

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS
E DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA**

MAURO MASSANORI MIYASHIRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DE LÂMPADAS LED**

CAMPINAS

2016

MAURO MASSANORI MIYASHIRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DE LÂMPADAS LED**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção de Mestre ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

PUC-CAMPINAS

2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.32
M685a

Miyashiro, Mauro Massanori.
Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED /
Mauro Massanori Miyashiro. - Campinas: PUC-Campinas, 2016.
50p.

Orientador: Omar Carvalho Branquinho.
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Inclui bibliografia.

1. Iluminação elétrica. 2. Lâmpadas elétricas. 3. INMETRO. 4. Fator de potência. 5. Energia elétrica. I. Branquinho, Omar Carvalho. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.


22.ed. CDD – t621.32

MAURO MASSANORI MIYASHIRO


**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE
LÂMPADAS LED**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a) Omar Carvalho Branquinho.

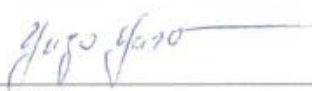
Dissertação defendida e aprovada em 09 de fevereiro de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. David Bianchini
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Yuzo Iano
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio e compreensão em todos os momentos e principalmente nesta fase tão importante da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho,
Orientador, incentivador e amigo sincero em todos os momentos.

Aos professores da PUC Campinas,
Pela dedicação, profissionalismo e amizade.

Aos colegas do curso,
Pelo apoio, ajuda e vários momentos felizes.

À colega Regia Mara Petitto,
Pela ajuda inesquecível principalmente no início do mestrado. Sua espontaneidade irradia alegria e confiança.

Aos colegas de trabalho Wladinei Ricardo Camillo Menegassi, Jean Marcos Andery Baracat, Ricardo Toshinori Yoshioka, Flávia Cabral da Costa e José Renato Arnoni.
Pela amizade e apoio em todos os momentos no Instituto de Pesquisas Eldorado.

Aos colegas de trabalho Glauber Eduardo Sapia, Angelo Navarro Emanuelli e Caio Yuji Yoshino,
Pela ajuda no projeto do hardware do módulo medidor de energia.

À colega de trabalho Malila Camarão Telles Ribeiro,
Pelos incentivos e apoio para prosseguir nos estudos. Sua ajuda foi fundamental para chegar neste estágio do mestrado. Sou muito grato.

RESUMO

MIYASHIRO, Mauro Massanori. *Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED*. 50 p. Projeto de pesquisa (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência energética de lâmpadas com tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) comercializadas no mercado brasileiro no período de 2015/2016 e o desenvolvimento de um sistema de teste de baixo custo para medir a tensão da rede elétrica, a corrente, o consumo e o fator de potência de lâmpada LED. Para a avaliação das lâmpadas LED foram utilizados os equipamentos disponíveis nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Eldorado e como referência os requisitos estabelecidos pela Portaria nº 144/2015 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, publicada em 13 de março de 2015. Esta Portaria tornou obrigatória para fabricantes e importadores a certificação das lâmpadas LED a partir de 26 de fevereiro de 2016. Para a realização deste trabalho foi adquirido no mercado de varejo um conjunto de lâmpadas LED de diferentes fabricantes para serem submetidos a testes funcionais de consumo de energia (watts), fator de potência (FP), fluxo luminoso (lumens) e eficiência luminosa (lumens/watt). Os dados obtidos foram comparados com os valores nominais declarados pelos fabricantes conforme especificado na portaria do INMETRO. Os resultados demonstram que 11% das amostras falharam no teste de consumo de energia e 83% falharam no teste de fator de potência. O sistema de teste desenvolvido foi validado comparando suas medições com os resultados obtidos nos testes realizados em laboratório certificado pelo INMETRO. Através deste trabalho foi possível ter um panorama amostral da eficiência energética das lâmpadas LED comercializadas atualmente no país.

Palavras-chave: *Light Emmiting Diode* – LED. Eficiência energética. Portaria nº 144/2015. INMETRO. Fator de potência. Fluxo luminoso. Eficiência energética.

ABSTRACT

MIYASHIRO, Mauro Massanori. Evaluation of the energy efficiency of LED lamps. 50 p. Research project (Masters in Urban Infrastructure Systems) - Post-graduation Program in Urban Infrastructure Systems, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016.

The objective of this study was to evaluate the energy efficiency of LED light bulbs (Light Emitting Diode) commercialized in the Brazilian market in the period of 2015/2016 and the development of a low cost test system to measure the mains voltage, current, consumption and power factor of LED lamp. For the evaluation of the LED lamps, the equipment available in the laboratories of the Eldorado Research Institute was used, and as a reference, the requirements established by Ordinance No. 144/2015 of the Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, published on March 13, 2015. This Ordinance made it mandatory for manufacturers and importers to certify LED bulbs as of February 26, 2016. In order to carry out this work, a set of LED lamps from different manufacturers was acquired in the retail market to be subjected to functional tests of consumption of energy (watts), power factor (PF), luminous flux (lumens) and luminous efficiency (lumens/watt). The data obtained were compared with the nominal values declared by the manufacturers, as specified in the INMETRO ordinance. The results show that 11% of the samples failed in the energy consumption test and 83% failed in the power factor test. The developed test system was validated comparing its measurements with the results obtained in the tests carried out in INMETRO certified laboratory. Through this work it was possible to have an overview of the energy efficiency of LED bulbs currently commercialized in the country.

Keywords: *Light Emitting Diode-LED. Energy Efficiency. Ordinance nº 144/2015. INMETRO. Power factor. Luminous flux. Energy efficiency.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Formato das lâmpadas LED	4
Figura 2 - Anatomia de uma lâmpada LED bulbo.....	5
Figura 3 - Quadro comparativo da equivalência entre lâmpadas.....	7
Figura 4 - Triangulo de potências.....	8
Figura 5 - Esfera de integração.....	10
Figura 6 - Diagrama da esfera de integração.....	10
Figura 7 - ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	12
Figura 8 - Amostras de lâmpadas LED	16
Figura 9 - Bancada de teste para medir consumo de energia elétrica e FP.	18
Figura 10 - Bancada de teste para medir fluxo luminoso e eficiência energética..	19
Figura 11 - <i>Kit</i> de desenvolvimento MSP430AFE2x3.....	29
Figura 12 - <i>Kit</i> de desenvolvimento MCP39F501.	30
Figura 13 - <i>Kit</i> de desenvolvimento da NXP Semiconductor.	30
Figura 14 - Medidor de energia da Kill A Watt.....	31
Figura 15 - Medidor de energia com comunicação sem fio.	32
Figura 16 - Diagrama do sistema de teste.....	33
Figura 17 - Placa de circuito impresso.	34
Figura 18 - Módulo medidor.	35
Figura 19 - Arduino Uno.....	35
Figura 20 - Componente mostrador Nokia 5110.....	36
Figura 21 - Sistema de teste - parte externa.	37
Figura 22 - Sistema de teste - parte interna.	37
Figura 23 - <i>Setup</i> para aquisição de dados no sistema de teste proposto.....	38
Figura 24 - Dados exibidos no sistema de teste proposto.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência mínima para lâmpadas incandescentes.	6
Tabela 2 - Eficiência energética mínima para lâmpadas LED.	7
Tabela 3 - Alocação das amostras.	17
Tabela 4 - Consumo de energia elétrica (W).	21
Tabela 5 - Fator de Potência (FP).	23
Tabela 6 - Fluxo Luminoso (lm).	25
Tabela 7 - Eficiência energética (lumens/watt).	26
Tabela 8 - Conexão do mostrador com o microcontrolador.	36
Tabela 9 - Comparação entre medidas.	40
Tabela 10 - Resultado de testes de lâmpadas LED certificadas.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUMI	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação.
ABILUX	Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Bivolt	Lâmpadas LED que funcionam na faixa de 100 V a 240 V.
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.
FP	Fator de Potência.
KVA	Quilo Volt Ampère
KW	Quilo Watt
LED	<i>Light Emitting Diode.</i>
Lm	Lumens
Lm/W	Lumens por watt
Monovolt	Lâmpadas LED que funcionam na faixa de 100 V a 130 V.
MPE	Micro e Pequenas Empresas.
OCP	Organização Certificadora de Produto.
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode.</i>
PL	<i>Prime Led.</i>
RAC	Requisito de Avaliação da Conformidade
RGB	<i>Red, Green, Blue.</i>
VA	Volt-Ampère
W	Watt
Wi-Fi	Tecnologia de comunicação sem fio.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Organização da dissertação.....	3
2	REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1	Lâmpada LED	4
2.2	Consumo de energia.....	5
2.3	Fator de potência	8
2.4	Fluxo luminoso.....	9
2.5	Eficiência energética	11
2.6	Análise da Portaria nº 144/15 do INMETRO	11
3	PROPOSTA DO TRABALHO	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1	Material.....	16
4.2	Metodologia de classificação.....	17
4.3	Metodologia de teste	18
4.4	Equipamentos para testes de consumo de energia e fator de potência	18
4.5	Equipamentos para testes de fluxo luminoso e eficiência energética	19
5	RESULTADOS DOS TESTES E ANÁLISE DO DADOS	20
5.1	Consumo de energia.....	20
5.2	Fator de potência	23

5.3	Fluxo luminoso.....	24
5.4	Eficiência energética	26
5.5	Análise geral.....	28
6	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE TESTE	29
6.1	Fabricantes de semicondutores e soluções comerciais	29
6.2	Arquitetura do sistema de teste.....	32
6.3	Módulos do sistema de teste	34
6.3.1	Módulo medidor.....	34
6.3.2	Módulo microcontrolador	35
6.3.3	Módulo mostrador	36
7	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE TESTE.....	37
8	VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE TESTE	38
8.1	Aquisição de dados no sistema de teste proposto.....	38
8.2	Comparação e análise dos dados	40
8.3	Análise dos resultados	41
9	TESTES COM LÂMPADAS LED CERTIFICADAS	42
10	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
11	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	44
11.1	Trabalhos futuros.....	45
	REFERÊNCIAS	46
	APENDICE A – Esquema elétrico	51

1 INTRODUÇÃO

A cada dia a iluminação consome uma grande quantidade de energia elétrica em todo o mundo e é um dos bens de consumo fundamentais para a humanidade. Faz-se necessário a construção de fontes geradoras de eletricidade que podem provocar diversos tipos de impacto ao meio ambiente. A produção de energia hidrelétrica não polui o ar, mas causa enormes impactos ambientais em virtude da quantidade de água represada. A geração de energia termoelétrica emite gases que podem provocar o efeito estufa. O combustível para a produção de energia nuclear é altamente radioativo. A energia solar necessita de grandes áreas para a instalação dos painéis fotovoltaicos. A energia eólica gera ruído e pode interferir no comportamento migratório das aves (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, 2010).

Na conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável (Rio+20), foi divulgado que 5% do consumo global de eletricidade poderia ser poupado anualmente com a implantação de iluminações mais eficientes, o que resultaria em uma economia anual de mais de US\$110 bilhões. Somente o Brasil pouparia mais de US\$3 bilhões por ano e reduziria mais de 5% o seu consumo de energia ao adotar sistemas eficientes de iluminação (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2012).

As lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) estão cada vez mais presentes na iluminação pública e residencial. Isto se deve principalmente a evolução da tecnologia e o aumento na escala de produção que provocou a queda vertiginosa do preço. Estas lâmpadas são mais econômicas que as de tecnologia incandescente e fluorescente, pois consomem menos energia elétrica para uma mesma intensidade de luz e em modelos específicos, podem ter controle de luminosidade. O número de lâmpadas LED vendidas no Brasil saltou de quatro milhões em 2011 para vinte e cinco milhões em 2014 (FREITAS, 2015).

A imprensa especializada tem divulgado constantemente as novidades da tecnologia de lâmpadas LED, tendências, técnicas de iluminação, etc. No Brasil, existem várias revistas especializadas no assunto. As principais publicações são: Revista Lume Arquitetura (LUME ARQUITETURA, 2015), Revista L+D (REVISTA L+D, 2015), Revista Lumière Electric (REVISTA LUMIÈRE ELECTRIC, 2015) e a Revista O Setor Elétrico (REVISTA O SETOR ELÉTRICO, 2015).

Existem diversos eventos que discutem e apresentam os mais recentes lançamentos em iluminação. Em 2016 foi realizado a 15ª edição da Expolux - Feira Internacional da Indústria de Iluminação (EXPOLUX, 2016), a 5ª edição da Ilume Expo - Exposição e Fórum de Gestão em Iluminação Pública (RPMBRASIL, 2016), a 7ª edição do Expo Predialtec - Feira de Tecnologias para Sistemas Prediais (PREDIALTEC, 2016) e o 7º LED Fórum (LED FÓRUM, 2016). Nestes eventos, é comum a participação de fabricantes internacionais.

