia de 18 a 33 lm/W e uma vida útil avaliada de 2.000 a 6.000 horas. As lâmpadas dicróicas com tungstênio infravermelho têm a maior eficiência, na faixa de 28 a 35 lm/W. Todas as lâmpadas halógenas são totalmente regláveis, mas a sua eficiência diminui acentuadamente a medida que vão ficando esmaecidas.

Existem vários subgrupos de lâmpadas halógenas que proporcionam diferentes quantidades de luz e destinam-se a diversas aplicações.

A Figura 14 mostra alguns tipos de lâmpadas halógenas.



Figura 14 – Tipos de lâmpadas halógenas

Fonte: Bastos, 2010.

Vantagens das lâmpadas incandescentes:

- Produzem a chamada “luz quente”, mais natural aos olhos humanos.

- São de custo reduzido.
- A luminosidade pode ser controlada.

Desvantagens das lâmpadas incandescentes:

- O seu grande consumo de energia e sua baixa eficiência energética.

4.2.3 Lâmpada Fluorescente Tubular



Figura 15 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

Fonte: sempretops, 2011

Uma lâmpada fluorescente tubular (LFT) (Figura 15) é uma lâmpada de descarga de baixa pressão que consiste de um tubo de vidro de cal de soda revestidos internamente com fósforo e elétrodos de tungstênio fio revestido em um emissor térmico selado em cada final do tubo. Ele é preenchido com um ou mais gases inertes (geralmente argônio) e vestígios de mercúrio. A luz ultravioleta é emitida pela passagem de uma corrente elétrica entre os eletrodos, criando um arco de baixa intensidade que excita o vapor de mercúrio e, assim, produz radiação ultravioleta. Esta por sua vez, excita os fósforos que revestem o tubo de vidro, e estes, em seguida, emitem luz visível (AIE, 2006).

Lâmpadas fluorescentes precisam de um lastro para regular a entrada de corrente e tensão de uma maneira que irá iniciar a lâmpada de descarga e, em seguida, mantê-la no nível requerido. As lâmpadas fluorescentes são também difusoras de fontes de luz, o que significa que a luz é emitida quase uniformemente de cada ponto da parede da lâmpada.

A estrutura da lâmpada exige que ela seja alojada em uma luminária que permite que a luz seja redirecionado para onde ela é necessária, e isso significa uma avaliação da lâmpada

de desempenho deve ser baseada em quão bem ele funciona em conjunto com a luminária (AIE, 2006).

Tubos fluorescentes têm níveis de eficácia elevado (60-104 lm/W) em relação as lâmpadas incandescentes e maior tempo de vida operacional (7.500 - 30.000h). Estas lâmpadas podem ser projetadas para fornecer uma maior gama de temperatura de cor que as lâmpadas incandescentes, variando de 2.700K (Como o encontrado com uma lâmpada incandescente) para 7.500K (luz do dia). Estas características combinadas com preços nos quais os consumidores estão dispostos a pagar levaram as LFTs dominarem a iluminação no local de trabalho, especialmente em escritórios e edifícios públicos. Seus baixos custos de energia e de manutenção por unidade de entrega levou as LFTs rapidamente a substituírem as lâmpadas incandescentes como a principal fonte de iluminação no setor comercial após a sua comercialização em 1937 (AIE, 2006).

Apesar de ter uma longa história, LFTs continuam a ser desenvolvidas e ainda têm potencial para melhorar. O fósforo utilizado nestas lâmpadas tendem a dar uma luz azul branco, e as lâmpadas são propensas a cintilação. Apesar de sua alta eficiência, lâmpadas fluorescentes têm limitações. Eles não são adequadas para o controle de feixe de luz preciso e requerem operação com reatores eletrônicos. A Figura 16 mostra o funcionamento de uma lâmpada fluorescente (AIE, 2006).

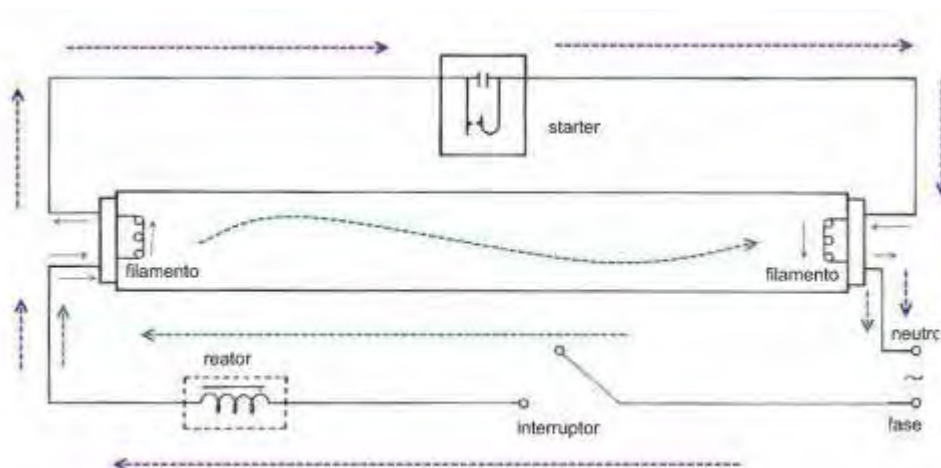


Figura 16 – Funcionamento da lâmpada fluorescente.

Fonte: guiadobulicosodasgalaxias, 2011.

4.2.4 Lâmpada Fluorescente Compacta



Figura 17 – Lâmpadas Fluorescentes Compactas

O desenvolvimento de terras-raras fósforos no final de 1970 também permitiu a produção de lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) (Figura 17). Estas foram comercializadas no início de 1980 e são oferecidas em dois tipos: com o reator integrado a lâmpada ou não. As primeiras são concebidas como substitutas diretas para lâmpadas incandescentes e são projetados para se encaixarem em luminárias nas quais existiam lâmpadas incandescentes, enquanto as últimas são orientadas mais em áreas comuns de edifícios comerciais e edifícios novos como alternativas para instalações de iluminação incandescente (AIE, 2006).

As lâmpadas fluorescentes compactas são geralmente compostas de 2, 4 ou 6 pequenas lâmpadas fluorescentes que são montados em uma base ligada a um reator para os modelos com reator integrado, ou com *plug-in* nos tubos para os modelos não-integrado. As lâmpadas integradas utilizam um parafuso na base ou tampa do reator na mesma forma das lâmpadas incandescentes (AIE, 2006).

Os pacotes de lúmens (emissão de luz) das lâmpadas fluorescentes compactas integradas são projetados para corresponder às equivalentes lâmpadas incandescentes, mas como sua eficácia é 4-5 vezes maior, a potência é proporcionalmente menor. As LFCs estão na faixa de classificação de 4-120 W e sua eficácia 35-80 lm / W. A eficácia elevada em relação às lâmpadas incandescentes é a vantagem das lâmpadas fluorescentes compactas e significa que elas irão consumir um quarto a um quinto da energia para fornecer o mesmo nível de luz. Cerca de 25% da energia consumida por lâmpadas fluorescentes compactas é convertida em luz visível, em comparação com apenas 5% para uma lâmpada incandescente. Esta eficiência alta significa que as LFCs possuem baixa temperatura e podem ser tocada

durante a operação e, portanto, são mais seguras. Outro benefício importante é que elas têm uma vida útil maior quando comparadas com lâmpadas incandescentes. O tempo de vida útil está entre 5.000 e 25.000h (AIE, 2006).

A Figura 18 mostra o esquema de uma LFC.

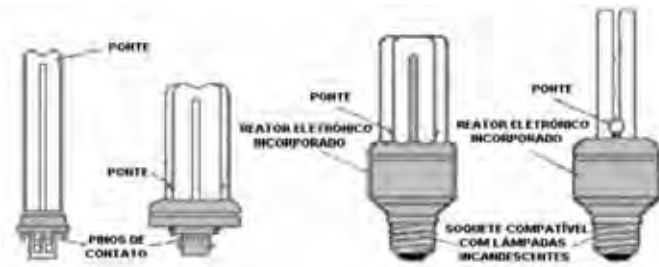


Figura 18 – Lâmpadas Fluorescentes Compactas

Fonte: blogspot, 2011.

No entanto, há uma série de limitações que têm retardado a sua taxa de penetração no mercado. A maior barreira foi seu alto custo inicial: quando lançada pela primeira vez, as lâmpadas fluorescentes compactas custavam 30 vezes mais do que as suas equivalentes incandescentes (AIE, 2006). Os preços das LFCs caíram constantemente desde então e agora está custando cerca de quatro vezes o preço de uma lâmpada incandescente, no entanto, mesmo neste nível de preços continua a ser uma barreira. Apesar do preço de compra elevado, os custos do ciclo de vida das lâmpadas fluorescentes compactas são uma fração daqueles para lâmpadas incandescentes por causa de seu baixo custo produzido com a energia consumida. Atualmente elas estão disponíveis em uma gama de níveis de temperatura de cor maior do que as incandescentes, incluindo os tons quentes.

