

Efeitos das Flutuações de Tensão em Lâmpadas LED e Fluorescentes Compactas

Ana Luísa do Amaral Batista, Bruna Rezende Lopes, Thiago Clé de Oliveira, José Maria de Carvalho Filho

Universidade Federal de Itajubá

nisaamaral@yahoo.com.br, bruna_lopes90@yahoo.com.br, thiagocle@unifei.edu.br, jmaria@unifei.edu.br

Resumo — Este artigo propõe realizar um estudo teórico e laboratorial, com o objetivo de avaliar o efeito das flutuações de tensão no funcionamento das lâmpadas LED e fluorescentes compactas, tecnologias que vêm substituindo gradativamente as lâmpadas incandescentes.

Palavras-chaves — flutuação de tensão, efeito *flicker*, lâmpadas LED e fluorescentes compactas.

I. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a maior parte das cargas elétricas são projetadas para operar sob condições nominais. Grandezas como tensão devem ser mantidas constantes para que tais cargas obtenham o melhor desempenho, não comprometendo a qualidade do serviço ou processo industrial. Portanto, a constância do valor eficaz de tensão torna-se um importante indicador de qualidade de energia elétrica (QEE).

As flutuações de tensão, um dos distúrbios na qualidade de energia, podem ser variações aleatórias, repetitivas ou esporádicas, do valor eficaz da tensão. De forma geral, podem-se relacionar as flutuações aleatórias e repetitivas com a operação de cargas não lineares que apresentam consumo de potência variável no tempo. Já as flutuações esporádicas estão relacionadas com manobras de redes ou de cargas.

O efeito *flicker* ou cintilação é definido como sendo o incômodo visual provocado pela variação do fluxo luminoso, sobretudo, das lâmpadas incandescentes, devido às flutuações de tensão provocadas pela operação de cargas que demandam da rede elétrica potências variáveis no tempo.

No entanto, sabe-se que as lâmpadas incandescentes estão caindo em desuso e, segundo o Portal do Planalto, até junho de 2017 serão totalmente substituídas por outros tipos de lâmpadas, sobretudo as lâmpadas LED e as fluorescentes compactas, que se demonstram menos sensíveis às flutuações de tensão. Estas últimas apresentam maior eficiência e menor consumo de energia [1].

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito das flutuações de tensão nas lâmpadas LED e fluorescentes compactas, tecnologias que vêm substituindo gradativamente as lâmpadas incandescentes.

II. EFEITO *Flicker*

A. Conceituação

O fenômeno conhecido por cintilação ou efeito *flicker* refere-se à percepção humana quanto à variação luminosa

causada pela flutuação de tensão. Esse fenômeno está relacionado à sensibilidade e à reação de cada indivíduo.

Demonstrou-se, a partir de testes, que a sensibilidade do olho humano às variações luminosas varia entre 0 e 30 Hz, sendo máxima em 8,8 Hz [2].

Como a cintilação está relacionada à reação e à sensibilidade de cada indivíduo, os efeitos observados também variam de uma pessoa para a outra. Para um observador sem problemas neurológicos, o efeito *flicker* pode causar dificuldade na leitura, desconforto visual, dor de cabeça, estresse mental, perda de concentração, entre outros sintomas. Também pode atingir o sistema nervoso central e provocar disfunções neurológicas, uma vez que o cérebro armazena as variações luminosas. Já para pessoas propensas à epilepsia os níveis fortes de cintilação podem agravar a situação e deflagrar uma crise epilética.

As perturbações causadas pela cintilação estão também relacionadas à amplitude, à frequência e ao tempo de exposição do indivíduo [3].

B. Método Padrão

Historicamente os principais métodos utilizados para quantificar o efeito *flicker* foram o britânico e o francês e, atualmente, o método padrão. Todos eles utilizam a lâmpada incandescente como referência para quantificar o efeito *flicker* [3].

O método padrão estabelece um procedimento específico de processamento da tensão para avaliar indiretamente os efeitos das flutuações estabelecendo uma curva limite para o nível de *flicker*. Essa metodologia é internacionalmente recomendada pela IEC- Comissão Internacional de Eletrotécnica, e o medidor de *flicker* proposto é chamado de *Flickermeter* [2].

Para medição do *flicker* tem-se um diagrama composto por cinco blocos conforme Fig. 1 e de acordo com o método padrão [4].

O bloco 1 possui a função de normalizar os valores de tensão de entrada pelo valor da média móvel do último minuto, expressando-os em termos percentuais de valor de referência. Logo, variações lentas não contribuem para o cálculo da cintilação.

O bloco 2 possui a função de extrair o sinal modulante, responsável pelas flutuações de tensão existentes no sinal de tensão normalizada. A demodulação deve ser realizada a partir do quadramento do sinal, pois esse processo simula a forma como são produzidas as variações do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas incandescentes.

