

Analysis of Current Transients in Residential Lamps

J. Camilo, A. Pereira, A. Fragoso, M. Fortes, *Senior Member, IEEE*, and K. Cardoso

Abstract—Currently, in Brazilian residential lighting systems there are three types of lamp technology used: incandescent, compact fluorescent (LFC or FCL) and LED. As a consequence of the application of electronic circuits in the production of these two latest technologies, these lamps when initialized develop currents and frequencies higher than the nominal due to the electromagnetic transients. These currents can be intensified if one takes into account a joint and simultaneous started caused by collective switching or power outages. This paper presents an analysis of the starting currents in unique and mixed groups of technologies, verifying the effects of mutual compensation and establishing predictions for other systems.

Index Terms—Current Measurement, Electromagnetic transients, LED lamps.

I. INTRODUÇÃO

NA tentativa de mitigar os efeitos da crise energética que afetou o país em 2001, o governo brasileiro sancionou a Lei de eficiência energética - Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001, a qual estabeleceu políticas de eficiência energética para equipamentos elétricos, como os residenciais, responsáveis por aproximadamente 30% de toda energia consumida no país naquele ano segundo levantamento realizado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE [1]. A partir de então, medidas que otimizam o uso da energia elétrica vêm sendo adotadas pela população, como a gradativa substituição das tecnologias de iluminação.

Dentre tais tecnologias de iluminação, as que se destacam no mercado atualmente são as Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFCs) e as com tecnologia *Light Emitting Diode* (LED).

As LFCs são compostas por duas partes principais: um reator eletrônico e um bulbo fluorescente. A obtenção de luz se dá pela ionização, através de descarga elétrica, do gás de baixa pressão confinado no interior do bulbo fluorescente.

No reator eletrônico, responsável pela descarga elétrica no bulbo fluorescente, a tensão alternada de baixa frequência (50 ou 60 Hz) de entrada é retificada para alimentação de um circuito inversor, onde a tensão contínua é transformada em tensão alternada de alta frequência.

Dessa forma, o reator eletrônico converte a baixa frequência em frequências na faixa de 20 kHz a 40 kHz, de forma a evitar ruído audível e reduzir o tamanho dos componentes utilizados no circuito [2].

A tecnologia LED consiste em um dispositivo de estado sólido que emite luz quando passa através dele uma determinada corrente elétrica [3]. Os LEDs requerem para seu funcionamento uma fonte de corrente contínua (CC) de baixa tensão, entretanto, devem operar a partir de uma rede elétrica de corrente alternada (CA), sendo necessária a utilização de conversores para regulação de tensão e controle da corrente aplicada aos LEDs, para tal finalidade, é comum a utilização dos conversores buck, boost, flyback e ressonante [4].

Um típico driver de controle de uma lâmpada LED de baixa tensão é composto por um circuito de filtro para interferências eletromagnéticas, ligado ao ponto de conexão à rede de alimentação CA, um circuito retificador com capacitor de *ripple* e, um conversor CC-CC controlado por PWM (*Pulse Width Modulation*) para obtenção de uma saída CC a um nível de tensão controlado para alimentação do arranjo de LEDs [4].

Conforme dados fornecidos pela Pesquisa de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso - PPH realizada pelo PROCEL, em 2005, as LFCs já estavam presentes em 62,3% dos domicílios brasileiros e, se considerada uma média nacional, já dividiam os espaços residenciais com as incandescentes [5]. O aumento da presença de LFCs no mercado consumidor está fortemente ligado à evolução do desempenho elétrico e fotométrico deste equipamento como reportado em [6] e [7].

Dentro da política de economia de energia, o governo brasileiro através do Ministério de Minas e Energia, instituiu a Portaria Interministerial Nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010, com o objetivo de proibir a produção e importação de determinadas faixas de potência de lâmpadas incandescentes que não atendessem a níveis mínimos de eficiência.