Vantagens das lâmpadas fluorescentes:

- A iluminação fluorescente é 66% mais barata do que a iluminação regular, proporcionando o mesmo brilho. Quando considera que um quarto do consumo de energia de qualquer casa é feita através de lâmpadas, a economia pode adicionar-se consideravelmente.

- A lâmpada fluorescente tem maior vida útil. Em média, uma lâmpada fluorescente tem vida útil de seis vezes mais do que uma lâmpada incandescente comum. Elas tendem a consumir menos após o uso contínuo.
- A iluminação fluorescente emite menos calor, o que a torna ideal para iluminação de áreas onde o calor adicional pode provocar o mau funcionamento de equipamentos ou incomodar os usuários.

Desvantagens das lâmpadas fluorescentes:

- Para produzi-las se gasta pelo menos 10 vezes mais energia do que a usada para produzir as lâmpadas incandescentes (o processo para fabricar uma lâmpada incandescente é muito mais simples e consome também menos matéria prima).
- Contém mercúrio (que é altamente nocivo à saúde humana) e requer cuidados especiais para serem descartadas.
- Produz radiação eletromagnética nociva à saúde humana (electrosmog) muitas vezes superior ao nível considerado seguro para emissão das telas de TV e monitores (Revista Suíça do Consumidor K-tipp, No.18, 2007)
- Produz luz artificial e de espectro não homogêneo que causa irritantes oscilações de intensidade, muitos harmônicos e picos intensos de luz azulada.
- A intensidade da luz decresce acentuadamente com o tempo de vida da lâmpada.

4.2.5 Lâmpada LED

De acordo com FUPAI (2006) as Lâmpadas LED (Figura 19) são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Com tamanho bastante reduzido, o LED oferece vantagens através de seu desenvolvimento tecnológico, tornando-o numa alternativa real na substituição das lâmpadas convencionais. Diferentemente do que ocorre com a lâmpada incandescente, que abrange todo espectro de cores o LED é monocromático, gerando apenas uma única cor que depende do tipo de material utilizado, como por exemplo, galênio, arsênio e fósforo. A tecnologia LED está sendo produzida com

custos cada vez menores, porém ainda tem um preço mais alto que as lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

De acordo com AIE (2010) a eficiência energética dos LEDs continua a se desenvolver intensamente e chega a cerca de 100 lúmens por watt na iluminação de luz branca. Enquanto a eficiência aumenta, o gerenciamento térmico, um dos maiores problemas da tecnologia de LEDs, tem sido equacionado e o custo da tecnologia reduzido (AIE, 2010).



Figura 19 – Lâmpadas LED

Fonte: Tray Shopping, 2011

Em relação as lâmpadas LED se verifica que ele evoluiu muito nestes quase 50 anos de vida. Atualmente, ele está presente em tantos aparelhos que nem se imagina. Desde celulares, passando por câmeras digitais e chegando até os televisores (JORDÃO, 2011).

O LED é um componente eletrônico, mais precisamente, um diodo semicondutor. O funcionamento do LED é relativamente simples, sendo que ao receber energia ele emite luz. Diferente da maioria dos componentes eletrônicos, que liberam energia através do calor, o LED consegue liberar a energia excedente na forma de luz. Antigamente, os LEDs só emitiam luzes coloridas, porque tinham uma carcaça colorida, a qual quando iluminada pelo raio produzido pelo LED, fornecia uma cor específica. Com a evolução do processo de construção do LED, estes componentes passaram a emitir luzes em cores diferentes, mesmo tendo uma carcaça transparente. Além disso, surgiram os LEDs capazes de reproduzir várias cores, sendo assim, um mesmo componente poderia criar centenas ou até milhares de cores diferentes. Claro que para isso, a tecnologia no componente evoluiu muito, mas o modo de funcionamento continuou quase o mesmo. Através de um controle de alta precisão na corrente elétrica, o LED consegue emitir tonalidades de cores diferentes, o que se tornou um fator muito importante para as novas tecnologias que têm aderido este pequenino item da eletrônica (JORDÃO, 2011).

Sobre a produção das Lâmpadas LED, Jordão (2011) ressalta que por muito tempo os cientistas vêm pesquisando e trabalhando em diversos projetos para inovar e criar uma lâmpada que funcione através de LEDs. Até o presente momento, já existem algumas lâmpadas que funcionam através de LEDs e, aliás, funcionam muito bem. Contudo o grande problema não está na adaptação, ou na demora da tecnologia ser suficiente para prover uma boa iluminação, porém o problema consiste no elevado preço que é cobrado por essas lâmpadas. Os atuais LED lights (lâmpadas de LED) proporcionam uma iluminação excelente e o melhor, funcionam em várias cores. Algumas empresas, como a Philips, vêm fabricando produtos desse tipo em larga escala, entretanto ainda não há um público definido para tais lâmpadas. Apesar de elas utilizarem os mesmos bocais que as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, elas ainda não estão custando o mesmo preço para ser algo compensador.

Vantagens da lâmpada LED:

- Tempo de vida útil – Possuem um tempo de vida útil em média de 50 mil horas. Se ligado durante 8 horas por dia alcança até 17 anos de uso. Comparado, por exemplo, com uma lâmpada Fluorescente Compacta esse tempo chega no máximo a 10 mil horas (fonte: INMETRO).
- Luxo Luminoso – Praticamente não altera o brilho com o seu uso. Uma Fluorescente Compacta chega a perder 84% do seu fluxo luminoso após 2 mil horas de uso (fonte: INMETRO).
- Economia de energia – Este é um ponto que sempre é bastante explorado e dependerá de qual tipo de lâmpada e projeto de iluminação estamos comparando com uma luminária a LED. Normalmente é prevista uma economia de 10 a 30% porém dependerá de qual o resultado final esperado para o ambiente.
- Não gera calor – Como não emitem raio infravermelho, não geram calor, ou seja, a superfície iluminada por LED fica na temperatura ambiente. Essa é uma vantagem para ambientes refrigerados como escritórios, que usam, por exemplo, lâmpadas dicróicas. Mas vamos esclarecer que a luminária em si pode aquecer, dependendo da potência, mas nada comparado a uma incandescente.
- Emissão de ultravioleta e infravermelho – Exceto o LED, todas as fontes de luz conhecidas hoje (lâmpadas incandescentes, halógenas, vapor de sódio, vapor

metálico, vapor de mercúrio, luz do sol) emitem raios ultravioleta e infravermelho.

- Compromisso com meio ambiente – São considerados lixo comum, não demandando tratamento especial em sua fabricação ou descarte. Não tem em sua composição substâncias tóxicas, nem mercúrio, nem filamentos.
- Facilidade de integração – Sua utilização com outros componentes eletrônicos como fibra óptica, painel solar, baterias, etc é natural, abrindo um vasto leque de opções a ser explorado.
- Resistência a uso severo – Como se trata de um componente sólido, suporta bem a vibração, variação de temperatura e uso pulsante constante sem problemas.

Desvantagens da lâmpada LED:

- Dependência de componentes importados – Apesar de já contarmos no Brasil com várias empresas que fabricam luminárias com LED, ainda dependemos da importação do componente.
- Mão de obra especializada – O uso do LED requer cuidados para que suas vantagens sejam garantidas. Um bom projeto demanda atenção quanto a aspectos de dissipação de calor, lentes de conversão, fonte de alimentação (*drivers*) e circuitos eletrônicos (*dimmer* de efeito).
- Investimento e retorno em curto prazo – Se compararmos de forma imediatista certamente o preço de uma luminária de LED pode desmotivar a sua compra. Porém quando colocado na ponta do lápis o investimento se paga em médio prazo.
- Adaptação de luminárias já existentes – Nem sempre a substituição imediata de uma lâmpada convencional por uma solução de LED é direta. No mercado encontramos algumas soluções de “*retrofit*”, mas o ideal é quando podemos “*customizar*” a solução de forma a conseguir um resultado final com o efeito desejado a um preço mais em conta.

5 RESULTADOS COMPARATIVOS DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES E LED NO QUE DIZ RESPEITO À QUALIDADE DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Qualidade de Energia é analisada sob o ponto de vista de operação do sistema de distribuição de energia elétrica, o que a difere de qualidade de iluminação, que é o conforto visual que o usuário recebe.

Muitos têm sido os estudos a cerca da economia de energia e sobre a influência do controle de potência realizado por equipamentos de última geração para o controle da energia utilizada no processo e seu impacto no sistema de distribuição de energia elétrica.

Alguns equipamentos que proporcionam o controle de potência utilizam-se do efeito de recortar a senóide da onda de tensão para baixar o valor RMS (*Root mean square* – Valor Eficaz) de corrente entregue a carga, distorcendo a forma de onda da corrente que também deveria ser uma senóide.

Entende-se que o controle de energia, se não for aplicado adequadamente, pode trazer prejuízos a qualidade de energia elétrica fornecida a outros equipamentos ligados a mesma rede de distribuição.