A China é um dos maiores fabricantes de lâmpadas LED. As fábricas chinesas estão operando na capacidade máxima, existe uma competição feroz pelo mercado e estão empenhadas em lucrar cada vez mais. Muitos fabricantes têm má reputação em termos de qualidades. Os LEDs baratos podem queimar em menos de um ano ou ter alteração na cor (BRADSHER, 2014).

Para garantir um patamar mínimo de qualidade, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) publicou em 06 de outubro de 2014 a Portaria nº 448/2014 (INMETRO, 2014), uma consulta pública com Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para a certificação compulsória de lâmpadas LED. A consulta pública permite a participação da sociedade enviando sugestões sobre o procedimento da avaliação da conformidade dos produtos ou opinando quanto aos requisitos estabelecidos. A Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2015) e a Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação (ABILUMI, 2015) participaram desta fase.

A fase da consulta pública foi finalizada e foi publicado em 13 de março de 2015, a Portaria INMETRO nº 144/2015 determinando a obrigatoriedade da certificação de lâmpadas LED para fabricantes e importadores. Também definiu os critérios com foco em eficiência energética, segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética (INMETRO, 2015a).

A certificação dará tranquilidade aos consumidores uma vez que poderão adquirir produtos com qualidade. Os lojistas, importadores e fabricantes terão uma concorrência saudável, comercializando lâmpadas LED dentro de mesmos padrões de qualidade (INMETRO, 2015a).

A Portaria nº 144/2015 é muito recente e não se conhece até o momento uma análise detalhada da conformidade de lâmpadas LED com esta portaria.

Este trabalho avalia a eficiência energética das lâmpadas LED de corpo único, através da aquisição de amostras no mercado de varejo para que se possa

espelhar a realidade do que está sendo vendido aos consumidores. Também realizou o desenvolvimento de um sistema de teste de baixo custo para realizar os testes de consumo, fator de potência, fluxo luminoso e eficiência energética.

1.1 Organização da dissertação

O trabalho está organizado como se segue:

Capítulo 1 – Introdução: apresenta o cenário na qual está incluído a lâmpada LED.

Capítulo 2 – Revisão da literatura: aborda os tópicos fundamentais para que se entenda a proposta deste trabalho.

Capítulo 3 – Proposta do trabalho: apresenta os objetivos e como será realizada a pesquisa.

Capítulo 4 – Material e métodos: apresenta o material utilizado e a metodologia para a avaliação das lâmpadas LED.

Capítulo 5 – Resultado dos testes e análise dos dados: apresenta os resultados dos testes realizados e a análise dos dados obtidos.

Capítulo 6 – Desenvolvimento do sistema de teste: apresenta os principais fabricantes de semicondutores para medidores de energia, arquitetura do sistema de teste e os módulos que compõe o sistema.

Capítulo 7 – Construção do sistema de teste: descreve como o sistema de teste foi montado.

Capítulo 8 – Validação do sistema de teste: descreve a metodologia de validação do sistema de teste.

Capítulo 9 – Testes com lâmpadas certificadas: apresenta os resultados com lâmpadas certificadas.

Capítulo 10 – Discussão dos resultados: coloca em discussão os resultados do trabalho realizado.

Capítulo 11 – Conclusão e trabalhos futuros.

Referências bibliográficas.

Apêndice.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo propõe abordar os tópicos fundamentais para que se entenda a proposta deste trabalho e os resultados obtidos.

2.1 Lâmpada LED

Os primeiros componentes com tecnologia LEDs foram lançados em 1962 e eram utilizados apenas para sinalização devido ao seu baixo fluxo luminoso. Tinham uma baixa emissão de luz, restrita gama de cores e baixa potência. Foi em meados da década de 1990 que o Dr. Shuji Nakamura da *Nichia Chemical Corporation* inventou o LED azul com alto fluxo luminoso que, juntamente com uma camada de fósforo, gera luz branca. Deu-se o início a utilização do LED na iluminação (BLEY, 2012).

Na Figura 1 é apresentado o formato das lâmpadas LED comercializadas atualmente no país.

Figura 1 - Formato das lâmpadas LED

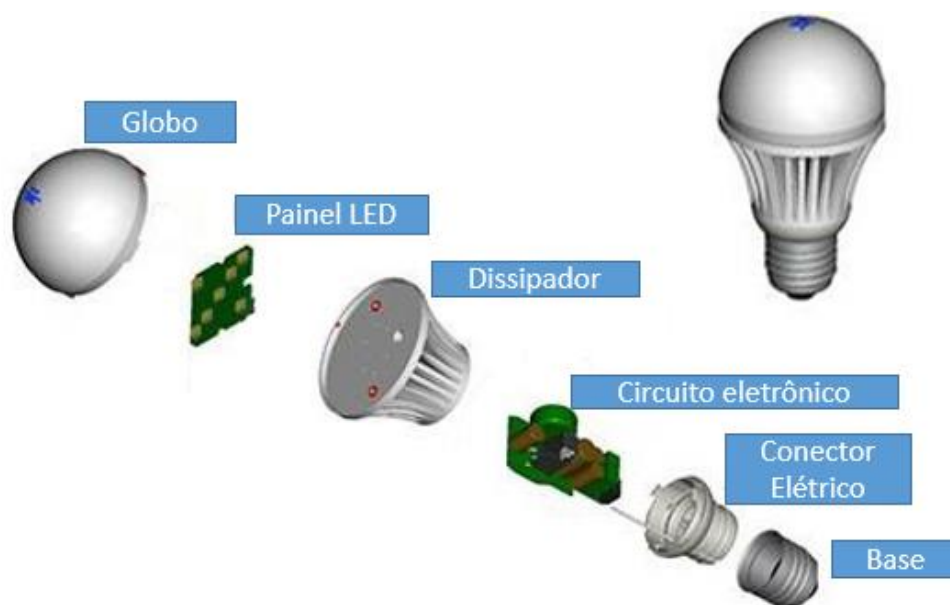


Fontes: a) Philips, 2015; b) Opoened, 2015;

A lâmpada LED bulbo tem o formato tradicional das lâmpadas incandescente e tem uma boa dispersão vertical. A lâmpada PL tem os LEDs expostos e tem uma boa dispersão na horizontal.

A anatomia de uma lâmpada LED bulbo pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 - Anatomia de uma lâmpada LED bulbo.



Fonte: Vibrancelighting, 2015

O globo protege a lâmpada e realiza a dispersão da luz. Os LEDs são montados em uma placa de circuito impresso. O dissipador absorve o calor provocado na junção do LED. O circuito eletrônico retifica a tensão da rede elétrica e alimenta os LEDs. O conector elétrico faz a conexão do circuito eletrônico com a rede elétrica e a base tem a função de prender a lâmpada na instalação elétrica.

2.2 Consumo de energia

Em 17 de outubro de 2001 foi publicado a Lei nº 10.295 que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. A partir desta data foi definido que o poder executivo estabeleceria níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética com base em indicadores técnicos. Estabeleceu a obrigatoriedade para os fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia a adotarem as medidas constantes da regulamentação. Também descreveu que o estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, deva ter a divulgação antecipada das propostas para ser discutido com entidades representativas de fabricantes e importadores de máquina e aparelhos consumidores de energia (BRASIL, 2001a).

Em 19 de dezembro de 2001 foi publicado o Decreto nº 4.059 que regulamenta a Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. O decreto instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE composto por representantes do Ministério de Minas e Energia, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional do Petróleo, um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia. Compete ao comitê elaborar plano de trabalho e cronograma, regulamentar os tipos de aparelhos e máquinas consumidoras de energia, estabelecer programas de metas, constituir comitês técnicos para analisar e opinar sobre matérias específicas, acompanhar e avaliar sistematicamente o processo de regulamentação e deliberar sobre as proposições do grupo técnico (BRASIL, 2001b).

Em 31 de dezembro de 2010 foi publicado a Portaria Interministerial nº 1007 que determina o banimento até 2016 das lâmpadas incandescentes que não se encaixam nos índices de eficiência energética. Esta portaria regulamentou e definiu os níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas incandescentes. Na Tabela 1 constam as datas limite para fabricação e importação de lâmpadas incandescentes, para fins de comercialização no país. Na coluna de potência (W), lâmpadas incandescentes de até 25 W devem ter uma eficiência mínima de 15 lumens/watt (lm/W). (BRASIL, 2010).

Tabela 1 - Eficiência mínima para lâmpadas incandescentes.

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

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

Fonte: Brasil, 2010

Em 25 de agosto de 2014, foi publicado a Portaria nº 389 que regulamenta a certificação de lâmpadas LED. Na Tabela 2, está especificado que uma lâmpada com potência inferior a 15 watts deve ter uma eficiência mínima de 55 lumens/watt (lm/W), isto é, 3.6 vezes superior a uma lâmpada incandescente (INMETRO, 2014).

Tabela 2 - Eficiência energética mínima para lâmpadas LED.

	Potência da lâmpada (W)	Eficiência mínima inicial (lm/W)
Não-direcionais Semi-Direcionais	< 15	55
	≥ 15	60
Direcional	< 20	45
	≥ 20	50
Decorativa	< 15	45
	$5 \leq W \leq 25$	
	≥ 25	

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2014.

Na Figura 3 é apresentado o quadro comparativo da equivalência entre lâmpadas LED, incandescente e fluorescente compacta.

Figura 3 - Quadro comparativo da equivalência entre lâmpadas



Lâmpadas LED são 60% mais eficientes energeticamente comparadas com lâmpadas fluorescentes compactas

Lâmpadas LED são 90% mais eficientes energeticamente comparadas com lâmpadas incandescentes.

Fonte: Aodbrazil, 2015.

O regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED especifica no item 6.3 que a potência consumida pela lâmpada LED não pode exceder a potência nominal declarada em mais do que 10% (INMETRO, 2014).

2.3 Fator de potência

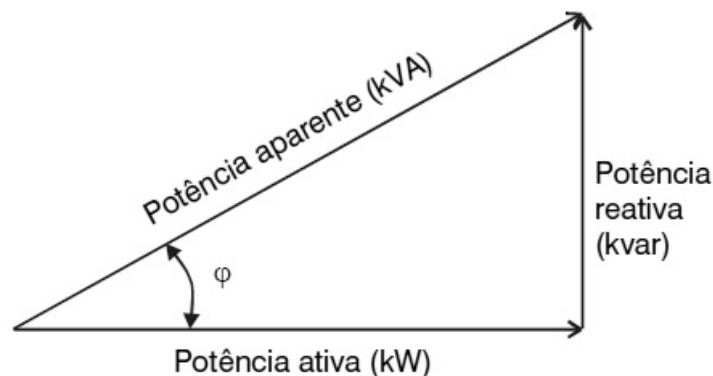
Em circuitos elétricos podemos encontrar três tipos de potência (MARTINS, 2016):

- Ativa ou Real: É aquela que realmente executa o trabalho. É basicamente consumida na parte resistiva dos circuitos elétricos. A unidade de medida é kW (quilowatt);
- Reativa: É a componente da energia elétrica que não realiza o trabalho e é utilizada para a produção e manutenção dos campos eletromagnéticos nas cargas indutivas e campos elétricos nas cargas capacitivas. Deve ser limitada ao mínimo possível, podendo ser corrigida através do uso de banco de capacitores para circuitos indutivos. O excesso de energia reativa pode provocar perdas por aquecimento e quedas de tensão. A unidade de medida é kVAr (quilovolt-ampère-reactivo);
- Aparente ou Total: É a soma vetorial das potências ativa (kW) e reativa (kVAr).

Tecnicamente, o fator de potência é definido como a relação entre a potência ativa e a potência relativa, expressa pela fórmula: $FP = kW / KVA$.

Na Figura 4, é apresentado o triângulo de potências.

Figura 4 - Triângulo de potências



Fonte: Engeletrica, 2016.

O termo $\cos \Phi$ é chamado de fator de potência e representado por fp, FP ou pelo próprio termo $\cos \Phi$.

O fator de potência é sempre um número entre 0 e 1. O valor ideal é que seja igual a um (1). A Resolução Normativa ANEEL 569 de 23 de julho de 2013 determina que o Fator de Potência tem como limite mínimo permitido, para as consumidoras do grupo A o valor de 0,92 (AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

Na prática, o fator de potência mostra se a empresa, equipamento ou sistema consome energia elétrica de forma eficiente ou não (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2015).

O regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED especifica no item 6.4 que lâmpadas LED abaixo de 5 watts estão isentas de medição do fator de potência. Entre 5 e 25 watts deverão ter um fator de potência igual ou maior que 0,70 e entre 25 e 60 watts o fator de potência terá que ser igual ou maior que 0,92 (INMETRO, 2014).

2.4 Fluxo luminoso

O fluxo luminoso é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções. A unidade que representa esta grandeza é o lúmen (LUZ, 2016).

Para medir o fluxo luminoso de fontes de luz artificial é utilizado uma esfera, internamente na cor branca (material reflexivo) totalmente difusa, chamada de esfera de Ulbricht, ou esfera de integração (SCHREDER, 2016). O equipamento mede em lumens a quantidade total de luz, em lumens, emitida pela fonte sob teste. Na Figura 5, é apresentada a esfera de integração.

Figura 5 - Esfera de integração.

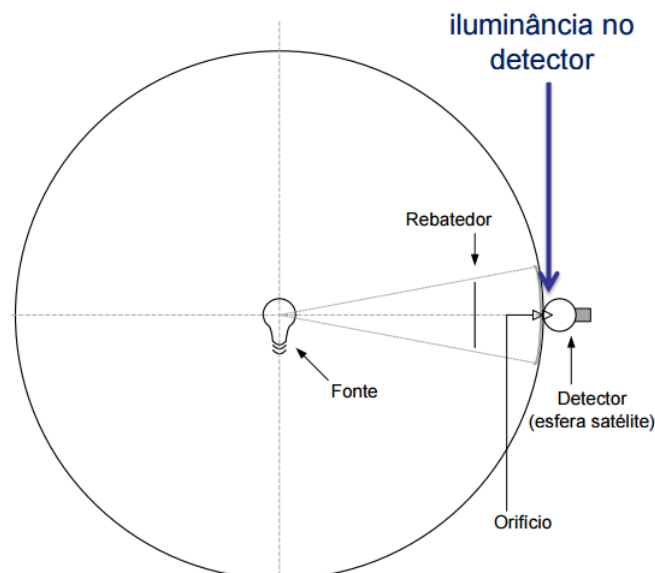


Fonte: Schreder, 2016.

A lâmpada é colocada dentro da esfera. Ao ser alimentada, emite um fluxo luminoso em todas as direções. Um sensor de luz capta o fluxo luminoso, converte em uma grandeza elétrica e envia para o computador comparar com um valor de referência.

Na Figura 6 é mostrado o diagrama da esfera de integração.

Figura 6 - Diagrama da esfera de integração.



Fonte: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

A “fonte” é a lâmpada sob teste. O “rebatedor” evita a incidência direta da luz no “detector” (sensor). O “detector” integra o fluxo luminoso que é diretamente proporcional ao fluxo da fonte.

O regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED especifica no item 6.5 que o fluxo luminoso inicial medido de uma lâmpada LED não pode ser inferior a 90% do fluxo luminoso nominal declarado. (INMETRO, 2014).

2.5 Eficiência energética

Eficiência energética em lâmpada LED é a razão entre o fluxo emitido por uma fonte de luz e a potência elétrica consumida no processo. Essa relação é denominada lumens por watt (lm/W). Quanto maior a eficiência energética significa mais luz com menos consumo de energia. A lâmpada incandescente de 100 W deve ter eficiência luminosa mínima na faixa de 14 a 22 lm/W. Lâmpadas fluorescentes de 40 W podem estar na faixa de 42,5 lm/W a 81,5 lm/W (LUZ, 2016).

O regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED especifica no item 6.11 que lâmpadas com potência menor ou igual a 15 W deverão ter eficiência energética mínima de 55 lumens/watt e lâmpadas com potência maior que 15 W deverão ter eficiência energética de 60 lumens/watt (INMETRO, 2014).

2.6 Análise da Portaria nº 144/15 do INMETRO

A Portaria nº 144/2015 foi editada em 13 de março de 2015, determinando a obrigatoriedade da certificação de lâmpadas LED. Teve por objetivo estabelecer requisitos mínimos de desempenho, segurança e compatibilidade eletromagnética para a fabricação e importação de lâmpadas LED.

O produto certificado deverá ter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A etiqueta mostrada na Figura 7 apresentará aos consumidores informações técnicas e de eficiência energética. Deverá informar a potência da lâmpada LED em watts (W), fluxo luminoso em lumens (lm) e a eficiência luminosa em lumens por Watt (lm/W).

Figura 7 - ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia



Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2015.

A certificação terá que ser realizada por um Organismo de Certificação de Produto (OCP), estabelecido no Brasil e acreditado pelo INMETRO.

No Art. 3º, §1, define que a certificação se aplica a lâmpadas LED que constituem uma peça única, não destacável e destinadas para operação em rede de distribuição de corrente alternada de 60hz, tensões nominais de 127 V e/ou 220 V, ou faixas de tensão que englobem as mesmas ou em corrente contínua.

No Art. 3º, §2, exclui a obrigatoriedade de certificação para:

- Lâmpadas com LED coloridos, com lentes coloridas, que emitem luz colorida;
- Lâmpadas LED RGB (*Red, Green, Blue*), que possuam invólucro coloridos e decorativas e emitam luz colorida;
- Lâmpadas LED com sistema de controle incorporado que produzam intencionalmente luz colorida;
- Lâmpadas com tecnologia OLED (*Organic Light Emitting Diode*).

No Art. 4º, determinou que a partir de nove meses, contados da data da publicação da Portaria nº 144/2015 no Diário Oficial da União haveria a obrigatoriedade da certificação registrada no INMETRO para fabricação e importação. A data limite foi de 17 de dezembro de 2015.

Expirado a data limite da obrigatoriedade da certificação, foi publicado em 18 de dezembro de 2015 a Consulta Pública nº 599/2015 (INMETRO, 2015b) com duração de 15 dias para as contribuições propondo a postergação da entrada em vigor da Portaria INMETRO nº 144/2015 de nove meses para onze meses. Dessa forma, até que seja estabelecido um novo prazo, o INMETRO, tanto na importação do produto quanto na fiscalização no mercado, não estaria mais exigindo o atendimento à Portaria INMETRO nº 144/2015 até a definição de um novo prazo.

Esta mudança de data se deveu às seguintes considerações:

- O tempo necessário para a realização do ensaio de vida nominal, exige adequações tanto por parte de fabricantes e importadores quanto dos laboratórios acreditados;
- A demora na disponibilização de infraestrutura de avaliação da conformidade, em especial de Organismos de Certificação de Produtos (OCP).

Em 26 de fevereiro de 2016 foi publicado a Portaria nº 76/2016 alterando o Art. 4º da Portaria nº 144/2015 alterando o prazo de nove para onze meses a obrigatoriedade da certificação para fabricantes e importadores. Portanto, a data de obrigatoriedade da certificação mudou de 17 de dezembro 2015 para 26 de fevereiro de 2016 (INMETRO, 2016).

No Art. 4º, parágrafo único, definiu para quinze meses a obrigatoriedade da certificação para comercialização no mercado nacional por fabricantes e importadores.

No Art. 5º, determinou vinte e quatro meses, contados da data de publicação da Portaria, a obrigatoriedade da certificação para atacadistas e varejistas.

No Art. 6º, determinou trinta meses, contados da data da publicação da Portaria, a obrigatoriedade da certificação para atacadistas e varejistas, cadastrados como Micro e Pequenas Empresas (MPE).

No Art. 7º, define que a Etiqueta Nacional de Conservação de energia (ENCE) deve ficar claramente visível ao consumidor nos pontos de venda físico ou site do fornecedor responsável pela marca.

No Art. 8º, determina que a fiscalização estará a cargo do INMETRO e das entidades de direito público vinculados por convênio de delegação.

Os testes deverão ser realizados conforme descrito no regulamento técnico da qualidade para lâmpadas LED aprovado pela Portaria nº 389 de 25 de agosto de 2014.

3 PROPOSTA DO TRABALHO

Este trabalho tem como proposta avaliar a eficiência energética de lâmpadas com tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) comercializadas em 2015/2016. Para a avaliação das lâmpadas LED é utilizado como referência a Portaria nº 144/2015 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, publicada em 13 de março de 2015. Esta Portaria tornou obrigatória a certificação das lâmpadas LED a partir de 26 de fevereiro de 2016. O INMETRO definiu requisitos de eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética. Os fabricantes e importadores são obrigados a estampar na embalagem do produto a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que contém informações de eficiência energética (potência em watts, fluxo luminoso em lumens e eficiência luminosa em lumens por Watt). O fator de potência deve ser declarado na embalagem do produto.

Este trabalho tem foco em eficiência energética e não analisa os requisitos de segurança e compatibilidade eletromagnética.

Para a realização deste trabalho foram consideradas as seguintes atividades:

- Aquisição de lâmpadas LED no mercado;
- Classificação do material;
- *Setup* dos equipamentos de teste;
- Realização dos testes;
- Análise dos dados;
- Desenvolvimento do sistema de teste de baixo custo;
- Estudo de medidores de energia;
- Arquitetura do sistema de teste;
- Construção do sistema de teste;
- Validação do sistema de teste;
- Análise dos resultados;
- Testes com lâmpadas certificadas;
- Conclusão.

No final é feita uma discussão sobre os resultados e apresentadas sugestões para possíveis trabalhos futuros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados o material e a metodologia utilizada para avaliar a eficiência energética de lâmpadas LED comercializadas no mercado.

4.1 Material

Para a realização dos testes, foram adquiridas no mercado de varejo da cidade de Campinas, Estado de São Paulo, dezoito lâmpadas LED de seis fabricantes (Philips, Osram, Ourlux, Taschimbra, Golden e kankai), sendo três lâmpadas LED por fabricante e do mesmo modelo. São lâmpadas de 9 watts a 12 watts, do tipo bulbo e PL (*Prime Led*), sendo três monovolt (127 volts) e quinze bivolt (127 V - 220 V). Na figura 8 é apresentado amostras de lâmpadas LED adquiridas no mercado local.

Figura 8 - Amostras de lâmpadas LED



Fonte: do autor, 2015

Foram considerados os seguintes critérios para a aquisição:

- Disponíveis na rede de comércio de varejo;
- Faixa especificada de potência entre 9 watts a 12 watts;
- Lâmpadas LED monovolt e bivolt;
- Tipos LED bulbo e PL.

A Portaria nº 144/2015 define que as lâmpadas LED monovolt devem ser testadas na tensão de 127 V e as bivolt nas tensões de 127 V e 220 V.

Para fins de pesquisa, além dos testes obrigatórios nas tensões de 127 V e 220V foram aplicadas outras tensões para saber o comportamento das lâmpadas LED nos limites mínimo e máximo e como se comportariam em cidades cuja tensões nominais são 110 V, 127 V e 220 V.

4.2 Metodologia de classificação

Para a realização dos testes, o material, composto de dezoito lâmpadas LED foram divididas em seis grupos.

Por motivo de confidencialidade, para cada fabricante foram atribuídas as letras A, B, C, D, E e F.

Cada fabricante teve três amostras, foram atribuídos os números 1, 2 e 3.

Para o fabricante A, foram definidas as amostras A1, A2 e A3 e assim sucessivamente.

A Tabela 3 demonstra como ficou a alocação das amostras e seus respectivos fabricantes.

Tabela 3 - Alocação das amostras.

Fabricantes	Amostras			Tipo
A	A1	A2	A3	Monovolt
B	B1	B2	B3	Bivolt
C	C1	C2	C3	Bivolt
D	D1	D2	D3	Bivolt
E	E1	E2	E3	Bivolt
F	F1	F2	F3	Bivolt

Fonte: do autor, 2015.

As amostras do fabricante A são monovolt e especificadas para funcionar na faixa de 100 V a 130 V.

As amostras dos fabricantes B a F são bivolt e especificadas para funcionar na faixa de 100 V a 240 V.

4.3 Metodologia de teste

Para realizar os testes de eficiência energética foram utilizados equipamentos dos laboratórios do Instituto de Pesquisas Eldorado descritos a seguir.

4.4 Equipamentos para testes de consumo de energia e fator de potência

Para realizar os testes de consumo de energia (W) e fator de potência (FP) é necessário ter uma fonte de alimentação de corrente alternada para fornecer uma tensão estável para a lâmpada sob teste, um medidor de consumo de energia e fator de potência, um adaptador para ligar e desligar a lâmpada e um *software* para coletar e registrar os dados. Na Figura 9 é apresentada a bancada de teste para medir o consumo de energia elétrica da lâmpada LED (W) e o fator de potência (FP).

Figura 9 - Bancada de teste para medir consumo de energia elétrica e FP.



Fonte: do autor, 2015.