Apesar de relativamente nova no mercado, a tecnologia LED surpreende e vêm conquistando massiva presença no cenário nacional. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação - Abilux, no Brasil o consumo de LEDs foi de 27 milhões de unidades em 2014 para 81 milhões em 2015 considerando-se todas as suas formas e a previsão é que por volta de 2020, 70% do faturamento mundial em iluminação será correspondente ao consumo de equipamentos com tecnologia LED [8]. A alta eficiência luminosa, alto fator de potência, baixa distorção harmônica e vida útil prolongada em relação às outras tecnologias fazem do uso do LED a melhor relação custo x benefício [9] para a aplicabilidade da NBR 5413, a qual estabelece níveis ideais para iluminância de interiores.

J.M.Camilo, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, juanmaia@id.uff.br.

A.M.E. Pereira, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, am_estrela@id.uff.br.

A.P. Fragoso, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, adrianofragoso@gmail.com.

M.Z.Fortes, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brasil, mzf@vm.uff.br.

K.R.Cardoso, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, keylarezendec@gmail.com.

Diferentemente das lâmpadas incandescentes, que são constituídas apenas por um filamento de tungstênio em um bulbo contendo gás inerte, as lâmpadas LED e LFCs são constituídas por circuitos de acionamento, que, por sua vez, possuem elementos passivos de circuito, como capacitores e indutores mostrados na Fig. 1.



Fig. 1. Circuito de acionamento de lâmpadas LED e LFC.

A presença destes elementos confere a estas lâmpadas uma maior susceptibilidade ao fenômeno dos transitórios eletromagnéticos, permitindo o desenvolvimento de correntes elétricas de ordens superiores às nominais durante o processo de energização. D'Ajuz e outros (1987, p. 16) reforçam que "O tempo em que os sistemas passam nas condições transitórias é insignificante quando comparado com o tempo passado no regime permanente. Entretanto os períodos em que os sistemas passam em condições transitórias são muito importantes, pois é neste período que os componentes do sistema sofrem as maiores solicitações de corrente ou de tensões" [10].

É possível encontrar alguns artigos publicados na literatura com foco no estudo de transitórios na iluminação, como uma análise da corrente de partida em lâmpadas LED [11]-[12]. Este trabalho tem como objetivo a apresentação de uma análise dos níveis de correntes de partida de LEDs e LFCs durante um acendimento conjunto, em grupos individuais e mistos, relacionando-as com as correntes de regime permanente e discutindo seu comportamento em cada cenário estabelecido. Para esta análise foi adotada a tensão alternada de 127V para alimentação das lâmpadas, disponibilizada pelas distribuidoras nos maiores centros urbanos do território nacional [13].

II. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A. Metodologia

Os ensaios de verificação foram realizados no Laboratório de Luminotécnica da UFF - Lablux, que possui estudos da área de luminotécnica e qualidade de energia [14-18]. Neste estudo considera-se o efeito do fator de diversidade em cargas não lineares como destacado em [19-20]

A NBR 5413 foi tomada como referência para definição dos modelos das amostras ensaiadas. Os modelos selecionados, mostrados na Tabela I, possuem níveis de potência e eficiência satisfatórios para o cumprimento do item 5.3.65 de [21] em uma unidade residencial padrão. Os nomes dos fabricantes não foram divulgados para manutenção do sigilo e ética do laboratório.

TABELA I
DESCRIÇÃO DOS MODELOS ENSAIADOS

Tipo de tecnologia	Potência Nominal (W)	Tensão Nominal (V)	Corrente Nominal (mA)	Quantidade de amostras
LED	12	Bivolt	88	15
LFC	25	127	312	15

Três cenários distintos foram considerados neste estudo. Cada cenário tem por objetivo a promoção de uma variabilidade do número de lâmpadas ensaiadas e, consequentemente, a capacidade de se definir o comportamento de cada tipo de tecnologia para quantidades discretas de amostras.

O cenário 1 simula uma unidade que contém apenas LFCs. O objetivo da análise deste cenário é identificar as características transitórias e avaliar a compensação apenas entre esta tecnologia. As quantidades de amostras e cada ensaio realizado estão descritos na Tabela II.