Devido ao formato distorcido da onda de corrente de carga, vários fenômenos ocorrem, assim como o aumento das perdas nas redes e nos transformadores de distribuição; aumento das perdas e fenômenos de ressonância nos capacitores utilizados para corrigir o fator de potência das redes de distribuição; aumento das perdas dos motores em geral. Estas perdas consideradas em conjunto representam um custo significativo (HEYDT, et al).

Entende-se como fator de potência a potência ativa de um circuito (trabalho realizado) em relação a sua potência aparente (ocupação do sistema elétrico (produto entre corrente e tensão, independente da defasagem)).

Harmônicos são definidos como os componentes sinusoidais de uma onda periódica, que possuem frequência múltipla inteira da frequência da fundamental. (Damato, 2005)

Os harmônicos são fenômenos contínuos e não devem ser confundidos com fenômenos de curta duração, que duram apenas alguns ciclos. Estão entre os fenômenos responsáveis pela distorção das formas de onda, pelas alterações da frequência e do valor eficaz da tensão e da corrente. São perturbações responsáveis por sobreaquecimento de cabos e transformadores, aumento de perdas elétricas, redução do fator de potência, elevação do potencial do neutro, má operação do controle digital de equipamentos, conjugados pulsantes em máquinas

elétricas e falhas em equipamentos de uma instalação elétrica, entre outras perturbações. (DAMATO, 2005)

Os harmônicos são causados por cargas não-lineares, que são cargas em que a corrente que é absorvida pelo equipamento não tem a mesma forma de onda da tensão de alimentação. Como exemplo de cargas não-lineares têm-se todas as cargas alimentadas por dispositivos eletrônicos de potência, os acionamentos estáticos. (DAMATO, 2005)

5.1 Metodologia

Os testes foram realizados no Laboratório de Eficiência em Sistemas de Iluminação Pública (LESIP) (Figura 20) situado nas dependências da FEG / UNESP campus de Guaratinguetá.



Figura 20 – Foto da Fachada do LESIP

Fonte: Latqeee, 2011

Esses testes têm como objetivo verificar a diferença entre a qualidade de energia e eficiência energética em cada lâmpada. Foi utilizada uma fonte de tensão AMX 345 para que o experimento não sofresse alteração das harmônicas da rede (Figura 21).

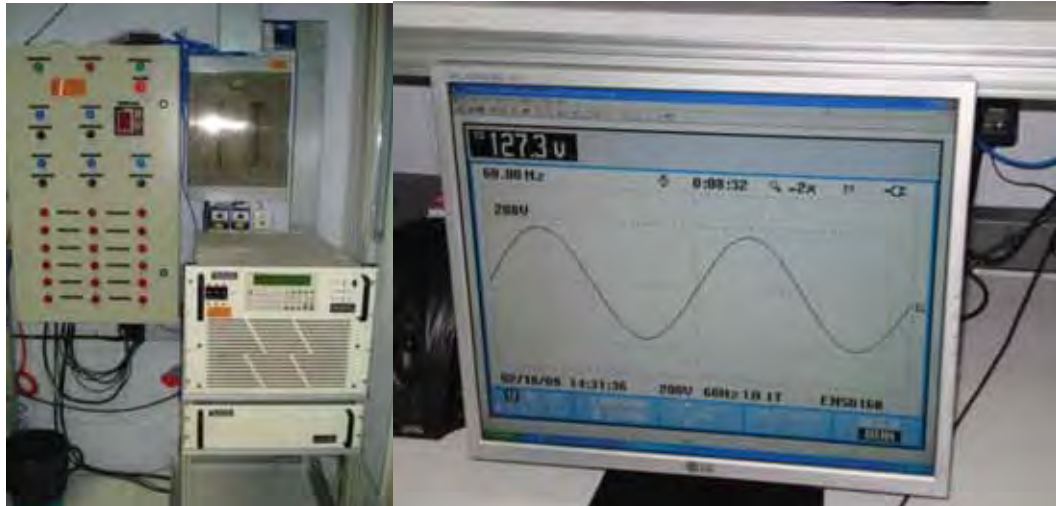


Figura 21 – Fonte de Tensão

Fonte: Própria

Foram medidas as formas de onda de corrente, a distribuição harmônica, o fator de potência, a iluminância e a temperatura de cor de cada lâmpada.

Através do analisador trifásico de qualidade de energia e oscilografia em Baixa Tensão (Figuras 22 e 23), foi feita a medição da forma de onda de corrente, a distribuição harmônica e o fator de potência.



Figura 22 – Lâmpada Incandescente X LED

Fonte: Própria



Figura 23 – LFC X LED

Fonte: Própria

Com o equipamento Konica Minolta Chroma Meter CL 200 foi realizada a medição da iluminância e temperatura de cor de cada lâmpada (Figura 24). Com o aparelho colocado sobre uma mesa, perpendicular ao feixe de luz, foi feita a medição.



Figura 24 – Medição da Iluminância e Temperatura de Cor.

Fonte: Própria

As primeiras medições foram realizadas na sala de medição (Figura 25), com fonte de tensão programável e computadores com aquisição de dados, para controle dos parâmetros da bancada de testes do conjunto de lâmpadas diversas.



Figura 25 – Sala de Medições

Fonte: Latqee, 2011

Já as demais medições, foram realizadas em uma sala escura (Figura 26), para poder ser verificada a iluminância e temperatura de cor de cada lâmpada.



Figura 26 – Sala Escura para Medições

Fonte: Latqee, 2011.

5.2 Equipamentos Utilizados

- Analisador Trifásico de Qualidade de Energia e Oscilografia em Baixa Tensão.
- Konica Minolta Chroma Meter CL 200.
- Fonte AMX 345.
- Lâmpada Incandescente 60 W Phillips.
- Lâmpada Fluorescente 15 W.
- Lâmpada LED 5 W Hexaled
- Lâmpada LED 10 W Hexaled

5.3 Resultados

5.3.1 Medições feitas com a Fonte de Tensão

Na Figura 27 é mostrada a forma de onda de tensão aplicada às quatro lâmpadas, que é a tensão na saída da fonte de alimentação, utilizada para retirar os harmônicos da rede. A tensão é de 127,3V com uma frequência de 60Hz.

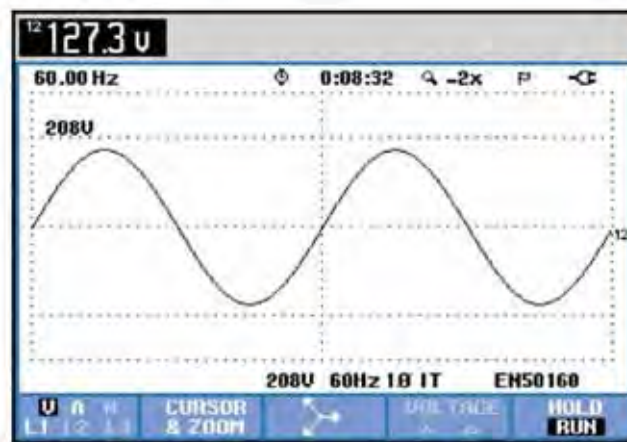


Figura 27 – Tensão aplicada às lâmpadas.

Fonte: Própria

Na Figura 28 é mostrado que não existem harmônicos na tensão formada pela fonte de alimentação. A THD é de 0,1% mostrando que a distorção na rede é insignificante.

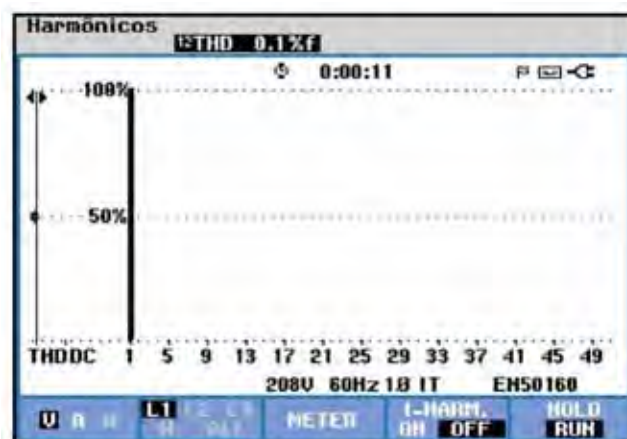


Figura 28 – Distribuição Harmônica de Tensão

Fonte: Própria

5.3.2 Medições feitas na Lâmpada Incandescente de 60W (LI 60W)

Na Figura 29 vê-se a forma de onda de corrente ao aplicarmos a tensão na lâmpada incandescente de 60W, produzindo uma corrente de 0,47A.