Descrição dos equipamentos:

- Fonte de alimentação corrente alternada com controle manual da tensão de saída. Marca Chroma, modelo 61505;
- Medidor de consumo de energia e fator de potência. Marca Chroma, modelo 66202;
- Adaptador para ligar/desligar. Marca Chroma, modelo A662993.

Na figura está localizado acima do medidor de consumo de energia elétrica;

- *Software* de teste Chroma A66200, versão 2.1.

4.5 Equipamentos para testes de fluxo luminoso e eficiência energética

Para realizar o teste de fluxo luminoso (lumens) e eficiência energética (lumens/watt) é necessária uma fonte de alimentação para fornecer uma tensão estável para a lâmpada sob teste, uma esfera de integração e um *software* para coletar e registrar os dados. Na Figura 10 é apresentada a banca de teste para medir o fluxo luminoso e a eficiência energética.

Figura 10 - Bancada de teste para medir fluxo luminoso e eficiência energética



Fonte: do autor, 2015.

Descrição dos equipamentos:

- Fonte de alimentação com tensão de saída variável/coletor de dados controlado por software. Marca IDRC, modelo CF-500EP;
- Esfera de integração. Marca Allied, modelo Scientific Pro 500mm.;
- *Software* de teste Spectrosys, versão 4.0.

5 RESULTADOS DOS TESTES E ANÁLISE DO DADOS

A seguir são apresentados os resultados dos testes realizados nos equipamentos mencionados no capítulo anterior e a análise dos dados.

5.1 Consumo de energia

A Portaria especifica que o consumo de energia elétrica não deve ultrapassar 10% do especificado pelo fabricante e as lâmpadas LED monovolt devem ser testados na tensão de 127 V e as bivolt em 127 V e 220V.

Como foi proposto, para fins de pesquisa, foi verificado o comportamento das lâmpadas nos limites mínimo e máximo da tensão especificada pelo fabricante:

- Amostras do Fabricante A foram submetidas a tensões de 100 V, 110 V, 127 V e 130 V;
- Amostras dos fabricantes B a F, foram submetidas a tensões de 100 V, 110 V, 127 V, 220 V e 240 V.

Aplicando os procedimentos validados pelo INMETRO para realizar os testes de consumo de energia, os dados coletados são apresentados na Tabela 4. Na coluna vertical Tensão (V), está listado as tensões aplicadas às lâmpadas LED. Foram destacadas na cor azul as tensões obrigatórias especificadas pelo INMETRO e nas horizontais os resultados obtidos. Se o dado coletado estiver dentro do limite, o mesmo é mostrado em azul e se estiver fora do limite, em vermelho.

Tabela 4 - Consumo de energia elétrica (W).

FABRICANTE A (11W) - monovolt				FABRICANTE B (10W) - bivolt				FABRICANTE C (9W) - bivolt			
Consumo máx. (+10%) = 12,10 Watts				Consumo máx. (+10%) = 11,00 Watts				Consumo máx. (+10%) = 9,90 Watts			
Tensão (V)	A1	A2	A3	Tensão (V)	B1	B2	B3	Tensão (V)	C1	C2	C3
100	9,29	9,08	9,14	100	9,98	10,60	10,32	100	9,51	10,53	9,48
110	10,51	10,29	10,34	110	10,91	11,05	11,07	110	10,44	11,16	10,33
127	11,65	11,46	11,51	127	10,86	10,95	10,99	127	9,40	10,82	9,30
130	11,82	11,62	11,67	220	10,80	10,89	10,97	220	9,16	10,66	9,05
Tensão nominal: 100 V a 130 V				Tensão nominal: 100 V a 240 V				Tensão nominal: 100 V a 240 V			

FABRICANTE D (9W) - bivolt				FABRICANTE E (12W) - bivolt				FABRICANTE F (12W) - bivolt PL			
Consumo máx. (+10%) = 9,90 Watts				Consumo máx. (+10%) = 13,20 Watts				Consumo máx. (+10%) = 13,20 Watts			
Tensão (V)	D1	D2	D3	Tensão (V)	E1	E2	E3	Voltage	F1	F2	F3
100	10,08	8,13	8,13	100	11,62	11,51	11,64	100	12,87	12,36	12,25
110	11,33	8,13	7,98	110	11,52	11,43	11,55	110	12,31	12,31	12,27
127	10,33	8,12	7,92	127	11,38	11,29	11,42	127	12,78	12,23	12,18
220	9,96	8,33	8,11	220	11,21	11,06	11,23	220	12,82	12,22	12,15
240	9,96	8,38	8,17	240	11,15	10,99	11,17	240	12,82	12,16	12,09
Tensão nominal: 100 V a 240 V				Tensão nominal: 100 V a 240 V				Tensão nominal: 100V a 240V			

Fonte: do autor, 2015.

Análise dos dados:

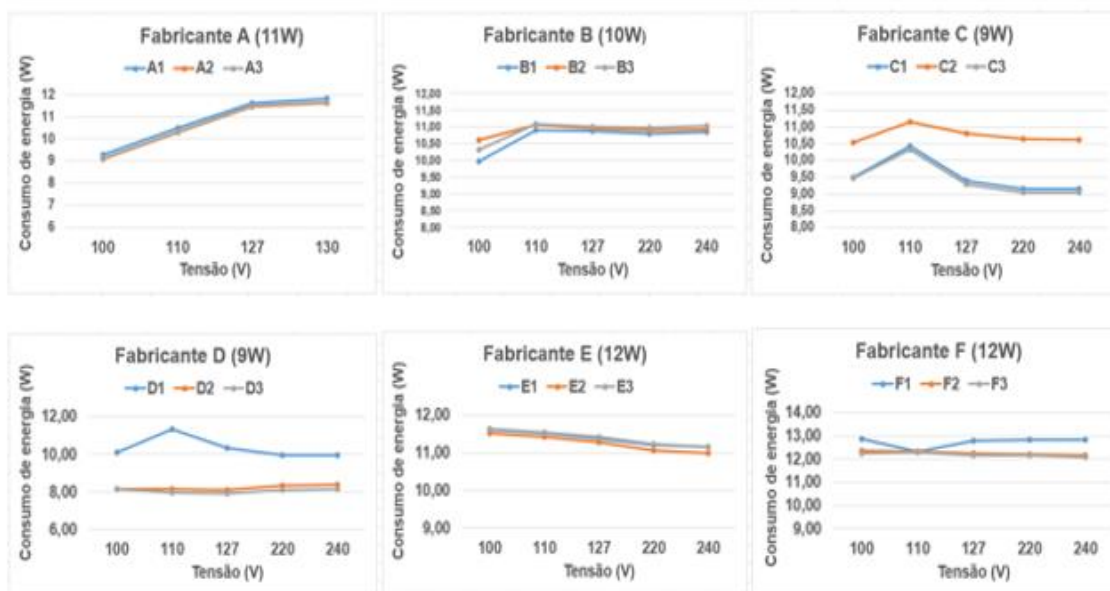
Considerando somente a aplicação das tensões de 127V e 220 V, destacados na cor azul, são apresentados os dados coletados por fabricante na seguinte forma:

- Fabricante A (11 W): todas as amostras ficaram dentro do limite de +10% (12,1 W);
- Fabricante B (10 W): todas as amostras ficaram dentro do limite de +10% (11 W);
- Fabricante C (9 W): as amostras C1 e C3 ficaram dentro do limite +10% (9,90 W). A amostra C2 ficou fora do limite (10,66 W);
- Fabricante D (9 W): as amostras D2 e D3 ficaram dentro do limite +10% (9,90 W). A amostra D1 ficou fora do limite (9,96 W);
- Fabricante E (12 W): todas as amostras ficaram dentro do limite de +10% (13,20 W);
- Fabricante F (12 W): todas as amostras ficaram dentro do limite de +10% (13,20 W).

Para uma melhor visualização da variação do consumo de energia em

relação a tensão aplicada na lâmpada LED foi elaborado um gráfico por fabricante e com suas respectivas amostras, como identificado na Figura 8.

Figura 8 – Consumo de energia (W)



Fonte: do autor, 2015.

Análise dos gráficos:

- Fabricante A: o consumo de energia elétrica aumenta com a tensão. Consome menos em 110 V que em 127 V;
- Fabricante B: o consumo de energia elétrica praticamente não se altera nas cidades com redes de distribuição elétrica de 110 V e 220 V;
- Fabricante C: tem maior consumo de energia elétrica em 110 V;
- Fabricante D: a amostra D1 ficou fora do limite máximo de +10%. As amostras D2 e D3 não tem variação no consumo de energia;
- Fabricante E: o consumo de energia elétrica decresce com o aumento da tensão;

- Fabricante F: as amostras F2 e F3 tem praticamente o mesmo consumo de energia em toda a faixa de tensão. A amostra F1 apresentou um menor consumo em 110 V.

5.2 Fator de potência

Conforme especificado na Portaria nº 144, o fator de potência não pode ser menor que 0,70 para lâmpadas LED até 25W. Para valores superiores, o fator de potência deve ser igual ou maior que 0,92. Estão isentas de medição as lâmpadas LED com potência inferior a 5 W.

Aplicando os procedimentos para realizar os testes de fator de potência, os dados coletados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fator de Potência (FP).

FABRICANTE A (11W) - monovolt			
Fator de Potência => 0,70			
Voltagem (V)	A1	A2	A3
100	0,95	0,95	0,95
110	0,96	0,96	0,96
127	0,96	0,96	0,96
130	0,95	0,95	0,95
Especificação da voltagem: 100V a 130V			

FABRICANTE B (10W) - bivolt bulbo			
Fator de Potência => 0,70			
Voltagem (V)	B1	B2	B3
100	0,76	0,75	0,74
110	0,73	0,71	0,71
127	0,67	0,66	0,66
220	0,54	0,53	0,53
240	0,52	0,51	0,51
Especificação da voltagem: 100V a 240V			

FABRICANTE C (9W) - bivolt bulbo			
Fator de Potência => 0,70			
Voltagem (V)	C1	C2	C3
100	0,62	0,62	0,62
110	0,61	0,61	0,61
127	0,60	0,61	0,60
220	0,49	0,52	0,49
240	0,48	0,50	0,47
Especificação da voltagem: 100V a 240V			

FABRICANTE D (9W) - bivolt bulbo			
Fator de Potência => 0,70			
Voltagem (V)	D1	D2	D3
100	0,63	0,60	0,60
110	0,61	0,59	0,58
127	0,60	0,56	0,55
220	0,50	0,46	0,45
240	0,48	0,44	0,43
Especificação da voltagem: 100V a 240V			

FABRICANTE E (12W) - bivolt bulbo			
Fator de Potência => 0,70			
Voltagem (V)	E1	E2	E3
100	0,64	0,63	0,63
110	0,63	0,62	0,62
127	0,60	0,60	0,60
220	0,50	0,50	0,50
240	0,48	0,48	0,48
Especificação da voltagem: 127V e 220V			

FABRICANTE F (12W) - bivolt PL			
Fator de Potência => 0,70			
Voltagem (V)	F1	F2	F3
100	0,60	0,60	0,60
110	0,60	0,60	0,60
127	0,58	0,58	0,58
220	0,47	0,47	0,47
240	0,46	0,45	0,45
Especificação da voltagem: 100V a 240V			

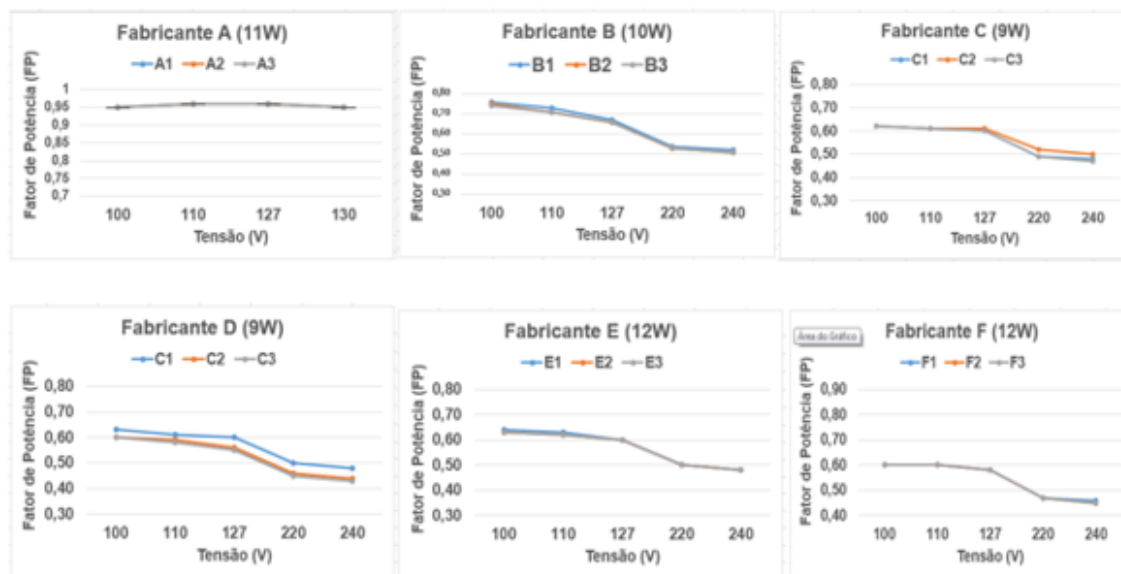
Fonte: do autor, 2015.