TABELA II
CENÁRIO 1 - LFC

Ensaio	Quantidade de LED	Quantidade de LFC
1.1	-	1
1.2	-	3
1.3	-	6
1.4	-	9
1.5	-	12
1.6	-	15

O cenário 2 é semelhante ao primeiro, com a diferença da substituição da tecnologia avaliada para LED. O objetivo desta análise é o mesmo que o anterior e as quantidades também são preservadas, como podem ser observadas na Tabela III.

TABELA III
CENÁRIO 2 - LED

Ensaio	Quantidade de LED	Quantidade de LFC
2.1	1	-
2.2	3	-
2.3	6	-
2.4	9	-
2.5	12	-
2.6	15	-

O cenário 3, por sua vez, apresenta uma proposta distinta aos demais: analisar as correntes de partida em uma unidade que não apresenta variação no número de amostras mas sim no percentual de cada tecnologia avaliada, caracterizando um cenário misto. Cada tecnologia varia entre 20% e 80% do total de cada ensaio realizado, permitindo uma maior generalização na simulação de unidades residenciais. Os ensaios realizados e as quantidades correspondentes são descritas na Tabela IV.

TABELA IV
CENÁRIO 3 - LFC E LED

Ensaio	Quantidade de LED	Quantidade de LFC
3.1	12	3
3.2	10	5
3.3	7	8
3.4	5	10
3.5	3	12

B. Equipamentos

A alimentação das lâmpadas foi provida pela fonte de tensão controlada do fabricante Pacific, modelo 110ADX. Para verificação da corrente de regime permanente foi utilizado um analisador/wattímetro Yokogawa - WT210. Estes equipamentos estão ilustrados na Fig. 2.

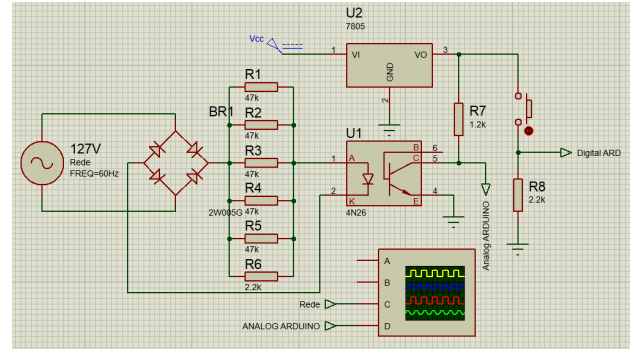
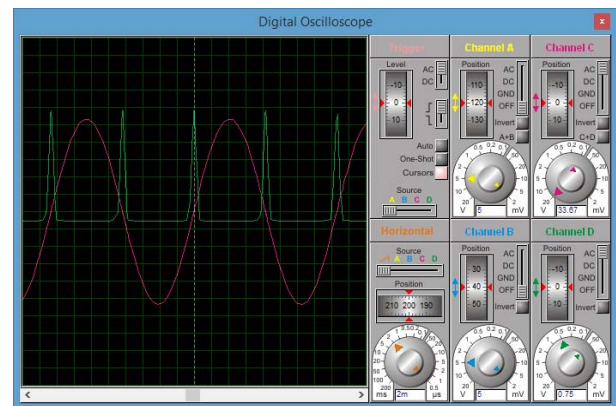
Um erro comum em análise em corrente alternada com o auxílio de um osciloscópio é a falta de precisão do instante de partida das lâmpadas quando este é realizado por uma comutação manual. Tratando-se de uma tensão senoidal na frequência de 60Hz, é praticamente impossível acionar manualmente as lâmpadas de cada ensaio nos mesmos níveis de tensão instantânea, acarretando em um erro que afeta a repetitividade dos procedimentos e dificulta a inferência de conclusões.



Fig.2. Fonte de alimentação e analisador/wattímetro.