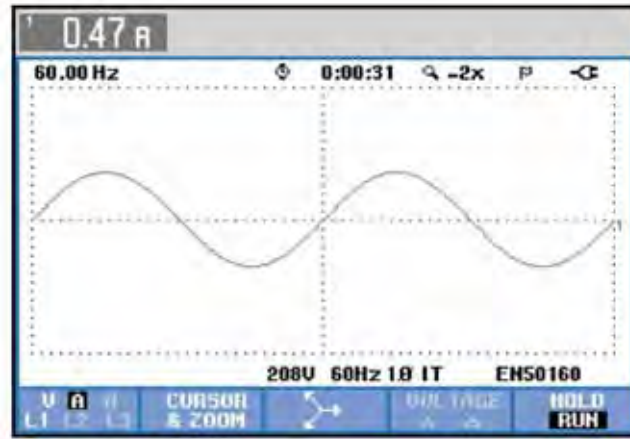


Figura 29 – Forma de onda de corrente na LI 60W.

Fonte: Própria

Na Figura 30 tem-se os harmônicos verificados na lâmpada incandescente 60W. Percebe-se que não existe presença de harmônicos consideráveis para lâmpada incandescente. O THD é de 0,6% mostrando uma distorção desprezível na corrente.

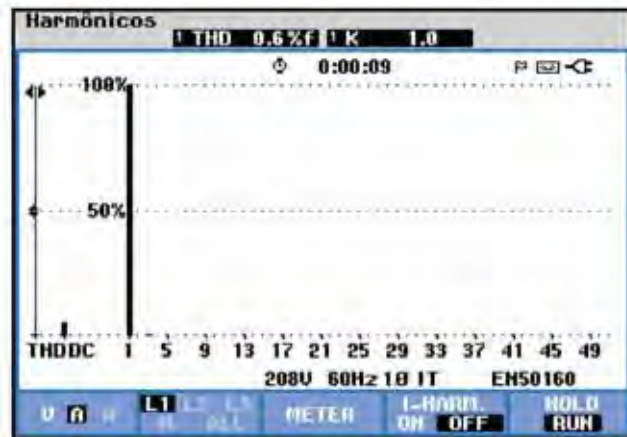


Figura 30 – Distribuição Harmônica de Corrente da LI 60W

Fonte: Própria

Na Figura 31, verifica-se que a lâmpada incandescente utilizada como amostra tem 60W, está sob uma tensão RMS de 127,1V, produz uma corrente RMS de 0,47A e tem fator de potência igual a 1.



Figura 31 – Valores de Potência e Energia na LI 60W
Fonte: Própria

A Figura 32 é um comparativo entre as formas de onda de tensão e forma de onda de corrente.

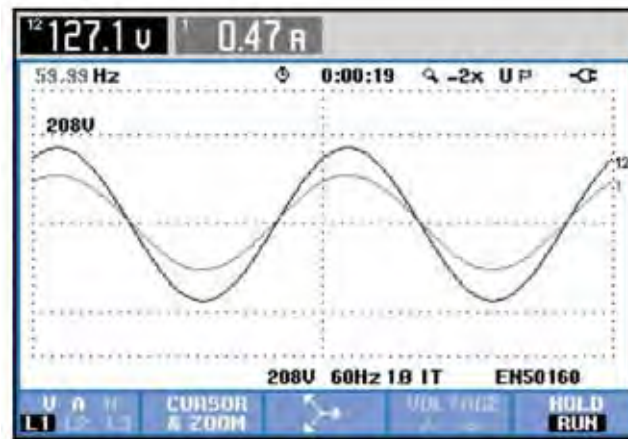


Figura 32 – Forma de onda de tensão e corrente na LI 60W
Fonte: Própria

Os valores medidos para a lâmpada incandescente 60W para iluminância foram de 42,1 lux e para a temperatura de cor foi de 2845 K.

5.3.3 Medições feitas na Lâmpada Fluorescente Compacta de 15W (LFC 15W)

Na Figura 33 vê-se a forma de onda de corrente ao aplicarmos a tensão na lâmpada fluorescente de 15W, produzindo uma corrente de 0,21A.

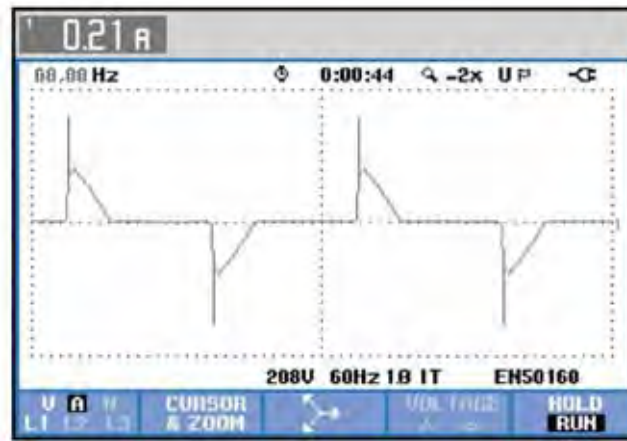


Figura 33 – Forma de onda de corrente na LFC 15W.

Fonte: Própria

Na Figura 34 tem-se os harmônicos verificados na lâmpada fluorescente 15W. Na lâmpada fluorescente já podemos verificar uma presença de harmônicos. O THD é agora de 111% mostrando que a distorção na forma de onda de corrente é existente.

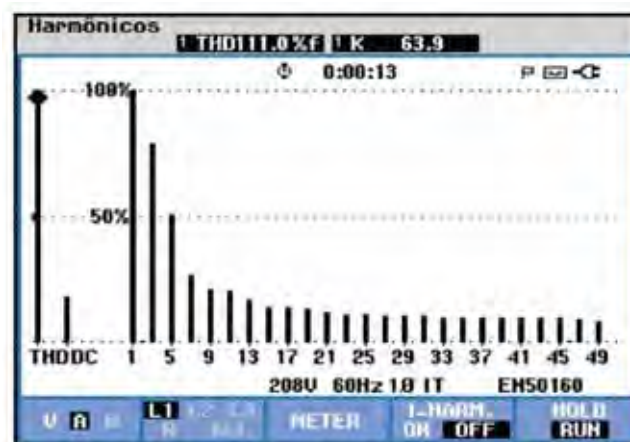


Figura 34 – Distribuição Harmônica de Corrente da LFC 15W

Fonte: Própria

Na Figura 35 apresentada abaixo, verifica-se que a lâmpada fluorescente utilizada como amostra tem 15W, está sob uma tensão RMS de 127,32V, produz uma corrente RMS de 0,21A e tem fator de potência igual a 0,55.



Figura 35 – Valores de Potência e Energia na LFC 15W
Fonte: Própria

A Figura 36 é um comparativo entre as formas de onda de tensão e forma de onda de corrente.

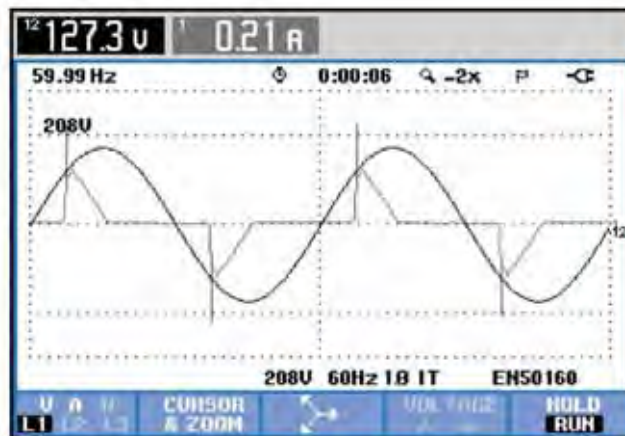


Figura 36 – Forma de onda de tensão e corrente na LFC 15W
Fonte: Própria

Os valores medidos para a lâmpada fluorescente 15W para iluminância foi de 15,1 lux e para a temperatura de cor foi de 5467 K.

5.3.4 Medições feitas na Lâmpada LED de 5W

Na Figura 37 vê-se a forma de onda de corrente ao aplicarmos a tensão na lâmpada LED de 5W, produzindo uma corrente de 0,04A.

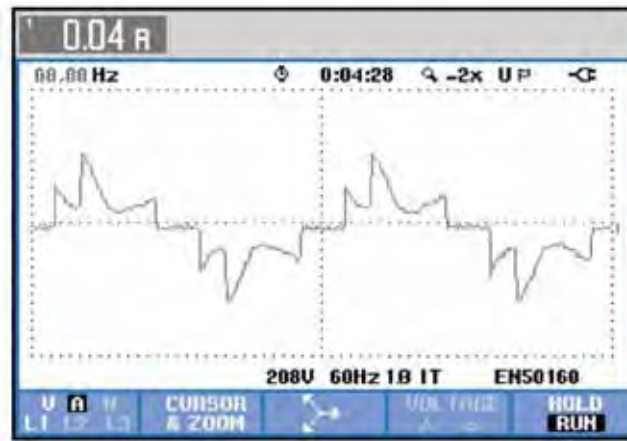


Figura 37 – Forma de onda de corrente na LED 5W.