Análise dos dados:

Considerando as medidas definidas pela Portaria nº 144/2015 (127 V para monovolt e 220 V para bivolt) os dados mostram que somente o Fabricante A cumpre com a regulamentação.

Na Figura 9 é apresentado a plotagem dos dados do fator de potência.

Figura 9 – fator de potência (FP)



Fonte: do autor, 2015.

Análise dos gráficos:

- Fabricante A: o fator de potência é praticamente constante em toda a faixa de tensão;
- Fabricante B a F: o fator de potência decresce com o aumento da tensão.

5.3 Fluxo luminoso

Conforme descrito na Portaria nº 144 o fluxo luminoso não pode ser menor que 90% do valor nominal declarado.

Aplicando os procedimentos em conformidade com as especificações do fabricante da esfera de integração mostrado na Figura 10 para realizar os testes de fluxo luminoso, os dados coletados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Fluxo Luminoso (lm).

FABRICANTE A (11W) - monovolt			
Fluxo Luminoso 1080 lm			
Tensão (V)	A1	A2	A3
100	1200	1197	1153
110	1343	1327	1265
127	1446	1444	1385
130	1472	1462	1394

FABRICANTE B (10W) - bivolt			
Fluxo Luminoso 800 lm			
Tensão (V)	B1	B2	B3
100	1101	1089	1126
110	1166	1137	1195
127	1168	1137	1187
220	1184	1138	1199
240	1187	1157	1209

FABRICANTE C (9W) - bivolt			
Fluxo Luminoso 900 lm			
Tensão (V)	C1	C2	C3
100	1088	1034	1085
110	1169	1069	1143
127	1103	1063	1081
220	1102	1016	1084
240	1121	1082	1103

FABRICANTE D (9W) - bivolt			
Fluxo Luminoso não declarado			
Tensão (V)	D1	D2	D3
100	1026	1110	1089
110	1133	1113	1097
127	1077	1097	1085
220	1051	1122	1099
240	1089	1140	1118

FABRICANTE E (12W) - bivolt			
Fluxo Luminoso 1040 lm			
Tensão (V)	E1	E2	E3
100	1218	1227	1216
110	1217	1228	1213
127	1212	1222	1215
220	1208	1207	1196
240	1209	1217	1164

FABRICANTE F (12W) - bivolt PL			
Fluxo Luminoso 1080 lm			
Voltagem	F1	F2	F3
100	1191	1309	1339
110	1211	1314	1351
127	1202	1304	1338
220	1207	1307	1339
240	1212	1305	1335

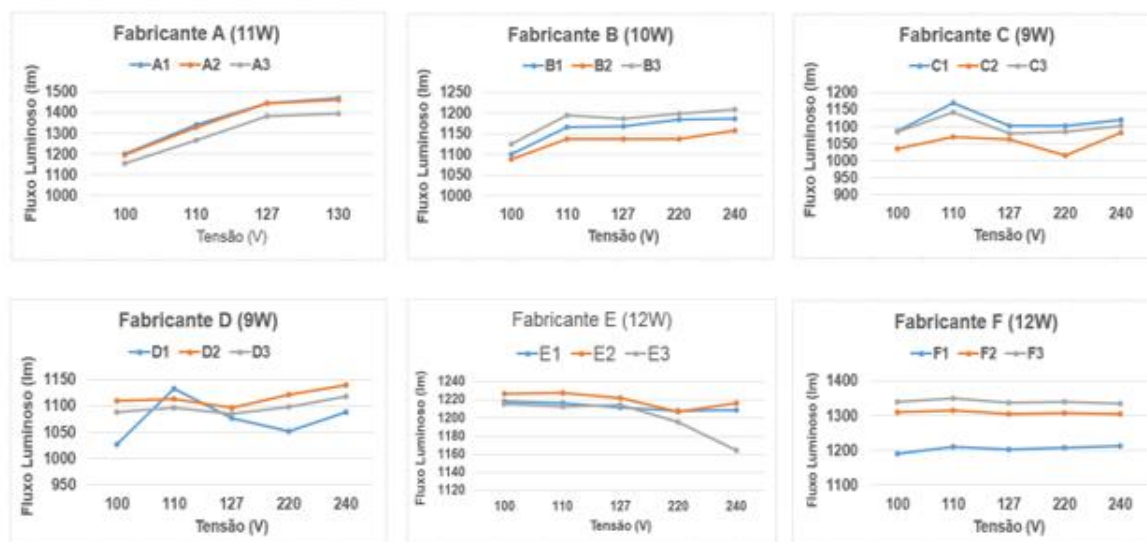
Fonte: do autor, 2015.

Análise dos dados:

Todas as amostras superaram o valor nominal declarado. O Fabricante D não informou na embalagem o valor do fluxo luminoso, porém as medidas indicam valores semelhantes aos produtos do fabricante C.

No Figura 9 é apresentado a plotagem dos dados obtidos.

Figura 9 – Fluxo luminoso (lm)



Fonte: do autor, 2015.

Análise do gráfico:

- Fabricante A e B: o fluxo luminoso aumenta com a tensão;
- Fabricante C: as amostras C1 e C4 tiveram um maior fluxo luminoso em 110 V;
- Fabricante D: a amostra D1 teve um comportamento irregular se comparado às amostras D2 e D3;
- Fabricante E: o fluxo luminoso é inferior em 220 V;
- Fabricante F: o fluxo luminoso praticamente não altera com a tensão.

5.4 Eficiência energética

Conforme descrito na Portaria nº 144, a eficiência energética mínima para lâmpadas inferiores a 15 watts é de 55 lumens por watt e para lâmpadas igual ou superior a 15 watt devem atender o mínimo de 60 lumens por watt.

Aplicando os procedimentos em conformidade com as especificações do fabricante da esfera de integração mostrado na Figura 10, os dados coletados de eficiência energética são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Eficiência energética (lumens/watt).

FABRICANTE A (11W) - monovolt				FABRICANTE B (10W) - bivolt				FABRICANTE C (9W) - bivolt			
Eficiência Luminosa (lumens/watt)				Eficiência Luminosa (lumens/watt)				Eficiência Luminosa (lumens/watt)			
Tensão (V)	A1	A2	A3	Tensão (V)	B1	B2	B3	Voltage	C1	C2	C3
100	137	139	133	100	119	107	115	100	120	103	120
110	134	135	129	110	117	108	114	110	118	101	116
127	130	133	127	127	115	109	114	127	125	103	124
130	131	133	125	220	115	112	116	220	128	104	127
				240	115	111	116	240	128	107	129

FABRICANTE D (9W) - bivolt bulbo				FABRICANTE E (12W) - bivolt				FABRICANTE F (12W) - bivolt PL			
Eficiência Luminosa (lumens/watt)				Eficiência Luminosa (lumens/watt)				Eficiência Luminosa (lumens/watt)			
Tensão (V)	D1	D2	D3	Tensão (V)	E1	E2	E3	Tensão (V)	F1	F2	F3
100	107	144	143	100	109	111	109	100	99	111	115
110	105	143	143	110	112	114	111	110	99	112	116
127	111	143	142	127	112	115	113	127	99	113	117
220	113	144	143	220	114	116	113	220	99	113	116
240	115	144	143	240	114	117	111	240	99	113	116

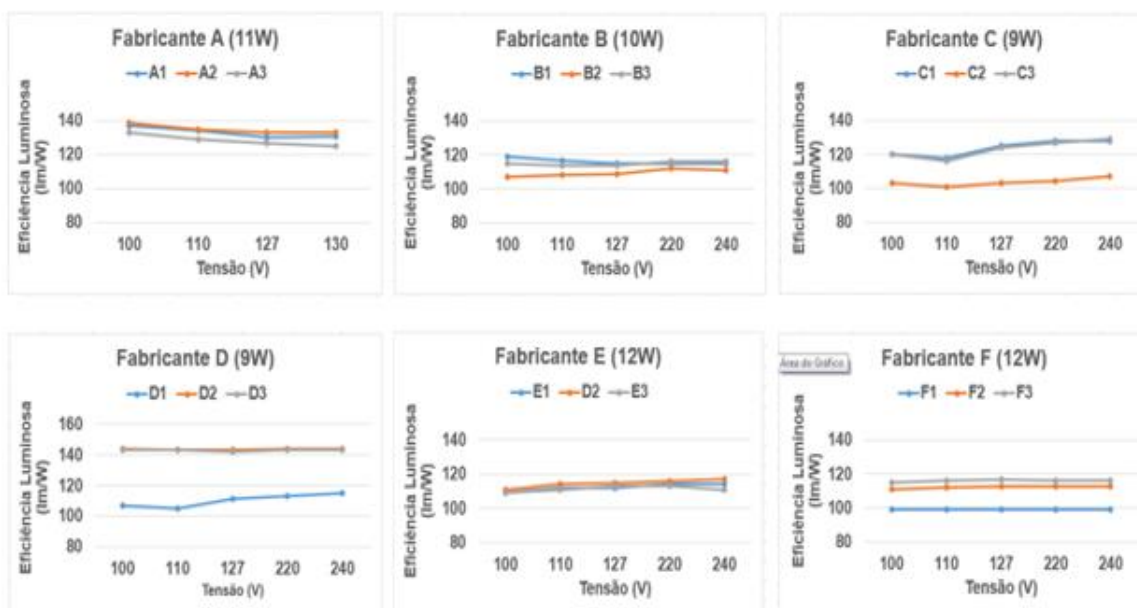
Fonte: do autor, 2015.

Análise dos dados:

Todas as amostras superaram o valor mínimo especificado pelo INMETRO.

Na Figura 10 é apresentado a plotagem dos dados obtidos.

Figura 10 – Eficiência luminosa (lumens/watt)



Fonte: do autor, 2015.

Análise do gráfico:

- Fabricante A: a eficiência energética decresce ligeiramente com a tensão;
- Fabricante B: as amostras B1 e B3 tiveram pouca variação da eficiência luminosa. A amostra B2 teve uma pequena variação crescente;
- Fabricante C: a amostra C1 teve um aumento na eficiência luminosa com a tensão. As amostras C2 e C3 tiveram um comportamento constante;
- Fabricante D: A amostra D1 teve um aumento na eficiência luminosa com a tensão. As amostras D2 e D3 tiveram um comportamento constante;

- Fabricante E: as amostras tiveram um comportamento constante na eficiência luminosa;
- Fabricante F: as amostras tiveram um comportamento constante na eficiência luminosa.

5.5 Análise geral

Com base nas medidas realizadas, é possível as seguintes considerações:

- Consumo de energia:
Fabricantes B, C e D tiveram amostras dentro e fora do limite;
- Fator de potência:
Fabricantes B, C, D, E e F tiveram todas as amostras fora do limite;
- Fluxo luminoso:
Nenhuma amostra fora do limite;
- Eficiência luminosa:
Nenhuma amostra fora do limite.

Considerando que o fabricante A (monovolt) teve todas as amostras aprovadas e os demais fabricantes (bivolt) tiveram amostras dentro e fora do limite, podem ser consideradas três fatores:

1. É mais fácil atender os limites com circuitos de controle monovolt, porém o consumidor perde a flexibilidade de uso porque esta lâmpada só pode ser ligada em 127 volts.
2. As lâmpadas bivolt ficaram dentro e fora dos limites nos testes de consumo de energia, caracterizando possível falha no processo de fabricação e controle de qualidade.
3. Todas as lâmpadas bivolt ficaram fora do limite nos testes de fator de potência (FP).

6 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE TESTE

O sistema de teste proposto realiza uma avaliação prévia em lâmpadas LED, detectando possíveis falhas no consumo de energia elétrica e fator de potência. O sistema desenvolvido não substitui os equipamentos sofisticados encontrados em laboratórios de teste, mas é uma solução de baixo custo que pode ser utilizado por importadores, distribuidores e lojas de varejo para verificar as funcionalidades que falharam e foram reportadas anteriormente.