No intuito de atenuar este erro e padronizar os acionamentos em cada ensaio, foi desenvolvido um sincronizador de partida utilizando o micro controlador Arduino Uno, placa de controle baseada no CI ATmega328P [22]. Para detecção de “zeros” da senóide, foi confeccionada uma placa de circuito impresso na configuração de *zero-crossing*, a qual fornece uma saída digital a cada vez que a tensão da fonte de alimentação do conjunto seja nula. O projeto do circuito foi desenvolvido e simulado no *software* ISIS Proteus, como mostrado nas Figs. 3 e 4.

Realizada a leitura do sinal da saída digital do circuito *zero-crossing*, o Arduino processa a informação e a compara com a entrada do acionamento manual, promovida por um botão incorporado a placa de circuito.

Fig. 3. Esquemático do circuito *zero-crossing*.Fig. 4. Simulação da saída digital do circuito *zero-crossing*.

Satisfeita as condições de programação, o Arduino envia um sinal lógico para o acionamento de um relé que, por sua vez, aciona o circuito de lâmpadas. A montagem e conexão dos equipamentos que constituem o sincronizador estão apresentadas na Fig. 5.

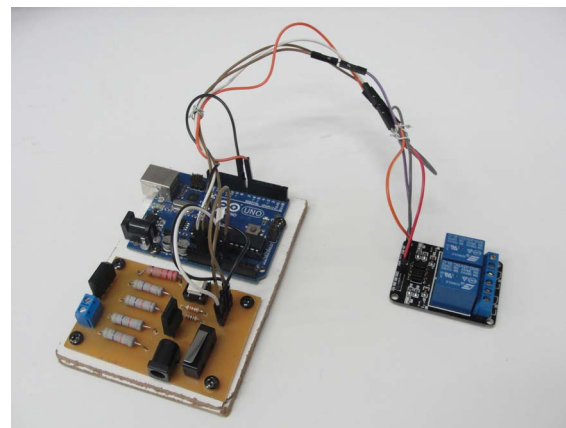


Fig. 5. Sincronizador de partida.

Um suporte com capacidade para 25 lâmpadas em paralelo e única tomada para alimentação foi utilizado. As leituras das correntes de pico foram obtidas com o auxílio de um osciloscópio do fabricante Agilent, modelo DSO-X 2024A e uma ponteira de corrente Tektronix, modelo A622. Ambos os equipamentos foram verificados e ajustados de acordo com o wattímetro de referência. O conjunto de equipamentos de medição está ilustrado na Fig. 6.

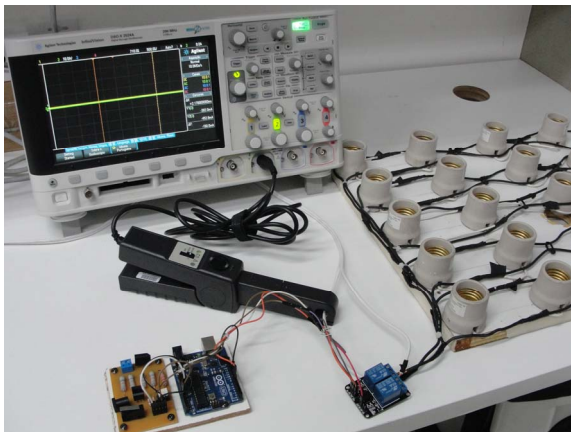


Fig. 6. Equipamentos para análise de transitórios.

O sincronizador foi programado para efetuar o disparo durante o pico positivo de tensão. O instante de disparo foi fixado durante o pico da senóide, pois nele observam-se as maiores correntes de partida, como descrito em [23]. O tempo de defasagem da detecção de zero até a partida foi definido experimentalmente, com uma carga puramente resistiva, já compensados os retardos devido ao processamento do controlador e comutação do relé.

III. ENSAIOS E RESULTADOS

Inicialmente o procedimento para cada ensaio realizado foi definido com o registro da maior corrente captada pelo medidor durante a fase transitória, a qual ficou definida e nomeada como corrente de pico (I_{pico}) do conjunto. Um exemplo de medição de corrente de pico com o osciloscópio é mostrado na Fig.7. A corrente de regime permanente (I_{rp}) foi obtida após um período de 30 minutos para estabilização da temperatura de trabalho do conjunto de lâmpadas. Os valores de correntes obtidos no cenário 1 estão apresentados na Tabela V.