Fonte: Própria

Na Figura 38 tem-se os harmônicos verificados na lâmpada LED 5W. Na lâmpada LED também pode-se verificar uma presença de harmônicos, porém em menor escala do que a verificada para a lâmpada fluorescente. O THD é agora de 53,1% mostrando que existe distorção na forma de onda de corrente.

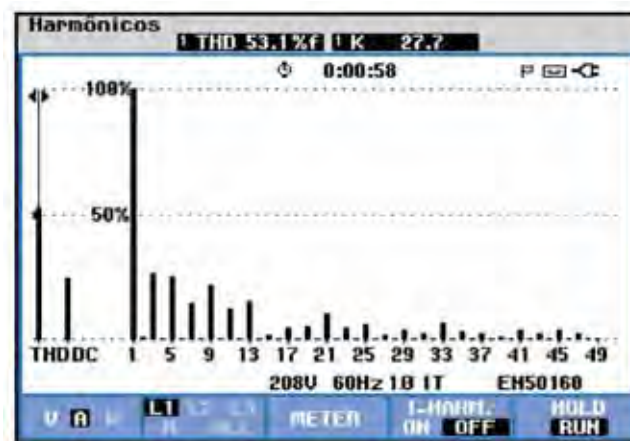


Figura 38 – Distribuição Harmônica de Corrente da LED 5W

Fonte: Própria

Na Figura 39, verifica-se que a lâmpada LED utilizada como amostra tem 5W, está sob uma tensão RMS de 127,36V, produz uma corrente RMS de 0,04A e tem fator de potência igual a 0,85.



Figura 39 – Valores de Potência e Energia na LED 5W
Fonte: Própria

A Figura 40 é um comparativo entre as formas de onda de tensão e forma de onda de corrente.

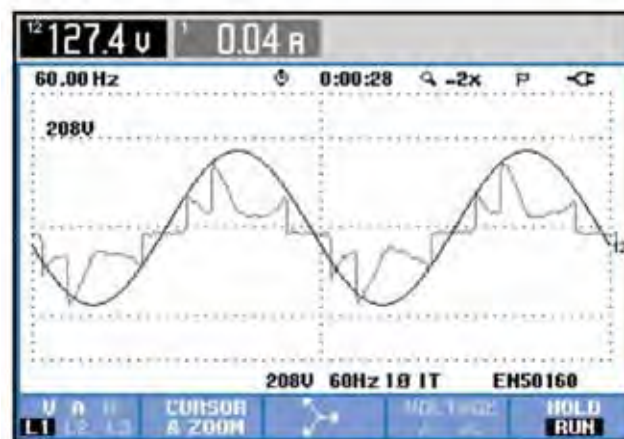


Figura 40 – Forma de onda de tensão e corrente na LED 5W
Fonte: Própria

Os valores medidos para a lâmpada LED 5W para iluminância foi de 9,4 lux e para a temperatura de cor foi de 5272 K.

5.3.5 Medições feitas na Lâmpada LED de 10W

Na Figura 41 vê-se a forma de onda de corrente ao aplicarmos a tensão na lâmpada LED de 10W, produzindo uma corrente de 0,08A.

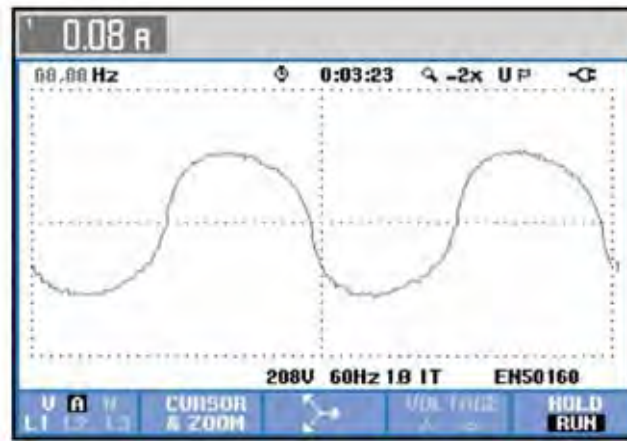


Figura 41 – Forma de onda de corrente na LED 10W.

Fonte: Própria

Na Figura 42 tem-se os harmônicos verificados na lâmpada LED 10W. Na lâmpada LED também se pode verificar uma presença de harmônicos, porém em escala muito pequena do que a verificada para as lâmpadas fluorescente e LED. O THD é agora de 18,3% mostrando que existe distorção na forma de onda de corrente, porém muito pequena.

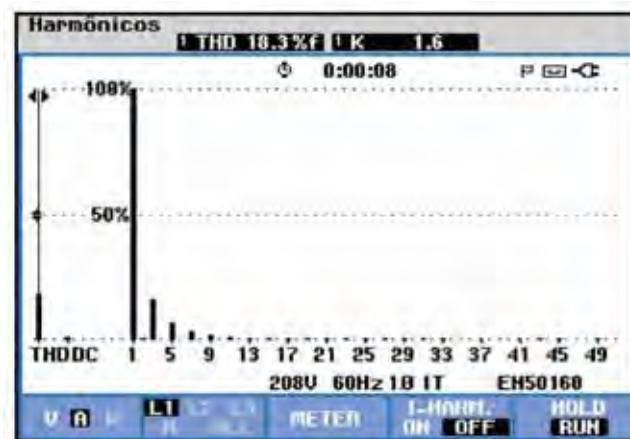


Figura 42 – Distribuição Harmônica de Corrente da LED 10W

Fonte: Própria

Na Figura 43 apresentada abaixo, verifica-se que a lâmpada LED utilizada como amostra tem 10W, está sob uma tensão RMS de 127,33V, produz uma corrente RMS de 0,08A e tem fator de potência igual a 0,98.



Figura 43 – Valores de Potência e Energia na LED 10W
Fonte: Própria

A Figura 44 é um comparativo entre as formas de onda de tensão e forma de onda de corrente.

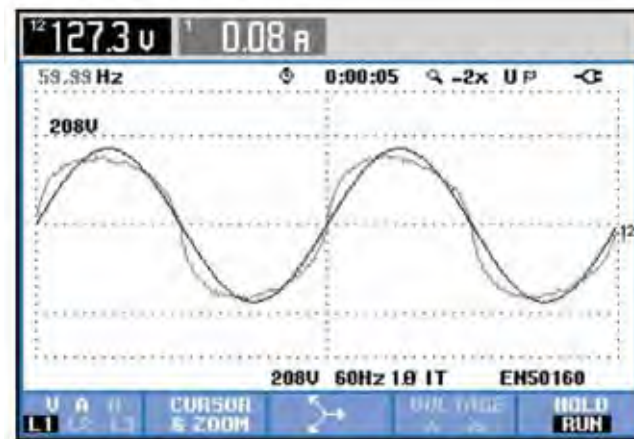


Figura 44 – Forma de onda de tensão e corrente na LED 10W
Fonte: Própria

Os valores medidos para a lâmpada LED 10W para iluminância foi de 34,2 lux e para a temperatura de cor foi de 5486 K.

5.3.6 Comparativo entre as Lâmpadas

Conforme a medição feita foi possível perceber (Figura 45) que a corrente consumida pela lâmpada incandescente é 5,8 vezes maior do que a consumida pela lâmpada LED e 2,2 vezes maior que a consumida pela LFC.

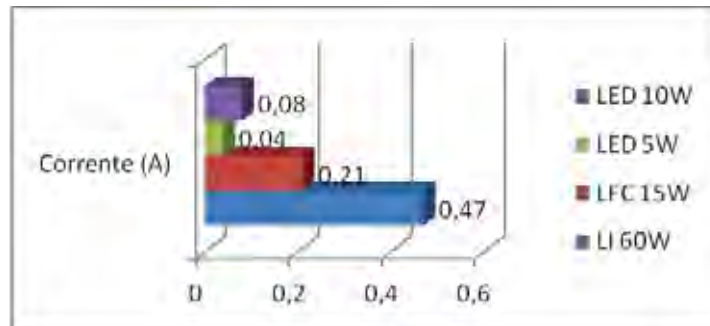


Figura 45 – Comparativo entre as correntes consumidas nas lâmpadas

Fonte: Própria

Conforme a medição feita foi possível perceber (Figura 46) que a distorção harmônica total da lâmpada incandescente é 0,6%, quase nula, enquanto a distorção harmônica total da lâmpada LFC é 6 vezes maior do que a distorção harmônica total da lâmpada LED que é de 18,3%.