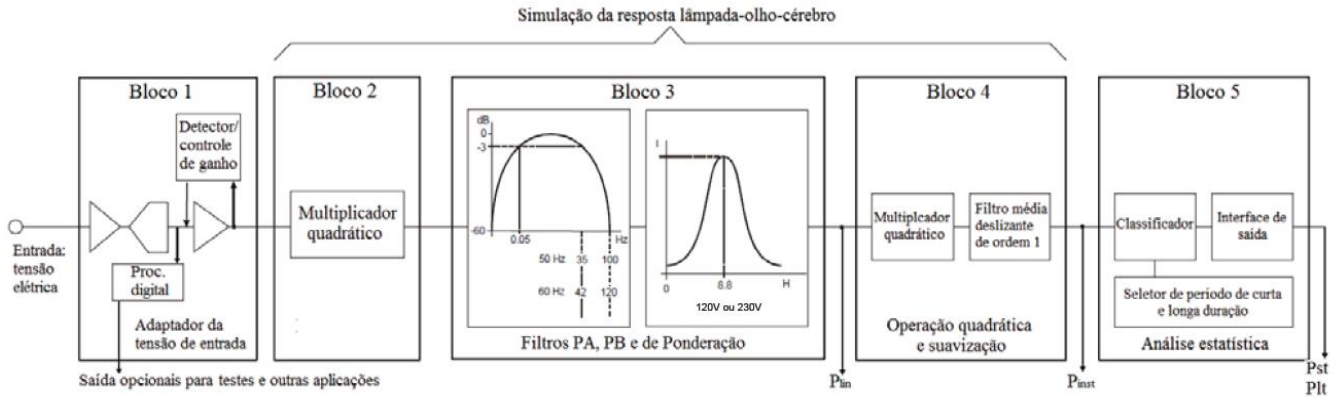


Fig.1 - Modelagem do Método Padrão.

O bloco 3 é responsável por simular o comportamento olho/lâmpada/cérebro. É composto por três filtros em série. O primeiro possui a função de eliminar o nível CC do sinal de saída do estágio anterior. O segundo elimina os componentes de dupla frequência da portadora. Já o terceiro filtro simula a resposta em frequência de uma lâmpada incandescente combinada ao sistema visual humano.

O bloco 4 possui a função de simular a percepção não linear do comportamento do sistema olho-cérebro de acordo com as variações na iluminação. Para isso utiliza a média do valor quadrático do sinal de saída do estágio 3, denominado como sensação instantânea de flicker (Sf).

E, finalmente, o bloco 5 consiste em obter o histograma dos níveis de ocorrência de Sf, aplicando um tratamento estatístico a partir do qual se calcula a função de probabilidade cumulativa complementar (FPCC). Com esses valores é possível estabelecer os indicadores de flicker, o Pst e o Plt [2].

1) Indicador Pst (short-term probability)

É um indicador de severidade de flicker de curto prazo. Segundo a norma IEC61000-4-15, para o cálculo de Pst utiliza-se (1).

$$Pst = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_1 + 0,0657 P_3 + 0,28 P_{10} + 0,08 P_{50}} \quad (1)$$

Onde:

Pi são os percentis da classificação estatística ou níveis de Sf (sensação instantânea de flicker) ultrapassados durante i% do tempo [2].

Este indicador é adequadamente empregado para análise de distúrbios causados por fontes individuais [4].

Esse indicador é calculado utilizando percentis, que são níveis da grandeza sob análise que são observados durante um determinado percentual do tempo total ou do conjunto de amostras, obtidos a partir do Estágio 5. O período de observação para calcular o Pst deve ser de 10 minutos [5].

2) Indicador Plt (long-term probability)

É o indicador de severidade de longo prazo e, segundo a norma IEC 61000-4-15, o indicador Plt corresponde a um valor representativo de doze amostras consecutivas de Pst, obtido conforme (2).

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{k=1}^{12} P_{STk}^3} \quad (2)$$

É usado para análise de distúrbios quando há diversas fontes perturbadoras simultaneamente ou cargas com longos e vários ciclos.

Esse indicador é obtido a partir da observação correspondente a uma janela de 2 horas de medição contínua [5].

C. Limites dos indicadores

Para o indicador Pst deve ser considerado PstD95%, que representa o valor do indicador Pst diário que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de um dia.

O maior valor do indicador PstD95% obtido nos sete dias de medição resulta no indicador que deve ser comparado com os valores de referência recomendadas pelo PRODIST.

O indicador Plt deve ser considerado o PltS95%, que representa o valor do indicador Plt semanal que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de uma semana.

O maior valor dos indicadores obtido nos sete dias da campanha deve ser comparado com os valores de referência [6].