A seguir são descritas as etapas do desenvolvimento do sistema de teste.

6.1 Fabricantes de semicondutores e soluções comerciais

Neste subcapítulo é descrito o resultado da pesquisa de fabricantes de semicondutores que produzem componentes eletrônicos para projetos de medidores de energia e soluções comerciais.

Os principais fabricantes de semicondutores que produzem componentes eletrônicos para projetos de medidores de energia são:

Texas Instruments: Fabrica o circuito integrado modelo MSP430AFE2x3 específico para realizar medições elétricas. Internamente possui um microcontrolador que pode ser programado para realizar as funções especificadas. Na Figura 11 é apresentado o *kit* de desenvolvimento da empresa.

Figura 11 - *Kit* de desenvolvimento MSP430AFE2x3.



Fonte: Texas Instruments, 2011

Microchip Semiconductor: Fabrica o circuito integrado MCP39F501. Este componente realiza as medições elétrica e envia os dados diretamente através de uma porta serial RS232 para processamento externo. Na Figura 12 é apresentado o *kit* de desenvolvimento da empresa.

Figura 12 - *Kit* de desenvolvimento MCP39F501.



Fonte: Microchip Semiconductor, 2013

NXP Semiconductor: Fabrica o circuito integrado MKM34Z128 específico para projetos de medidores de energia elétrica. Internamente tem um microcontrolador de 32 *bits*, portas de entrada e saída e interfaces de comunicação. Na Figura 13 é apresentado o *kit* de desenvolvimento da empresa.

Figura 13 - *Kit* de desenvolvimento da NXP Semiconductor.

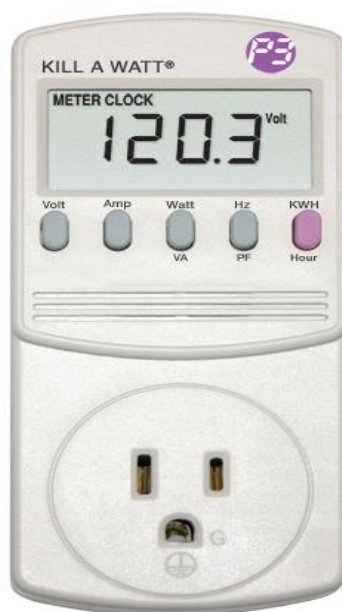


Fonte: NXP Semiconductor, 2013.

Para medir consumo de energia elétrica existem no mercado algumas soluções comerciais. A maioria é para medir equipamentos ligados em 127 V ou 220 V. As mais conhecidas no mercado são:

Kill A Watt: Fabricado pela empresa P3 International e muito popular nos Estados Unidos. A tensão de operação é 115 volts e mede a tensão de alimentação, corrente, consumo e frequência. Na Figura 14 é apresentado o equipamento da Kill a Watt e nota-se que a tomada elétrica não atende o padrão especificado pela ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, portanto não pode ser comercializado no mercado brasileiro sem a devida adequação.

Figura 14 - Medidor de energia da Kill A Watt.



Fonte: Kill A Watt, 2016.

Reduction Revolution: Empresa Australiana que fabrica um medidor com o nome de *Efegy Ego Wireless Power Meter*. Não possui mostrador. Os dados podem ser visualizados por um aparelho celular com capacidade gráfica via comunicação Wifi e podem ser visualizados remotamente via *internet*. Não é comercializado no Brasil. Na Figura 15 é apresentado o equipamento e nota-se que a tomada elétrica não atende o padrão especificado pela ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, portanto não pode ser comercializado no mercado brasileiro sem a devida adequação.

Figura 15 - Medidor de energia com comunicação sem fio.



Fonte: Reduction Revolution, 2016

6.2 Arquitetura do sistema de teste

Com base nos estudos realizados sobre fabricantes de semicondutores, seus kits de desenvolvimento e as soluções comerciais existentes para medição de energia foi elaborado a arquitetura do sistema de teste específico para testar lâmpadas LED.

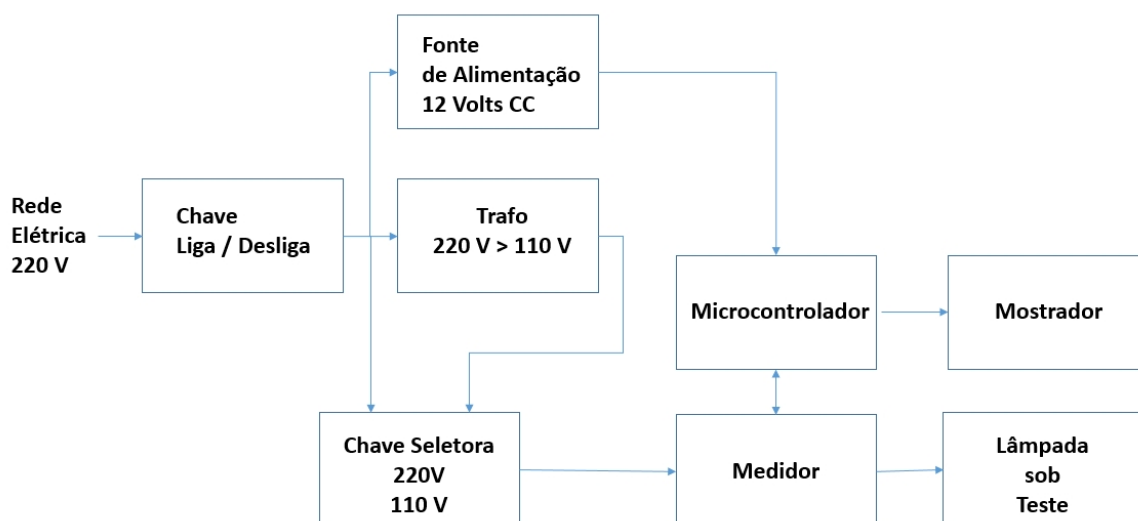
A solução teria que ser simples e prática e capaz de medir lâmpadas LED nas tensões de 110 e 220 volts, pois conforme visto anteriormente, são requisitos da Portaria nº 144 do INMETRO.

O sistema de teste de lâmpadas LED teria que medir o consumo de energia, o fator de potência, a tensão da rede e a corrente elétrica e atender os seguintes requisitos:

- Tensão de entrada: 220 volts;
- Testar lâmpadas em 220 volts e 110 volts;
- Potência máxima das lâmpadas sob teste: 50 watts.

Para atender as funcionalidades e requisitos propostos, foi elaborado o diagrama da Figura 16.

Figura 16 - Diagrama do sistema de teste



Fonte: do autor, 2016

O diagrama do equipamento de teste é composto dos seguintes elementos:

- **Rede Elétrica 220 V:** Alimentação do sistema de teste;
- **Chave Liga / Desliga:** Ligar e desligar a alimentação da eletrônica e lâmpada LED sob teste;
- **Trafo 220 V > 110 V:** Transformador para converter a tensão de entrada de 200 volts para 120 volts;
- **Chave Seletora 220 V 110 V:** Seleciona a tensão a ser aplicada na lâmpada sob teste;
- **Medidor:** Realiza as medições de tensão, corrente, consumo de energia e fator de potência. Os dados processados são enviados ao módulo microcontrolador;
- **Microcontrolador:** Recebe os dados do módulo medidor e os envia para o mostrador;
- **Mostrador:** Informa ao usuário as medidas de tensão, corrente, consumo e fator de potência. É alimentado pelo módulo microcontrolador;
- **Fonte de alimentação 12 Volts CC:** Fornece a alimentação do módulo microcontrolador. Entrada de tensão elétrica em 220 volts e saída em tensão contínua de 12 volts.

6.3 Módulos do sistema de teste

A seguir são detalhados os principais módulos que compõe sistema de teste.

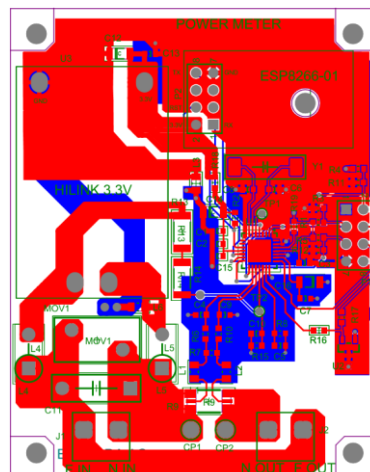
6.3.1 Módulo medidor

O módulo medidor é o item mais importante do sistema. Foi escolhido a solução da Microchip Semicondutor porque o circuito integrado MCP39F501 realiza internamente as medidas de tensão, corrente, consumo e fator de potência e entrega estes dados via porta de comunicação serial RS232 para um microcontrolador externo.

A partir do esquema elétrico do *kit* do desenvolvimento da Microchip Semicondutor foi elaborado o esquemático e pode ser visualizado no Apêndice 1 – Esquema Elétrico. Neste novo projeto foram removidos componentes não necessários ao projeto, incluído interface para possível comunicação sem fio e substituído a fonte de alimentação com topologia capacitiva por um módulo de conversão de tensão CA/CC da marca Hi-Link, modelo HLK-PM03, cuja entrada pode variar de 100 a 240 volts, produzir uma tensão de saída de 3.3 volts e corrente máxima de 1 ampere. O motivo da substituição foi testar e avaliar a tecnologia de fonte de alimentação em formato de módulo. Por ter dimensões reduzidas, ser um produto testado e com certificações internacionais facilita a construção de projetos de eletrônica embarcada.

Após a elaboração do esquema elétrico, foi desenvolvida a placa de circuito impresso mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Placa de circuito impresso.



Fonte: do autor, 2016

Neste projeto foi previsto para aplicação futura a possível inserção do módulo de comunicação sem fio ESP8266 que poderá ser ligado no conector P1. Atualmente é através do conector P1 a comunicação serial RS232 com o módulo microcontrolador.

Na Figura 18 pode ser visualizado o modulo medidor com os componentes eletrônicos e conexões.

Figura 18 - Módulo medidor.

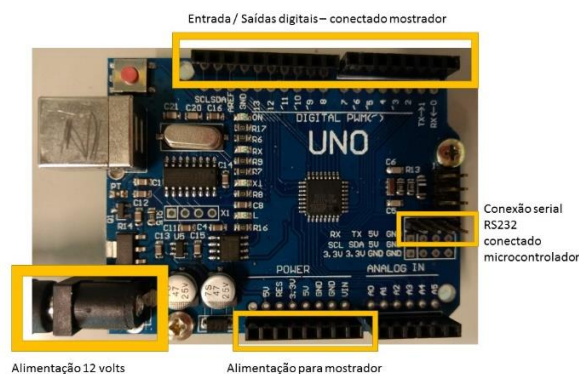


Fonte: do autor, 2016.

6.3.2 Módulo microcontrolador

Para o módulo microcontrolador foi escolhido a plataforma Arduino Uno porque é de fácil aquisição no mercado, fácil de programar e conhecido no meio acadêmico. Na Figura 19 é apresentada a imagem de um Arduino.

Figura 19 - Arduino Uno.



Fonte: do autor, 2016

6.3.3 Módulo mostrador

A interface com o usuário é de importância fundamental para o sucesso de um sistema. É através dela que o usuário pode obter as informações relevantes. Neste projeto foi utilizado uma interface com um mostrador gráfico. Foi escolhido para o módulo, o componente Nokia 5110 devido sua facilidade de aquisição no mercado. Possui uma resolução de 84 x 48 *pixels*, suficiente para exibir os dados desejados. Na Figura 20 é apresentada a imagem deste componente.

Figura 20 - Componente mostrador Nokia 5110.



Fonte: Vida de silício, 2016

O componente Nokia 5110 é conectado com a plataforma Arduino conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Conexão do mostrador com o microcontrolador.