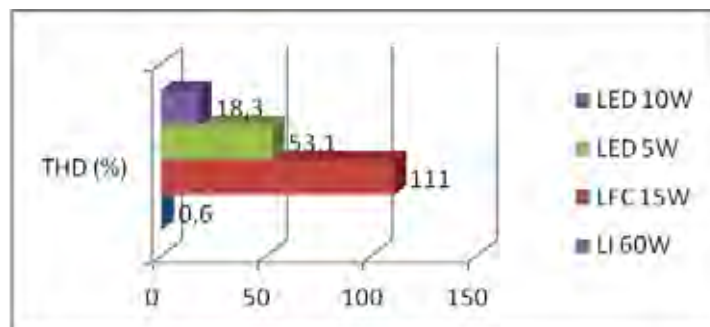


Figura 46 – Comparativo entre os THD nas lâmpadas

Fonte: Própria

Conforme a medição feita foi possível perceber (Figura 47) que o fator de potência da lâmpada incandescente é 1, isso significa que a sua potência ativa é igual a potência aparente. Para o LED, o fator de potência é 0,98, mostrando que a potência ativa é muito próxima a potência aparente. Já na LFC, o fator de potência é de 0,55. Isso mostra que o sistema elétrico enxerga 45% a mais de potência sendo consumida pela rede.

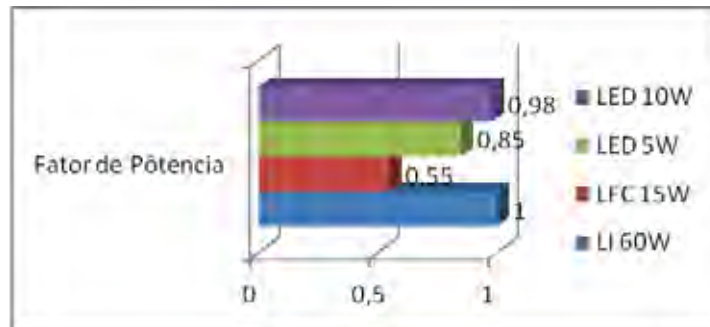


Figura 47 – Comparativo entre os fatores de potência nas lâmpadas
Fonte: Própria

Conforme a medição feita foi possível perceber (Figura 48) que a iluminância da lâmpada incandescente é de 42,1 lux, e que a lâmpada que mais se aproxima desta iluminância é a lâmpada LED com 34,2 lux, a lâmpada LFC tem iluminância de 15,1 lux.

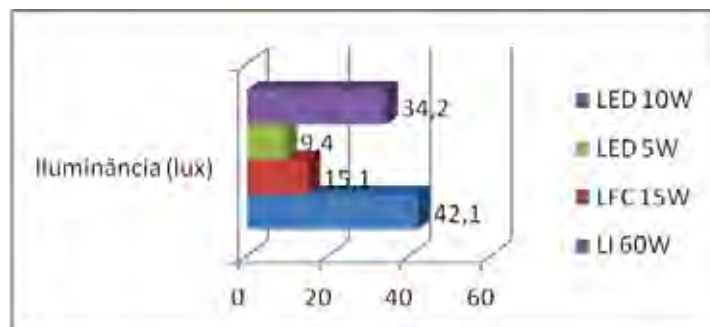


Figura 48 – Comparativo entre as iluminâncias nas lâmpadas
Fonte: Própria

Conforme a medição feita foi possível perceber (Figura 49) que a temperatura de cor medida para a lâmpada incandescente é de 2.845K, a medida para a LFC é de 5.467K e a medida para a LED é de 5.486K.

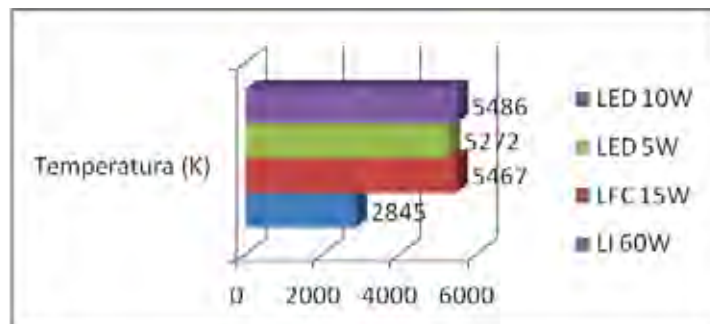


Figura 49 – Comparativo entre as temperaturas de cor nas lâmpadas
Fonte: Própria

Percebe-se que embora o custo da lâmpada LED ainda seja elevado, a tecnologia inerente nesta lâmpada quase não produz harmônicos, a potência ativa é muito próxima da potência aparente a iluminância também é próxima da lâmpada incandescente. Isso não é sentido na lâmpada incandescente que possui uma iluminância inferior, muitos harmônicos e grande distorção da onda de corrente.

6 ANÁLISE FINANCEIRA

6.1 Valor das Lâmpadas no Mercado

Lâmpada Incandescente

No site <http://www.yamamura.com.br> encontra-se a lâmpada incandescente de 60W (Figura 50) marca Philips pelo valor de R\$ 1,70.



Figura 50 – Lâmpada Incandescente

Fonte: Yamamura, 2011.

Lâmpada Fluorescente Compacta

No site <http://shopping.uol.com.br> encontra-se a lâmpada fluorescente de 15W (Figura 51), cuja a iluminação é correspondente a lâmpada incandescente de 60W, marca Fasmatil pelo valor de R\$ 8,90.



Figura 51 – Lâmpada Fluorescente

Fonte: Shopping Uol, 2011.

Lâmpada LED

No site <http://shopping.tray.com.br> encontra-se a lâmpada LED de 10W (Figura 52), cuja a iluminação é correspondente a lâmpada incandescente de 60W e a lâmpada fluorescente de 25W, marca Globo pelo valor de R\$ 89,90.



Figura 52 – Lâmpada LED

Fonte: Shopping Tray, 2011.

6.2 Valores das Principais Concessionárias do País

As próximas tabelas (Tabela 14 e 15) trazem os valores de tarifas praticados pela CPFL e pelas demais concessionárias do país. Estes valores serviram como base para os cálculos.

Tabela 14: Tarifas para o fornecimento de Energia praticadas na CPFL.

| Tarifas praticadas na CPFL | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Grupo B | Consumo | Consumo | Desconto |
| | R\$ / kWh | R\$ / MWh | % / kWh |
| Residencia Normal | 0,31421 | 314,21 | |
| Baixa Renda | | | |
| 0 a 30 kWh | 0,10251 | 102,51 | 65 |
| 31 a 100 kWh | 0,17576 | 175,76 | 40 |
| 101 a 220 kWh | 0,26361 | 263,61 | 10 |
| > 220 kWh | 0,29292 | 292,92 | |

| | | |
|-------------------------------------|---------|--------|
| Rural | 0,19560 | 195,60 |
| Coop Eletrificação Rural | 0,15716 | 157,16 |
| Serviço Público de Irrigação | 0,17984 | 179,84 |
| Demais Classes | 0,31200 | 312,00 |
| Iluminação Pública | | |
| B4a – Rede de Distribuição | | 160,75 |
| B4b – Bulbo da Lâmpada | | 176,43 |

Fonte: CPFL, 2011.

Tabela 15: Tarifas residências vigentes até 2008 das Principais Concessionárias do País
– em R\$ / kWh

| Concessionária | B1 – Residencial (R\$ / kWh) | Vigência |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| EMG | 0,45352 | 06/2012 |
| ENERSUL | 0,43062 | 04/2012 |
| FORCEL | 0,39056 | 08/2012 |
| ELETROCAR | 0,38706 | 06/2012 |
| IENERGIA | 0,37083 | 08/2012 |
| ELEKTRO | 0,36604 | A partir de 08/2011 |
| MUX-Energia | 0,34665 | 06/2012 |
| JARI | 0,32911 | 07/2012 |
| CPFL-Paulista | 0,32883 | 04/2012 |
| CNEE | 0,32818 | 05/2012 |
| BANDEIRANTES | 0,32537 | A partir de 10/2011 |
| LIGHT | 0,31769 | 11/2011 |
| CPFL-Piratinga | 0,31421 | A partir de 10/2011 |
| DMEPC | 0,30642 | A partir de 10/2011 |
| CJE | 0,30617 | 02/2012 |
| CEB-DIS | 0,29825 | 08/2012 |
| CAIUÁ-D | 0,29764 | 05/2012 |

| | | |
|--------------------|---------|---------|
| ELETROPAULO | 0,29651 | 07/2012 |
| EBO | 0,29599 | 02/2012 |
| CEA | 0,19729 | 11/2011 |

Fonte: ANEEL, 2011.

*** Tarifas com vigência válida em 06/11/2011**

Com relação aos tributos e outros elementos que integram a sua conta de luz, devem ser observados:

1. **ICMS** (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) – Tributo de competência estadual, com alíquotas que variam de estado para estado e que não integram o valor informado da tarifa.
2. **PIS/PASEP** (Programa de Integração Social / Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público) e **COFINS** (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) – Tributos cobrados pelo Governo Federal sobre a receita bruta das empresas, incluídos nos valores das tarifas homologadas até 30 de junho de 2005. A partir de 1º de julho de 2005, as tarifas homologadas pela ANEEL não incluem os valores desses tributos, que passam a ser considerados em destaque na conta de luz, de forma semelhante ao ICMS.
3. **Contribuição Social de Iluminação Pública - COSIP / CIP** - É uma contribuição amparada no art. 149-A da Constituição Federal, que criou a possibilidade de instituição de uma contribuição para custeio do serviço de iluminação pública de responsabilidade dos Municípios e do Distrito Federal.
4. **Encargo de Capacidade Emergencial (ECE)** – Encargo instituído pela Lei 10.438/02 com o objetivo de evitar eventual risco de desabastecimento de energia, destinado a cobrir o custo de contratação de usinas termelétricas emergenciais instaladas no País, pago por todos os consumidores do Sistema Interligado Nacional, com exceção dos classificados como baixa renda. Sua cobrança foi iniciada em fevereiro de 2002 e encerrada em 22 de dezembro de 2005, conforme estabelecido pela Resolução Normativa ANEEL Nº 204. Seu valor era informado em destaque na conta de luz.