TABELA V
RESULTADOS OBTIDOS – CENÁRIO 1

CENÁRIO 1 - LFC			
Ensaio	I_{rp} (mA)	I_{pico} (mA)	I_{pico}/I_{rp}
1.1	327	15960	48,81
1.2	1014	27055	26,68
1.3	2001	27457	13,72
1.4	2802	27306	9,75
1.5	3574	27256	7,63
1.6	4351	27256	6,26

Analisando-se os resultados obtidos no experimento demonstrado na Fig. 8, pode-se observar que, para a tecnologia LFC, a corrente de pico torna-se praticamente constante para ensaios a partir de três amostras. A razão entre a corrente de pico e a corrente de regime permanente tende a um decaimento exponencial conforme se adiciona lâmpadas do mesmo tipo a rede, como mostra a Fig. 9, caracterizando que quanto maior o número de lâmpadas acionadas no mesmo simultaneamente,

menor será a relação entre a corrente de pico e a corrente de regime do conjunto acionado.

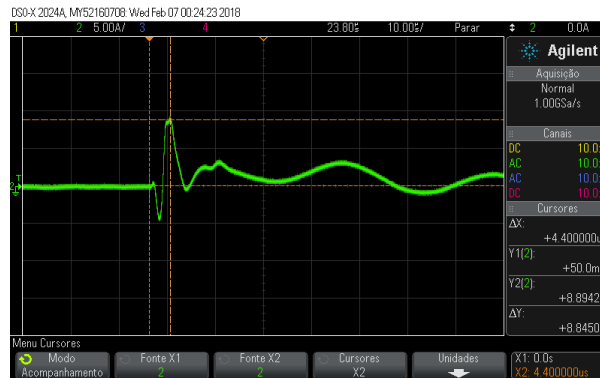


Fig. 7. Medição de corrente de pico com o osciloscópio.



Fig. 8. Ensaio do Cenário 1.

Cenário 1 - LFC

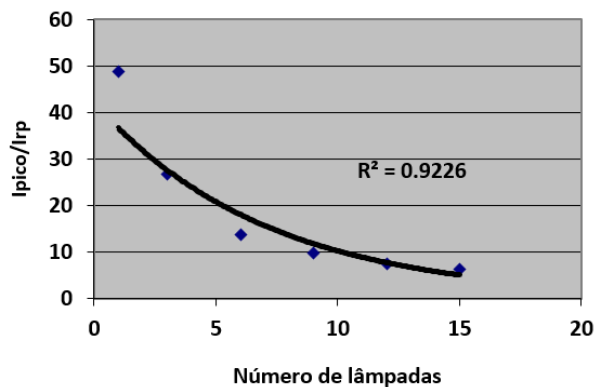


Fig. 9. Razão entre as correntes para o Cenário 1.

Para a tecnologia LED, demonstrada na Fig. 10, as correntes de pico também apresentaram um comportamento praticamente constante para ensaios com três amostras ou mais. Devido a corrente de regime permanente ser menor em relação às LFCs, as razões entre as correntes de pico e as de regime permanente se apresentaram maiores que no Cenário 1. Também se pode observar que a razão sofre um decaimento exponencial com o

aumento do número de lâmpadas submetidas à rede, tendendo a um valor de estabilidade. O gráfico da razão das correntes pelo número de lâmpadas inseridas na rede é apresentado no Gráfico da Fig.11. Entende-se que pelo comportamento apresentado na Fig.11 quanto maior o número de lâmpadas LED alimentadas simultaneamente menor será a relação entre a corrente de pico e a corrente de regime do conjunto acionado.



Fig. 10.- Ensaio do Cenário 2.