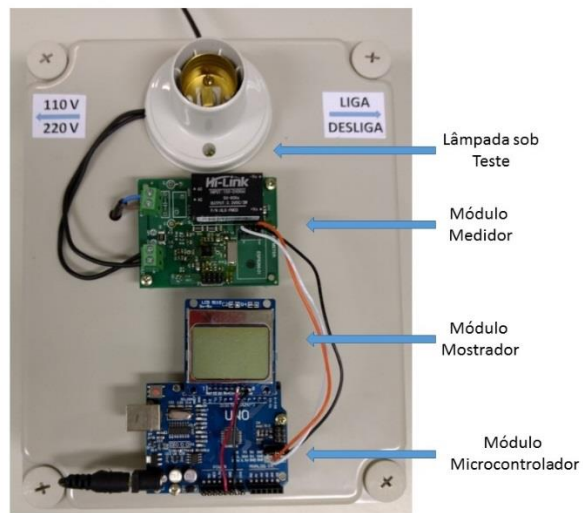
DISPLAY	ARDUINO
RST	12
CE	11
DC	10
DIN	9
CLK	8
VCC	3V3
GND	GND

Fonte: do autor, 2016

7 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE TESTE

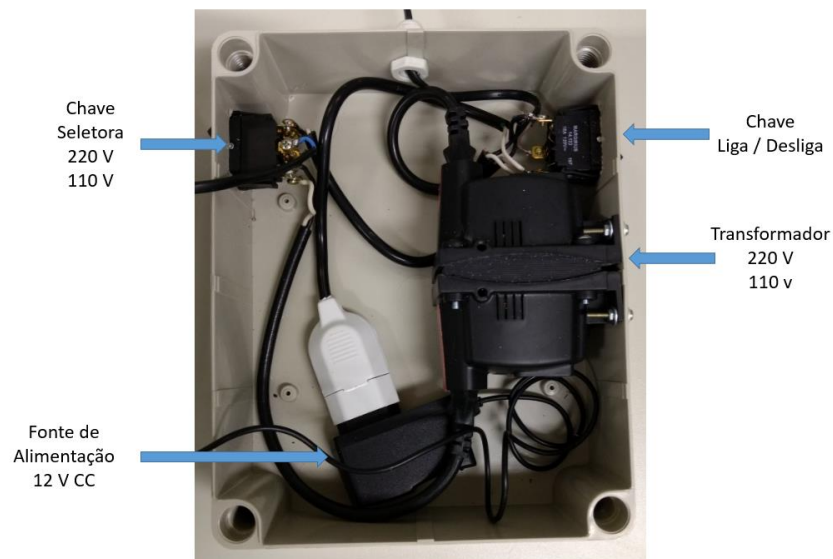
O sistema de teste foi montado em um gabinete do fabricante Patola. Para facilitar a visualização do sistema desenvolvido, na parte externa do gabinete, foram instalados os módulos medidor, microcontrolador e mostrador e na parte interna os módulos chave liga / desliga, chave seletora 220 V 110 V, trafo 220 V > 110 V e fonte de alimentação 12 Volts CC. Nas Figuras 21 e 22 estão respectivamente, as imagens do gabinete externo e interno.

Figura 21 - Sistema de teste - parte externa.



Fonte: do autor, 2016

Figura 22 - Sistema de teste - parte interna.



Fonte: do autor, 2016.

8 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE TESTE

Para validar o sistema de teste proposto, foi utilizado a infraestrutura e equipamentos existentes no Instituto de Pesquisas Eldorado.

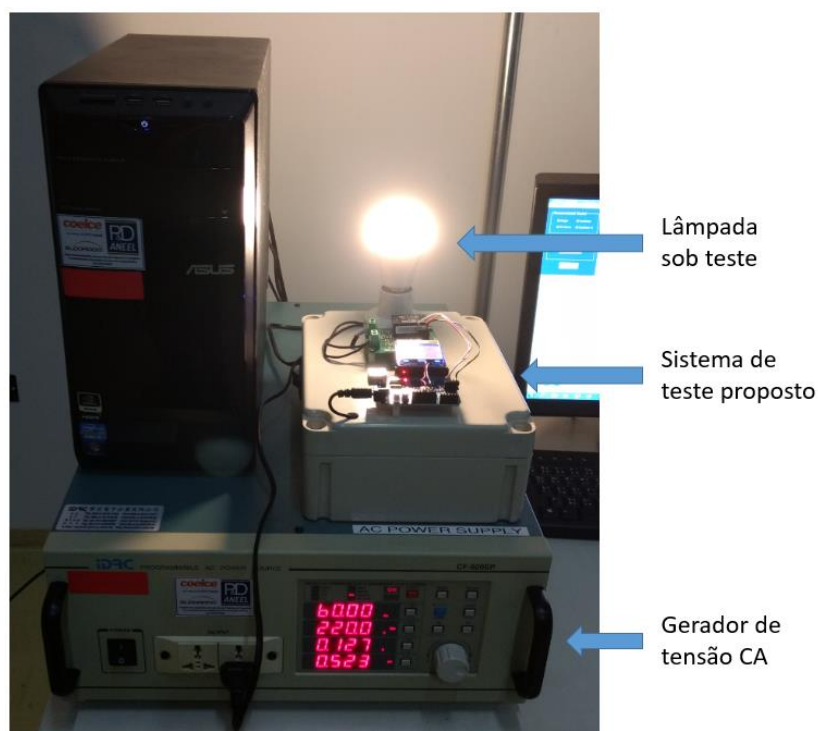
O método de validação do sistema proposto consistiu em:

1. Realizar as medidas de tensão, corrente, consumo e fator de potência no sistema de teste proposto;
2. Elaborar uma tabela com os dados adquiridos no Capítulo 5 e com os dados obtidos no sistema de teste proposto, calcular as diferenças entre as medidas e mostrar em percentual.
3. Realizar a análise dos resultados.

8.1 Aquisição de dados no sistema de teste proposto

Para realizar as medidas das lâmpadas com o sistema de teste proposto foi utilizado um gerador de tensão da marca IDRC, modelo CF-500EP. Este equipamento é controlador por um computador. Na Figura 23 é demonstrado o *setup* para realizar a aquisição de dados no sistema de teste proposto.

Figura 23 - *Setup* para aquisição de dados no sistema de teste proposto.



Fonte: do autor, 2016.

O procedimento de teste consiste nos seguintes tópicos:

- O gerador de tensão CA é programado para simular a tensão da rede elétrica;
- As medidas de tensão, corrente, consumo e fator de potência são coletadas pelo sistema de teste proposto,
- A chave 220 V / 110 V é colocada na posição 110 V para medir em baixa tensão.

Na Figura 24 é apresentado como os dados são exibidos no sistema de teste proposto.

Figura 24 - Dados exibidos no sistema de teste proposto.



Fonte: do autor, 2016.

A indicação “*Status: OK*” sinaliza que a comunicação serial RS232 foi estabelecida entre os módulos Medidor e Microcontrolador.

Em seguida, é apresentado as siglas “Volt” referente a tensão aplicada na lâmpada sob teste, “Corr” para corrente elétrica, “Cons” para consumo e “FP” para fator de potência.

8.2 Comparação e análise dos dados

Na Tabela 9, é apresentado a comparação entre as medidas realizadas em sete amostras, nas tensões de 127 V e 220 V.

Tabela 9 - Comparação entre medidas.

Amostra	Tensão (V)				Corrente (A)				Consumo (W)				Fator de Potência			
	Sistema Referên- cia (*)	Sistema proposto	Diferen- ça	Diferen- ça (%)	Sistema Referên- cia (*)	Sistema proposto	Diferen- ça	Diferen- ça (%)	Sistema Referên- cia (*)	Sistema proposto	Diferen- ça	Diferen- ça (%)	Sistema Referên- cia (*)	Sistema proposto	Diferen- ça	Diferen- ça (%)
B1 (10 W)	127	127	0	0	0,1257	0,1268	0,0011	0,01	10,86	10,47	0,39	0,04	0,67	0,67	0,00	0,00
	220	220	0	0	0,0899	0,0988	0,0089	0,10	10,80	10,51	0,29	0,03	0,54	0,49	0,05	0,09
C1 (9 W)	127	127	0	0	0,1228	0,1276	0,0048	0,04	9,40	9,24	0,16	0,02	0,60	0,59	0,01	0,02
	220	220	0	0	0,0834	0,0971	0,0137	0,16	9,16	8,97	0,19	0,02	0,49	0,43	0,06	0,12
C2 (9 W)	127	127	0	0	0,1382	0,1432	0,0050	0,04	10,82	10,68	0,14	0,01	0,61	0,61	0,00	0,00
	220	220	0	0	0,0921	0,1029	0,0108	0,12	10,66	10,51	0,15	0,01	0,52	0,48	0,04	0,08
D1 (9 W)	127	127	0	0	0,1345	0,1391	0,0046	0,03	10,33	10,14	0,19	0,02	0,60	0,58	0,02	0,03
	220	220	0	0	0,0903	0,1054	0,0151	0,17	9,96	9,83	0,13	0,01	0,50	0,43	0,07	0,14
F1 (12 W)	127	127	0	0	0,1715	0,1820	0,0105	0,06	12,78	12,54	0,24	0,02	0,58	0,55	0,03	0,05
	220	220	0	0	0,1215	0,1490	0,0275	0,23	12,82	12,66	0,16	0,01	0,47	0,39	0,08	0,17
F2 (12 W)	127	127	0	0	0,1648	0,1762	0,0114	0,07	12,23	11,96	0,27	0,02	0,58	0,55	0,03	0,05
	220	220	0	0	0,1116	0,1408	0,0292	0,26	12,22	12,02	0,20	0,02	0,47	0,39	0,08	0,17
F3 (12 W)	127	127	0	0	0,1642	0,1745	0,0103	0,06	12,18	11,96	0,22	0,02	0,58	0,56	0,02	0,03
	220	220	0	0	0,1163	0,1408	0,0245	0,21	12,15	11,97	0,18	0,01	0,47	0,39	0,08	0,17

(*) Sistema Referência = valores medidos na fase de análise das lâmpadas LED.

Fonte: do autor, 2016

Significados da Tabela 9:

- Amostras: Estas são as amostras utilizadas no Capítulo 5 e suas identificações;
- Sistema Referência: Valores medidos na fase de análise das lâmpadas LED utilizando equipamentos dos laboratórios do Instituto de Pesquisas Eldorado;
- Sistema proposto: Estas são as medidas coletadas pelo sistema de teste proposto;
- Diferença: É a diferença entre a medida realizada no Sistema Referência e o Sistema proposto;
- Diferença (%): É a diferença em porcentagem entre as medidas realizadas no Sistema Referência e o Sistema proposto.

8.3 Análise dos resultados

Na etapa anterior, foram realizadas cinquenta e seis medidas. Essas medidas, comparadas com as realizadas no Capítulo 5, tiveram a seguinte distribuição:

- Igual ou menor que 0,1%: 45 medidas (80,35%);
- Menor que 0,2%: 8 medidas (14,28%);
- Menor que 0,3%: 3 medidas (5,35%).

Considerando que os instrumentos de serviço para fins normais têm classe de precisão 1,0; 1,5; 2,5 ou 5,0 (SEBRAE, 1996) pode-se afirmar que o sistema de teste desenvolvido se enquadra nestas categorias.

9 TESTES COM LÂMPADAS LED CERTIFICADAS

Conforme comentado anteriormente, a Portaria nº 144 do INMETRO tornou obrigatório a certificação de lâmpadas LED para fabricantes e importadores a partir de fevereiro de 2016.

Este trabalho realizou testes de eficiência energética em um conjunto de lâmpadas LED antes da data final da obrigatoriedade da certificação e constatou que as mesmas não atendiam os requisitos determinados pelo INMETRO.

Os fabricantes e importadores estão certificando os produtos e é razoável verificar como está o comportamento das lâmpadas LED em relação aos aspectos negativos de consumo e fator de potência detectados nos testes realizados.

Em 01 de dezembro de 2016 foi possível testar nos equipamentos de referência disponíveis no Instituto de Pesquisas Eldorado, quatro lâmpadas LED certificadas e foram constatados os seguintes resultados conforme mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultado de testes de lâmpadas LED certificadas.

Amostra	Tensão (V)	Corrente (A)	Consumo (W)	Consumo máximo permitido (W)	Fator de Potência	FP máximo permitido
LED1 8.5 W	119	0,07	8,57	9,35	0,98	0,70
	220	0,04	8,66	9,35	0,93	0,70
LED2 9 W	119	0,07	9,00	9,90	0,98	0,70
	220	0,04	9,12	9,90	0,93	0,70
LED3 13.5 W	119	0,11	13,29	14,85	0,96	0,70
	220	0,06	13,34	14,85	0,92	0,70
LED4 10 W	119	0,08	9,83	11,00	0,97	0,70
	220	0,05	9,85	11,00	0,88	0,70

Fonte: do autor, 2016

Os resultados obtidos com as lâmpadas LED certificadas conforme a Portaria nº 144 do INMETRO não só atenderam os requisitos como apresentaram melhora significativa no fator de potência. Todas as amostras atenderam os requisitos de consumo e fator de potência. Também ficou evidente que o fator de potência é menor em 220 volts, acompanhando o que foi constatado neste trabalho.

10 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados encontrados no presente trabalho mostram que as lâmpadas LED comercializadas no mercado brasileiro no período de 2015/2016 não atendem os requisitos especificados na Portaria nº 144 do INMETRO.