<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>

Ressalta-se que as tarifas mostradas não possuem alíquota de ICMS e de PIS/ COFINS.

Para calcular o preço final com as alíquotas, temos:

$$Preço\ Final = \frac{Tarifa\ Homologada}{\{1 - (ICMS + PIS + COFINS)\}}$$

Para a classe residencial até 50 kWh a alíquota é de 12% e para classe residencial acima de 50 kWh, comercial, poderes públicos e serviços públicos a alíquota é de 25%.

6.3 Economia gerada pela troca das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas fluorescentes e LED

Para o cálculo da economia gerada pela substituição das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas fluorescentes e pelas lâmpadas LEDs, utilizamos o mesmo cenário, a mesma iluminação, o mesmo tempo e a mesma quantidade de pontos de luz para os três tipos de lâmpada.

O cenário é:

- 20 pontos de luz
- Utilização média: 10 lâmpadas acesas por 6h diariamente
- Tempo de estudo: 5 anos

Lâmpada Incandescente

Investimento Inicial com as lâmpadas (I_{vn}):

$$I_{vn} = 1,70 \times 20 = R\$ 34,00$$

Tempo de luz acesa durante os 5 anos (A_5):

$$A_5 = 5 \times 365 \times 6 \times 10 = 109.500 \text{ horas}$$

Quantidade de energia consumida em 109.500 horas (E_c):

$$E_c = \frac{109.500 \times 60}{1.000} = 6.570 \text{ kWh}$$

Tempo máximo que cada lâmpada fica acesa (T_m):

$$T_m = 6 \times 5 \times 365 = 10950 \text{ horas}$$

Considerando o valor do kW hora da concessionária CPFL – Piratininga, que é de 0,31421, temos:

Valor da tarifa com alíquota de 25% (Ta):

$$Ta = \frac{0,31421}{1 - 0,25} = 0,4189$$

Valor da conta de luz (Vl):

$$Vl = 6.570 \times 0,4189 = R\$ 2.752,17$$

Como a vida útil da lâmpada incandescente é de 1.000h, durante 109.500h de lâmpadas acesas irão se queimar (Tr):

$$Tr = \frac{10.9500}{1.000} = 100 \text{ lâmpadas queimadas}$$

Valor de substituição das lâmpadas no período de 5 anos (S):

$$S = 100 \times 1,70 = R\$ 170,00$$

Total de gasto em 5 anos:

$$Total = R\$ 34,00 + R\$ 2.752,17 + R\$ 170,00 = R\$ 2.956,17$$

Assim, o gasto com as lâmpadas incandescentes em 5 anos será de R\$ 2.956,17.

Lâmpada Fluorescente Compacta

Investimento Inicial com as lâmpadas (Ivn):

$$Ivn = 8,90 \times 20 = R\$ 178,00$$

Tempo de luz acesa durante os 5 anos (A5):

$$A5 = 5 \times 365 \times 6 \times 10 = 109.500 \text{ horas}$$

Quantidade de energia consumida em 109.500 horas (Ec):

$$Ec = \frac{109.500 \times 15}{1.000} = 1.142,5 \text{ kWh}$$

Considerando o valor do kW hora da concessionária CPFL – Piratininga, com a alíquota, que é de 0,4189, temos (Vl):

$$Vl = 1.142,5 \times 0,4189 = R\$ 478,59$$

Tempo máximo que cada lâmpada fica acesa (Tm):

$$Tm = 6 \times 5 \times 365 = 10950 \text{ horas}$$

Como a vida útil da lâmpada fluorescente é de 8.000h, durante 109.500h de lâmpadas acesas irão se queimar (Tr):

$$Tr = \frac{109.500}{8.000} = 13 \text{ lâmpadas queimadas}$$

Valor de substituição das lâmpadas no período de 5 anos (S):

$$S = 13 \times 8,90 = R\$ 115,70$$

Total de gasto em 5 anos:

$$Total = R\$ 178,00 + R\$ 478,59 + R\$ 115,70 = R\$ 772,29$$

Assim, o gasto com as lâmpadas fluorescentes em 5 anos será de R\$ 772,29.

Lâmpada LED

Investimento Inicial com as lâmpadas (I_{vn}):

$$I_{vn} = 89,90 \times 20 = \text{R\$ } 1.798,00$$

Tempo de luz acesa durante os 5 anos (A₅):

$$A_5 = 5 \times 365 \times 6 \times 10 = 109.500 \text{ horas}$$

Quantidade de energia consumida em 109.500 horas (E_c):

$$E_c = \frac{109.500 \times 10}{1.000} = 1.095 \text{ kWh}$$

Considerando o valor do kW hora da concessionária CPFL – Piratininga, com a alíquota, que é de 0,4189, temos (V_l):

$$V_l = 1.095 \times 0,4189 = \text{R\$ } 458,70$$

Tempo máximo que cada lâmpada fica acesa (T_m):

$$T_m = 6 \times 5 \times 365 = 10.950 \text{ horas}$$

Como a vida útil da lâmpada LED é de 25.000h, podendo chegar até 80.000h considerando-se variações na literatura, mesmo durante 109.500h de lâmpadas acesas elas não irão se queimar, pois o máximo da quantidade de horas de lâmpadas acesas é de 10.950.

Total de gasto em 5 anos:

$$Total = \text{R\$ } 1.798,00 + \text{R\$ } 458,70 = \text{R\$ } 2.256,70$$

Assim, o gasto com as lâmpadas LEDs em 5 anos será de R\$ 2.256,70.

Comparativo entre as lâmpadas em 5 anos

Comparativo do gasto total de vinte pontos de luz no qual 10 funcionam 6h por dia durante 5 anos com as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs.



Figura 55 – Gráfico Comparativo

Podemos perceber que em 5 anos, a lâmpada LED, embora o seu custo de implantação seja alto, já traz benefícios se comparada a lâmpada incandescente. O que parece ser um investimento a princípio caro, ao longo do tempo se torna viável e econômico. No entanto, ainda é necessário mais algum tempo para que ela possa trazer benefícios se comparada à lâmpada fluorescente.

Gasto para um mês:

6.4 Lâmpada Incandescente

Se uma lâmpada de 60 Watts ficar ligada 10 horas por dia ao longo de 30 dias ela gastaria em torno de R\$ 7,54 dependendo do preço de cada companhia elétrica (O DIÁRIO, 2011).

Demonstrativo do cálculo:

Quantidade de horas por mês (Qm):

$$Qm = 30dias \times 10h = 300h$$

Quantidade de kWh por mês:

$$\frac{kWh}{mês} = \frac{18.000Wh}{1000} = 18kWh$$

Considerando o valor da concessionária CPFL – Piratininga do kWh de R\$ 0,4189, temos que:

$$Valor = 18kWh \times R\$0,4189 = R\$7,54$$

6.5 Lâmpada Fluorescente

Repetindo as contas com uma lâmpada que consome 15 Watts ligada 10 horas por dia ao longo de 30 dias, teríamos um gasto em torno de R\$ 1,77 que significa um quarto do que a incandescente gasta.

Demonstrativo do cálculo:

Quantidade de horas por mês (Qm):

$$Qm = 30dias \times 10h = 300h$$

Quantidade de kWh por mês:

$$\frac{kWh}{mês} = \frac{4.500Wh}{1000} = 4,5kWh$$

Considerando o valor da concessionária CPFL – Piratininga do kWh de R\$ 0,4189, temos que:

$$Valor = 4,5kWh \times R\$0,4189 = R\$1,86$$

Nossas contas mostram 75% de economia, mas existem fabricantes que prometem 80% de energia com 8.000 horas de vida útil. Boa economia (O DIÁRIO, 2011).

Demonstrativo do cálculo:

Percentual de economia comparado a lâmpada incandescente:

$$\%economia = \frac{1,86}{7,54} = 0,25$$

$$1 - 0,25 = 0,75 = 75\%$$

6.6 Lâmpada LED

Em relação ao consumo das lâmpadas LED se verifica que o consumo da lâmpada LED é 83% menor do que a incandescente e 33% abaixo da lâmpada fluorescente. Os LEDs apresentam o menor consumo entre todos os tipos de lâmpadas. Nos modelos de alto brilho, o consumo de energia equivale a 10% de uma lâmpada convencional e uma vida útil de até 80.000 horas. Então projetando a mesma situação exemplificada anteriormente o gasto seria de R\$ 1,18. Quase a metade da fluorescente, sem contar que pode durar 10 vezes mais. Comparando com a incandescente então, o led economiza quase 90% e dura mais (O DIÁRIO, 2011).