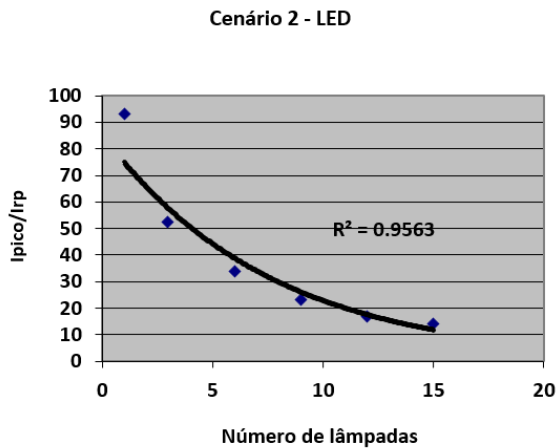


Fig.11. Razão entre as correntes para o Cenário 2.

Os valores de correntes obtidos no cenário 2 estão apresentados na Tabela VI.

TABELA VI
RESULTADOS OBTIDOS – CENÁRIO 2

CENÁRIO 2 - LED			
Ensaio	Irp (mA)	Ipico (mA)	Ipico/Irp
2.1	95	8894	93,33
2.2	284	14912	52,51
2.3	568	19397	34,15
2.4	857	19799	23,10
2.5	1144	19379	16,96
2.6	1430	19799	13,85

Os valores de correntes obtidos no cenário 3 estão apresentados na Tabela VII.

TABELA VII
RESULTADOS OBTIDOS – CENÁRIO 3

CENÁRIO 3 – LFC E LED			
Ensaio	Irp (mA)	Ipico (mA)	Ipico/Irp
3.1	1890	26633	14,09
3.2	2322	27035	11,65
3.3	2935	27035	9,21
3.4	3322	27035	8,14
3.5	3745	26884	7,18

Se considerada uma combinação entre as duas tecnologias, é possível observar que as correntes de pico se comportam com um valor quase constante, independentemente da quantidade de lâmpadas na rede como mostra o Gráfico da Fig.12.

Cenário 3 - LFC e LED

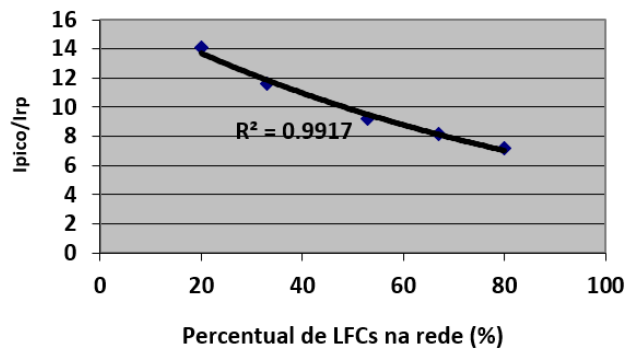


Fig. 12. Razão entre as correntes para o Cenário 3.

Assim como no Cenário 1, um maior percentual de LFCs implica em uma maior corrente de regime permanente e, conseqüentemente, em uma menor razão. Os ensaios para este cenário são demonstrados na Fig.13.



Fig. 13. Ensaio do Cenário 3.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento das tecnologias de lâmpadas LFC e LED, em especial no aspecto corrente de partida. Foram ensaiadas estas duas tecnologias por serem as mais aplicadas as residências. O número de amostras foi limitado caracterizando uma residência típica.

Pelos resultados apresentados em laboratório que em ambas as tecnologias isoladamente e em conjunto, a relação da corrente de pico com a corrente em funcionamento (regime permanente) diminui com o aumento do número de equipamentos conectados a rede.

Complementando esta análise, observa-se pelos ensaios que a combinação de LFC+LED proporcionam uma redução significativa na relação de correntes estudadas, em parte justificadas pelos dispositivos de controle que limitam as correntes de partida.

Apesar dos sistemas de iluminação não serem cargas significativas na potência instaladas das indústrias, em residências e pequenos comércios este impacto pode ser significativo e a energização de todos os circuitos de iluminação de uma única vez, como após um falta de energia da concessionária pode causar uma corrente transitória de alto valor causando atuação não desejada de proteção de sobrecorrente ou queima de fusíveis de equipamentos mais sensíveis/especiais.