A Tabela I apresenta os valores de referência, ou seja, as faixas de valores que devem ser comparadas com os indicadores medidos [6].

O valor do Fator de Transferência (FT) é descrito na Tabela II [6].

D. Limitações do método padrão

De acordo com o Portal do Planalto, as lâmpadas incandescentes estão caindo em desuso e até junho de 2017 deverão ser substituídas por outros tipos de lâmpadas, sobretudo as lâmpadas LED e as fluorescentes compactas, que são menos sensíveis às flutuações de tensão. Estas últimas apresentam maior eficiência e menor consumo de energia [1].

Sabe-se que o Flickermeter apresenta resultados corretos apenas quando a medição é feita com lâmpadas incandescentes. Logo, quando a iluminação é feita através de tecnologias distintas, como lâmpadas LED e fluorescentes compactas, os resultados obtidos não são válidos como a própria norma diz.

TABELA I. VALORES DE REFERÊNCIA.

Valor de referência	PstD95%	PltS95%
Adequado	$< \frac{1 pu}{FT}$	$< \frac{0,8 pu}{FT}$
Precário	$1 a \frac{2 pu}{FT}$	$0,8 a \frac{1,6 pu}{FT}$
Crítico	$> \frac{2 pu}{FT}$	$> \frac{1,6 pu}{FT}$

TABELA II. FATORES DE TRANSFERÊNCIA

Tensão Nominal do Barramento	FT
Tensão do barramento ≥ 230 kV	0,65
$69 \text{ kV} \leq$ Tensão do barramento < 230 kV	0,8
Tensão do barramento < 69 kV	1,0

Os resultados incorretos devem-se ao fato de que as lâmpadas possuem tempos de resposta diferentes às variações de tensão. As lâmpadas incandescentes possuem tempo de resposta de 115 ms, já as fluorescentes compactas 20 ms. As LED possuem um tempo ainda menor e podem variar dependendo do circuito usado para acionamento, podendo ser um retificador ou outra tecnologia mais complexa e melhor regulada [7].

A partir desse cenário é importante avaliar como as lâmpadas LED e fluorescentes compactas irão reagir quando submetidas às flutuações de tensão.

III. METODOLOGIA

A. Estudo laboratorial

Para avaliar o efeito das flutuações de tensão no funcionamento das lâmpadas LED e fluorescentes compactas foram realizados experimentos em laboratório do CERIn - Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes, na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

Os testes foram realizados em uma câmara escura para reproduzir um ambiente controlado e sem interferência de luminosidade externa. No interior da caixa foi instalado um bocal para a conexão das lâmpadas e um foto-sensor.

As lâmpadas utilizadas foram novas e de 60 Hz. A escolha da potência está de acordo com a equivalência para 40 e 60 W das lâmpadas incandescentes, informação obtida através dos sites dos fabricantes além de ser informada nas respectivas embalagens das lâmpadas. Os testes foram realizados em lâmpadas de 120 e 220 V.

Assim as lâmpadas utilizadas foram:

- LED 5 e 10 W, ambas bivolt, marca: Golden [8];
- Fluorescente compacta 11 e 15 W, ambas em 120 e 220 V, marca: Golden [9];

Incandescente 40 e 60 W, ambas em 120 e 220 V, marca: Osram [10];

O sensor de luminosidade usado foi o ISL 29020, pois fornece uma resposta muito próxima à resposta do olho humano. Na Fig. 2 a curva verde corresponde à resposta do olho humano que tem características semelhantes da resposta do sensor para luz ambiente, apresentada na curva vermelha. Já a curva pontilhada retrata a resposta do sensor com a incidência de luz infravermelha (IR), que não foi usada neste estudo [11].

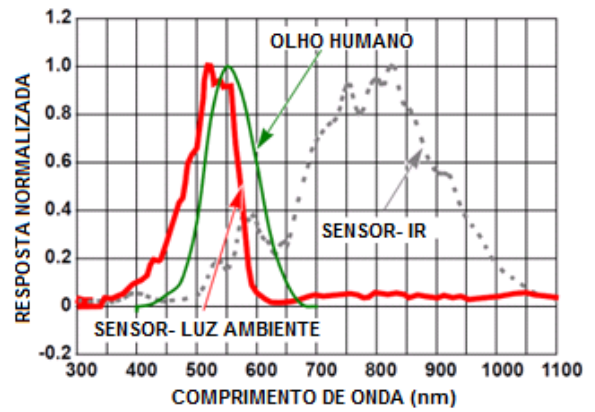


Fig.2 – Resposta espectral para detecção de luz ambiente e no sensor.

Destaca-se que saída de tensão do sensor é uma função linear da luz detectada no ambiente. Na Fig. 3, a resposta das lâmpadas incandescente, fluorescente e halógena ao sensor são comparadas utilizando os parâmetros de ALS (Sensibilidade à luz ambiente) calculada e a saída ADC (Conversor analógico-digital) no eixo das ordenadas, ao lux medido no eixo das abscissas [11].