Muitas amostras apresentaram não conformidade nos testes de consumo de energia, como mostrado no Capítulo 5, levando a concluir que os fabricantes terão que investir em controle de qualidade para garantir uma uniformidade no processo de manufatura.

Todas as amostras de lâmpadas LED bivolt falharam no teste de fator de potência. Uma observação relevante foi que o fator de potência é pior na tensão de 220 volts, concluindo-se que cidades que disponibilizam somente esta tensão, podem ter mais perdas no sistema de distribuição de energia elétrica.

Certamente os fabricantes terão que realizar alteração no projeto eletrônico para melhorar o fator de potência e ter um melhor sistema de controle de qualidade.

A solução proposta para o sistema de teste demonstrou que é possível realizar projetos técnicos simples e práticos. A metodologia aplicada que utilizou como referência os dados coletados no Capítulo 5, mostrou que houve uma diferença percentual máxima de 0,3%.

Os testes realizados com lâmpadas LED certificadas deixam claro que foi correto a obrigatoriedade da certificação imposta pelo INMETRO. Os resultados mostrados no Capítulo 11, demonstram que as amostras não só atenderam o requisito de consumo como também houve uma melhora substancial do fator de potência. O consumidor será beneficiado com a aquisição de lâmpadas LED de melhor qualidade e o sistema de distribuição de energia elétrica terá menos perdas.

Embora a recente medida realizada em laboratório tenha demonstrado que as lâmpadas LED certificadas estão de acordo com os requisitos da Portaria nº 144, não invalida a proposta do sistema de teste. Os importadores, lojistas e consumidores podem ter um aparato para verificar se o que está chegando ao mercado está mesmo em conformidade com as normas técnicas.

11 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como proposta avaliar a eficiência energética das lâmpadas LED comercializadas no mercado brasileiro em 2015/2016. A sua utilização em iluminação é recente e pouco conhecida pelos consumidores, principalmente no tocante ao desempenho na eficiência energética.

A análise utilizou lâmpadas obtidas no comércio para espelhar a realidade do que está no mercado, considerando os requisitos da Portaria nº 144/2015 do INMETRO que obriga fabricantes e importadores a certificarem os produtos.

Para entender os requisitos que compõe a eficiência energética foi realizado revisão da literatura sobre eficiência energética, abordando consumo de energia, fator de potência, fluxo luminoso e eficiência energética e uma análise da Portaria nº 144 do INMETRO.

O trabalho envolveu a seleção do material a ser avaliado, a aplicação de uma metodologia para classificar o material, definir os equipamentos de teste, realizar os testes, comparar com os requisitos da portaria e análise dos resultados.

Os resultados demonstram que dos seis fabricantes analisados, somente um atendeu em 100% os requisitos da Portaria nº 144/2015, entretanto o produto atendia somente na faixa de 127 volts. As demais amostras analisadas que operavam tanto em 127 volts quanto em 220 volts não atenderam as especificações de consumo de energia e fator de potência.

O estudo utilizou uma amostragem de dezoito lâmpadas LED de seis fabricantes. No entanto, apesar da limitação identificada, pode se considerar que o estudo consolidou uma metodologia para realizar testes com foco em eficiência energética

Como os resultados apontaram falhas no consumo de energia e fator de potência nas lâmpadas LED analisadas, foi proposto o desenvolvimento de um sistema de teste de baixo custo. Este artefato teve por objetivo medir de maneira rápida e simples, além do consumo de energia e o fator de potência, a tensão de alimentação e o consumo de lâmpadas de até 50 watts. À partir da proposta, foi construído e validado um sistema de teste conforme descrito nos capítulos anteriores.

Este trabalho demonstra que as lâmpadas LED comercializadas no mercado não atendem os requisitos exigidos pelas normas técnicas e os testes

realizados com lâmpadas LED certificadas, cujos resultados foram positivos, deixam claro que foi correto a obrigatoriedade da certificação imposta pelo INMETRO. O consumidor será beneficiado com a aquisição de lâmpadas LED de melhor qualidade e o sistema de distribuição de energia elétrica terá menos perdas.

Por fim, os resultados obtidos neste trabalho permitiram conhecer o estágio atual das lâmpadas comercializadas no Brasil e as nuances que envolvem um processo de certificação que envolveu um órgão certificador, fabricantes, importadores, sociedade civil e laboratórios de teste.

11.1 Trabalhos futuros

Como trabalho futuro pode ser avaliado as lâmpadas certificadas disponíveis no mercado consumidor. Pode ser aplicada a mesma metodologia, porém aumentando o número de amostras e realizando testes com lâmpadas LED de maior potência. Os fabricantes e importadores enviam amostras para certificação e é interessante verificar se as lâmpadas LED produzidas em massa estão atendendo os requisitos da Portaria.

O sistema de teste proposto também abre possibilidade de iniciar uma *startup* para comercializar uma solução com características de produto final. Para se ter uma redução de custo, a plataforma do microcontrolador com o Arduino Uno pode ser substituído por outro microcontrolador. A fonte de alimentação de 12 volts pode ser eliminada, utilizando a tensão de 3.3 V fornecida pelo módulo do medidor. O gabinete, provavelmente menor, deve ser adequado ao novo circuito.

O módulo medidor também pode servir de base para desenvolver um produto para medir o consumo de energia elétrica de equipamentos eletroeletrônicos, tais como, televisores, conversores de sinal, computadores, etc.

O módulo medidor foi projeto para suportar o componente ESP8266, um módulo Wifi que permite realizar comunicação sem fio, abrindo possibilidade de transmitir os dados para *smartphones*, *tablets*, computadores e *internet*.

Enfim, a plataforma de teste apresentada abre possibilidades reais para empreendedorismo.

REFERÊNCIAS

ABILUMI. Disponível em: <<http://www.abilumi.org.br/>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

ABILUX. Disponível em: <www.abilux.com.br>. Acesso em: 06 mar. 2016.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013. **Resolução Normativa nº 569**.

Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/resultado/ren2013569.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

AODBRAZIL. **LED vs Fluorescente Compacta vs incandescentes**. Disponível em:

<http://www.aodbrazil.com/aod/portugues/impresa/catalogos/LED_CFL_Lampadas-Incandescentes.pdf>. Acesso em 25 abr. 2016.

ARDUINO ORG. **Arduino Uno**. Disponível em:

<<http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

BLEY, F. B. **LEDs versus Lâmpadas Convencionais**. Especialize-Revista-Online,

edição nº 3, maio 202. Goiânia. Disponível em: <<http://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n3-2012/>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

BRADSHER, KEYTH. **Com alta demanda, fabricantes de LED na China conquistam o mercado global**. Disponível em:

<<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2014/07/1482578-fabricantes-de-led-na-china-conquistam-mercado-global.shtml>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

BRASIL Ministério de Minas e Energia, 2010. **Portaria Interministerial nº 1007**.

Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria_interminestral+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1>. Acesso em: 15 nov. 2016.

BRASIL Presidência da República, 2010a. **Lei nº 10.295**. Disponível em:

<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 06 dez. 2016.

BRASIL Presidência da República, 2010b. **Decreto nº 4.059**. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm>. Acesso em: 06 dez. 2016.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2015. **Fator de Potência: como transformá-lo em um fator de economia**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/\\$FILE/fator_potencia.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf)>. Acesso em 16 abr. 2016.

DIGIPRAX, 2015. **Lâmpada tubular LED**. Disponível em: <<http://www.digiprax.com.br/Lampada-LED-TUBULAR-T8-14W-0-90m-Leitosa/prod-1322478/>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

ENGELETRICA, 2016. **Manual de correção do fator de potência**. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

EXPOLUX, 2016. **Feira Internacional da Indústria de Iluminação**. Disponível em: <www.expolux.com.br>. Acesso em 15 de nov. 2016.

FREITAS, L. **LED: A tecnologia do presente**. Revista Lumière Electric. Edição 207, P60-66, São Paulo, 2015.

INFOABMIDIA, 2015. **Lâmpada LED Tubular T8**. Disponível em: <http://www.infoabmidia.com.br/loja/produto-102097-5352-lampada_led_tubular_t8_branca_iluminacao_residencia_escritorio_loja_industria_sala_sacada_saguao_sup>. Acesso em: 12 nov. 2015.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2015a. **Portaria nº 144, de 13 de março de 2015**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002235.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2015.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2014. **Portaria nº 389, de 25 de agosto de 2014**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002154.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2015.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2015b. **Portaria nº 599, de 17 de dezembro de 2015**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002344.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

INMETRO - INMETRO-INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2016. **Portaria nº 76, de 24 de fevereiro de 2016**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002387.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

LEDFORUM, 2016. **LED Fórum**. Disponível em: <www.ledforum.com.br>. Acesso em: 15 nov. 2016.

LUZ, J. M. **Luminotécnica**. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em 17 abr. 2016.

MARTINS, F. **Saiba o que é fator de potência e qual a sua importância**. Disponível em: <<http://www.embrasesolucoes.com.br/artigos/informacoes/saiba-o-que-e-fator-de-potencia-e-qual-a-sua-importancia>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

MICROCHIP SEMICONDUCTOR. **MCP39F501 Datasheet**. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005256A.pdf>>. Acesso em 20 nov. 2016.

MICROCHIP SEMICONDUCTOR. **MCP39F501 kit de desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.microchip.com/_ImagedCopy/ARD00455_WebPage.jpg>. Acesso em: 20 nov. 2016.

NXP SEMICONDUCTOR. **Kit de desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/reference-manuals/DRM142.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2012. **PNUMA e parceiros lançam na Rio+20 mapa mundial de políticas em iluminação eficiente**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/pnuma-e-parceiros-lancam-na-rio20-mapa-mundial-de-politicas-em-iluminacao-eficiente/>>. Acesso em: 13 set. 2015.

OPOENLED, 2015. **Lâmpada LED**. Disponível em: <<http://www.opoenled.com.br/home/produto/codigo:26523/lampada-de-led-3u-branco-frio-com-led-smd-pl-5w-e27>>. Acesso em 12 nov. 2015.

PHILIPS. **Lâmpada LED**. Disponível em: <<http://www.philips.com.br/c-p/8718291686965/led-lampada>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA. **Manual de Economia de Energia**. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www.pucrs.br/biblioteca/manualuse.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

PREDIALTEC, 2016. **Expo Predialtec – Feira de Tecnologias para Sistemas Prediais**. Disponível: <<http://www.anhembicom.br/expopredialtec-2016/>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF: **Diário Oficial da União** 17 out. 2001. Disponível em:

<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 16 nov. 2016.

P3 INTERNATIONAL. Kill a Watt. Disponível em:

<<http://www.p3international.com/products/p4400.html>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

REDUCTION REVOLUTION. Efergy Ego Wireless Power Meter. Disponível em:

<<http://reductionrevolution.com.au/blogs/news-reviews/57788165-efergy-ego-wireless-power-meter-review>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

REVISTA L+D. **Site na internet**. Disponível em: <<http://www.revistald.com.br>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

REVISTA LUME ARQUITETURA. **Site na internet**. Disponível em:

<<http://www.lumearquitetura.com.br/lume/default.aspx>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

REVISTA LUMIERE ELECTRIC. **Site na internet**. Disponível em:

<<http://www.editoralumiere.com.br/>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

REVISTA O SETOR ELÉTRICO. **Site na internet**. Disponível em:

<<http://www.osetoelettrico.com.br/web/a-revista.html>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

RPMBRASIL, 2016. **Ilume Expo - Exposição e Fórum de Gestão em Iluminação Pública**. Disponível em: <<http://www.rpmbrasil.com.br/eventos.aspx?eventoID=71>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

SCHREDER, 2016. **Fluxo luminoso**. Disponível em: <<http://www.schreder.com/br-pt/Escoladelluminacao/Guidadelluminacao/Dicionariodelluminacao/Pages/Luminous-flux.aspx>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Metrologia Elétrica Básica.

Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/28/28.pdf>>. Acesso em: 09 dez 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430AFE2x3**. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/ml/slyt428/slyt428.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Núcleo de Iluminação Moderna-NIMO. **Esferas integradoras**. Juiz de Fora: UFRJ, 2016. Disponível em:

<<http://www.ufjf.br/nimo/files/2008/10/Esfera-integradora1.pdf>>. Acesso em: 10 dez.

2016.

VIBRANCELIGHTIN, 2015. **Anatomy of an LED bulb**. Disponível em:

<<http://www.vibrancelighting.com/blog/2013/03/30/anatomy-of-an-led/>>. Acesso em 12 nov. 2015.

VIDA DE SILICIO. **Display Nokia 5110**. Disponível em:

<<http://blog.vidadesilicio.com.br/arduino/display-lcd-nokia-5110/>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

APENDICE A – Esquema elétrico