Este estudo fornece também noções a respeito da magnitude que estes transitórios podem exigir dos componentes e, consequentemente, do sistema quando a comutação ocorre de forma coletiva. Estes resultados apresentam características individuais e em conjunto destes dois tipos de tecnologias e podem ser utilizados como base para estudos de dimensionamento e proteção.

Observa-se também que as lâmpadas LED possuem melhores resultados, caracterizados pelo constante processo de atualização tecnológica dos componentes e melhoria do produto final entregue ao consumidor pelos fabricantes.

Esta melhoria pode ser observada pelas constantes revisões realizadas nos documentos reguladores de qualidade em equipamentos de iluminação e que impactam diretamente no produto disponível para o mercado varejo quando este possui selos certificadores de organizações brasileiras

REFERÊNCIAS

- [1] Empresa de Pesquisa Energética, “Consumo de energia elétrica anual no Brasil”. Available from: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-189/Consumo%20anual%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20por%20classe%20\(nacional\)%20%E2%80%93%201995-2016.xls](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-189/Consumo%20anual%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20por%20classe%20(nacional)%20%E2%80%93%201995-2016.xls)>.
- [2] P. I. L. Ferreira, G. Fontgalland, G. F. Aragao, A. R. Z. Nascimento, R. C. S. Freire, e S. E. Barbin, “Conducted interference reduction from compact fluorescents lamps”, in *2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Beijing, 2010, p. 309–312. doi: 10.1109/APEMC.2010.5475650.
- [3] R. M. Abdalaal e C. N. M. Ho, “Characterization of commercial LED lamps for power quality studies”, in *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, Saskatoon, SK, 2017, p. 1–6. doi: 10.1109/EPEC.2017.8286200.
- [4] S. Uddin, H. Shareef, A. Mohamed, e M. A. Hannan, “An analysis of harmonics from LED lamps”, in *2012 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Singapore, Singapore, 2012, p. 837–840. doi: 10.1109/APEMC.2012.6238014.
- [5] Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, “Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005”, Available from: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BE6AA7196-E64E-4FC0-9567-994B77FB24DE%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>.
- [6] M.Z.Fortes, G.M.Tavarez, A.P.Fragoso, A.M.E.Pereira, A.C.S.Paula, “Analysis of CFL’s Power Quality in the Brazilian Market”, In: 2015 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), 2015. doi: 10.1109/PEPQA.2015.7168212.
- [7] M. Z.Fortes, A.M.E.Pereira, A.P.Fragoso, G.M.Tavarez, “Avaliação de LFC’s nos Limites de Tensão do PRODIST”, *Engevista*, Vol.16, p.283-291, 2014.
- [8] Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de São Paulo, “Comércio registra alta de mais de 100% nas vendas de lâmpadas LED”. Available from: <<http://www.fecomercio.com.br/noticia/comercio-registra-alta-de-mais-de-100-nas-vendas-de-lampadas-de-led>>.
- [9] C.S.M.Junior, C.Castilho, G.Moreto, H.C.da Silva, “Custo Benefício: Lâmpadas LED x Fluorescente x Incandescente”. *Revista TechnoEng*, 2011.
- [10] A. D’Ajuz, “Transitórios elétricos e coordenação de isolamento – aplicação em sistemas de potência de alta tensão”. EDUFF, 1987.
- [11] S.Fassbinder, “Uma análise de harmônicas no condutor neutro com lâmpadas LED –Parte 1”. *Revista Eletricidade Moderna*, Vol. 510, p.20-25, 2016.
- [12] A.M.Blanco, R. Stiegler, J.Meyer, “Power Quality disturbance caused by modern lighting equipment (CFL and LED)”, In: 2013 IEEE Grenoble Conference, 2013. doi: 10.1109/PTC.2013.6652431.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADEE, Níveis de Tensão. Disponível em <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/niveis-de-tensao>>. Acesso em 05 de Março.
- [14] M.Z.Fortes; J.E.V.Fassarella, A.P.Fragoso e G.M.Tavarez, “O Uso do Laboratório de Luminotécnica para Estudos de Qualidade de Energia”, *Revista de Ensino de Engenharia*, vol.32, pp.1-7,2013.
- [15] A.C.T.Carvalho, M.Z.Fortes, L.E.B.Sandoval, J.F.H.Guardiola, A.M.E.Pereira, A.P.Fragoso, “Analysis of the Voltage Variation Effects in LED Lamps”, *International Journal of Energy Science and Engineering*, Vol.4, p.17-28, 2018.
- [16] A.M.E.Pereira, A.C.S.Paula, A.P.Fragoso, M.Z.Fortes, G.M.Tavarez, “Considerations about LED Technology in Street Lighting Systems – Power Quality Analysis”, *Journal of Electrical Engineering and Electronic Technology*, Vol.5, 2016. doi: 10.4172/2325-9833.1000133.
- [17] A.M.E.Pereira, V.A.Teixeira, M.Z.Fortes, G.M.Tavarez, V.H.Ferreira, “Power Quality Analysis of Domestic Lamps Available in the Brazilian Market”, *WSEAS Transactions Circuits and Systems*, Vol.14, p.389-399, 2015.
- [18] J.E.V.Fassarella, M.Z.Fortes, A.P.Fragoso, G.M.Tavars, “Analysis and Suggested Solution of Power Quality Problems in Lighting Laboratory”, *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 12, p.1019-1026, 2014. doi: 10.1109/TLA.2014.6893995.
- [19] A. Mansoor, W. M. Grady, A. H. Chowdhury, M. J. Samotyj, “An Investigation of Harmonics Attenuation and Diversity Among Distributed Single-phase Power Electronic Loads”. *IEEE Transactions on Power Delivery*. Vol. 10, p.467-473,1995. doi: 10.1109/61.368365.
- [20] Oliveira et al., “A Power Quality Analysis and Thermal properties of the system associated with the change of Fluorescent Lamps for LED Lamps”, In: 24th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 2017. doi: 10.1049/oap-cired.2017.0621.
- [21] ABNT, *Iluminância de Interiores – NBR5413:1992*, 1992.
- [22] ARDUINO UNO REV3. Overview. Disponível em <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>
- [23] V.Cuk, J.F.G. Cobben, W.L. Kling, “Inrush Related Problems Caused by Lamps with Electronic Drivers and Their Mitigation”, In: 15th WSEAS international conference on Systems, 2011.