Demonstrativo do cálculo:

Quantidade de horas por mês (Qm):

$$Qm = 30dias \times 10h = 300h$$

Quantidade de kWh por mês:

$$\frac{kWh}{mês} = \frac{3.000Wh}{1000} = 3kWh$$

Considerando o valor da concessionária CPFL – Piratininga do kWh de R\$ 0,4189, temos que:

$$= 3kWh \times R\$0,4189 = R\$1,26$$

Percentual de economia comparado a lâmpada incandescente:

$$\%economia = \frac{1,26}{7,54} = 0,17$$

$$1 - 0,17 = 0,83 = 83\%$$

Percentual de economia comparado a lâmpada fluorescente:

$$\%economia = \frac{1,26}{1,86} = 0,67$$

$$1 - 0,67 = 0,33 = 33\%$$

O cálculo para que possamos ver exatamente o tempo necessário para que a o investimento feito com a lâmpada LED tenha retorno será feito abaixo para o mesmo cenário com 20 pontos no qual 10 funcionam 6 horas por dia.

Tabela 16: Cálculo do tempo necessário para o retorno financeiro da substituição da lâmpada incandescente pela lâmpada LED.

| Lâmpada | Inicial | Troca | R\$/kWh | kW | R\$/h | h | R\$ | Total |
|---------------|---------|-------|-----------|------|----------|-------|---------|---------|
| Incandescente | 34 | 139,4 | 0,3927625 | 0,06 | 0,023566 | 82727 | 1949,52 | 2122,92 |
| Led | 1798 | 0 | 0,3927625 | 0,01 | 0,003928 | 82727 | 324,92 | 2122,92 |

Fórmulas:

- $Inicial = Valor\ da\ Lâmpada \times 20$ (2)

- $Troca = Valor\ da\ Lâmpada \times Parte\ inteira\ de\ \frac{Horas\ Total}{1000}$ (3)

- $\frac{R\$}{kWh} = Valor\ da\ Concessionária \times alíquota$ (4)

- $kW = \frac{Potência\ da\ Lâmpada}{1000}$ (5)

- $\frac{R\$}{h} = \frac{R\$}{kWh} \times kW$ (6)

- $h = \frac{R\$}{h} \times \frac{1}{R\$}$ (7)

- $R\$ = \frac{R\$}{h} \times h$ (8)

- $Total = Inicial + Troca + R\$$ (9)

O tempo necessário para que haja o retorno do investimento gasto nas lâmpadas LED neste caso é de:

$$= \frac{82.727}{365 \times 10 \times 6} = 3,77 \text{ anos} = 3 \text{ anos}, 281 \text{ dias}, 1 \text{ horas e } 12 \text{ minutos}$$

Tabela 17: Cálculo do tempo necessário para o retorno financeiro da substituição da lâmpada fluorescente pela lâmpada LED.

| Lâmpada | Inicial | Troca | R\$/kWh | kW | R\$/h | h | R\$ | Total |
|--------------|---------|-------|-----------|-------|----------|--------|---------|---------|
| Fluorescente | 352 | 516,2 | 0,3927625 | 0,015 | 0,005891 | 473465 | 2789,39 | 3657,59 |
| Led | 1798 | 0 | 0,3927625 | 0,01 | 0,003928 | 473465 | 1859,59 | 3657,59 |

Fórmulas:

- $Inicial = Valor \text{ da Lâmpada} \times 20$
- $Troca = Valor \text{ da Lâmpada} \times Parte \text{ inteira de } \frac{Horas \text{ Total}}{1000}$
- $\frac{R\$}{kWh} = Valor \text{ da Concessionária} \times alíquota$
- $kW = \frac{Potência \text{ da Lâmpada}}{1000}$
- $\frac{R\$}{h} = \frac{R\$}{kWh} \times kW$
- $h = \frac{R\$}{h} \times \frac{1}{R\$}$
- $R\$ = \frac{R\$}{h} \times h$
- $Total = Inicial + Troca + R\$$

O tempo necessário para que haja o retorno do investimento gasto nas lâmpadas LED neste caso é de:

$$= \frac{473.465}{365 \times 10 \times 6} = 21,62 \text{ anos} = 21 \text{ anos}, 226 \text{ dias}, 7 \text{ horas e } 12 \text{ minutos}$$

Assim, o investimento com lâmpada LED para a situação acima descrita, dará retorno em 3,77 anos no caso da lâmpada incandescente e 21,62 anos no caso da lâmpada fluorescente.

7 CONCLUSÃO

Com a limitação do uso das lâmpadas incandescentes em favor de uma maior conservação de energia, foram investigadas opções para substituí-las na iluminação interna. Neste trabalho foram analisadas amostras das convencionais lâmpadas fluorescentes compactas e de lâmpadas a LED com o intuito de verificar qual deve ser a substituta mais viável para as incandescentes.

Através de análises em laboratório foram realizados ensaios luminotécnicos e energéticos com as amostras, nos quais se verificou o desempenho de cada uma independentemente.

Além do impacto ambiental negativo proporcionado pelo descarte incorreto das LFCs, este tipo de tecnologia traz outros problemas, que provocam o questionamento quanto ao fato de ser a principal substituta para as lâmpadas incandescentes.

Das amostras analisadas, a lâmpada LED possui uma menor taxa de distribuição de harmônicos, provocando menores interferências na qualidade de energia da rede, o que pode ser comprovado no percentual de THD, sendo de 18,3% da LED e de 111% da LFC. Isto poderia ser corrigido, com um controle maior da qualidade das lâmpadas LFC.

Outro fator importante que analisa a qualidade de energia e foi medido neste trabalho é o fator de potência. Nele obteve-se um resultado de 55% para as lâmpadas fluorescentes e 98% para as lâmpadas LED, significando um resultado de perdas não significativo para a tecnologia LED.

A iluminância medida também ficou muito aquém para LFC quando comparada a LED, para uma potência de 15W foi medida uma iluminância de 15,1 lux para as LFCs, e com uma potência de 10W para a lâmpada LED, a iluminância foi de 34,2 lux.

Em 5 anos, o gasto que se teria com a lâmpada incandescente é de R\$ 2.956,17, com a LFC é de R\$ 772,29 e com a LED é de R\$ 2256,70. Assim, o tempo de retorno para a substituição das lâmpadas incandescentes por LED é de 3,77 anos e para a substituição de lâmpadas incandescentes por LFCs é de 1,30 anos.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em <http://www.abnt.org.br/>
- AIE - Agência Internacional de Energia, 2006. Barriers to technology diffusion: the case of compact fluorescent lamps. Paris
- AIE – Agência Internacional de Energia, 2007. Energy Efficiency Policy – Recommendations – Worldwide Implementation Now. Paris
- AIE – Agência Internacional de Energia, 2009. Progress with Implementing Energy Efficiency Policies in the G8. Summit 2009.
- AIE - Agência Internacional de Energia, 2010. Phase out of incandescent lamps - Implications for international supply and demand for regulatory compliant lamps. Paris
- ANEEL. Resolução ANEEL N° 83. Diário Oficial de 24 de Setembro, 2004.
- ANEEL. Resolução ANEEL N° 927. Diário Oficial de 29 de Maio, 2007.
- BASTOS, Felipe. **Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético. 2011.
- BRASIL. **Política Nacional de Educação Ambiental** - Lei 9795, de 27 de abril de 1999. Brasília.
- BRESSAN, D.A. Educação ambiental. **Revista Ciência & Ambiente**, (UFSM), 1996
- CADDET. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. 1191.

CERVELIM, Severino. **Melhoria da eficiência luminosa**. Floianópolis: Santa Catarina: 2002.

DAMATO, Julio. **Conservação de Energia em Sistemas de Iluminação Pública e os seus Efeitos na Rede Elétrica de Distribuição**. São Paulo: UNESP – Guaratinguetá, 2005.

DGGE. Direção Geral de Energia e Geologia. Disponível em: <http://www.dgge.ppt>

ELETROBRÁS. Disponível em <http://www.eletrabras.com.br>

FUPAI. Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria. Disponível em <http://www.fupai.com.br/>

INMETRO. Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/>

JORDÃO. **LED: a iluminação do futuro já disponível no presente**. Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/2654-led-a-iluminacao-do-futuro-ja-disponivel-no-presente.htm#ixzz1bnCrliUx>

MME. Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme>

O DIÁRIO. **Comparando o consumo das lâmpadas**. Disponível em: <http://www.odiario.com/blogs/carlossica/2011/08/13/comparando-o-consumo-das-lampadas/>

PROCEL. Disponível em: <http://www.eletrabras.com/procel>

Wikipedia. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/>