Juan Maia Camilo é graduando de Engenharia Elétrica na Universidade Federal Fluminense. Possui curso técnico em Automação Industrial pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (2014). Atualmente é bolsista no Laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal Fluminense - LABLUX. Tem experiência na área de Luminotécnica e qualidade de energia.



Antonio Marcos Estrela Pereira é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2011, Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações pela UFF (2017). Possui experiência em Luminotécnica e Qualidade de energia. Atualmente metrologista responsável pelo laboratório de eficiência do Laboratório de Luminotécnica (Lablux) na Universidade Federal Fluminense.



Adriano Pinheiros Fragoso é formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2008 e Mestre em Metrologia e Qualidade pelo Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (INMETRO) em 2015. Possui experiência na Luminotécnica e Qualidade de energia. Atualmente é gerente técnico do Laboratório de Luminotécnica (Lablux) na Universidade Federal Fluminense.



Márcio Zamboti Fortes (M'2010; SM'2017) recebeu o título de Mestre em Engenharia da Energia pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 2000 e de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) em 2007. Sua experiência profissional inclui atividades de gestão, projetos, manutenção, implantação e comissionamento. Atualmente é professor da Universidade Federal Fluminense (UFF) e desenvolve estudos nas áreas de: conservação e qualidade de energia, manutenção industrial, máquinas elétricas e acionamentos.



Keyla Rezende Cardoso recebeu o título de Engenheira Eletricista pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2017. Atualmente é discente do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET) da UFF, na área de Modelagem e Análise de Sistemas de Energia Elétrica. Atua também como estagiária no Laboratório de Luminotécnica da UFF (LabLux), na área de Compatibilidade Eletromagnética.