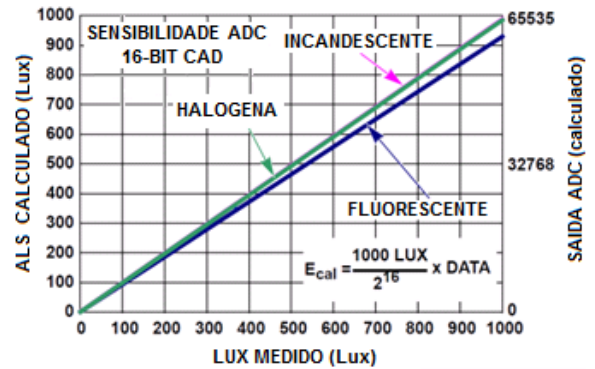


Fig.3 – Sensibilidade de três fontes de luz.

Dentro da faixa de luminosidade utilizada, que vai até 650 lux, o comportamento do sensor é linear e pratica-mente idêntico para as lâmpadas incandescente e fluo-rescente compacta.

A resposta do sensor depende de parametrizações feitas através de um código binário. Este código inserido em uma placa chamada Arduino Uno, apresentado na Fig. 4, controla o sensor permitindo a aquisição de dados para o computador [12].



Fig.4 – Placa Arduino Uno.

Com as parametrizações do sensor obtêm-se os valores de fluxo luminoso contínuo, captando a luz ambiente sob uma

taxa de 117 medidas por minuto em um fundo de escala de 64.000 lux [11].

A alimentação das lâmpadas foi realizada por uma fonte trifásica programável *California Instruments* (6000L-PT), onde foi possível controlar a variação de tensão aplicada, bem como a frequência desta variação, através de um software (*Cigui*) [13].

A Fig. 5 apresenta o esquema de ligação dos aparelhos de teste e a Fig. 6 apresenta a ligação real dos equipamentos utilizados no experimento.

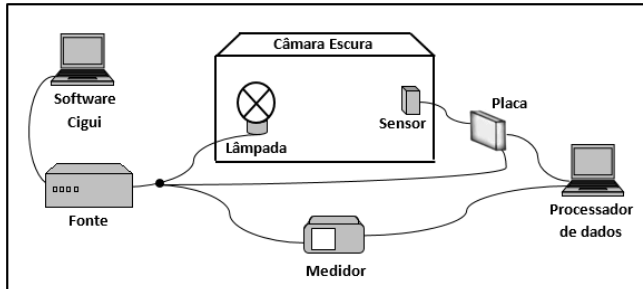


Fig.5 - Esquema de conexão dos equipamentos utilizados no experimento.

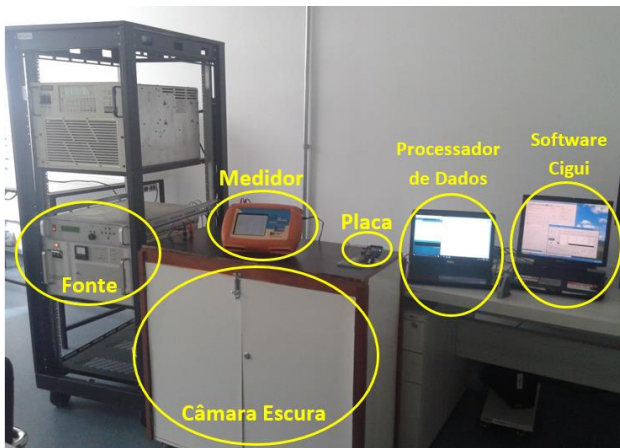


Fig.6- Disposição dos equipamentos utilizados no experimento.

Os experimentos foram realizados seguindo a norma IEC 61000-4-14 [14]. Assim as flutuações de tensão foram retangulares. A Fig. 7 apresenta a variação da tensão produzida pelo software *Cigui* e aplicada pela fonte na lâmpada, que foi previamente aquecida por 15 minutos na tensão nominal do ensaio [15].

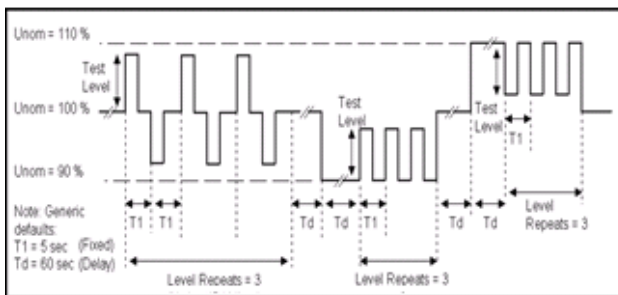


Fig.7 - Variação da tensão aplicada pela fonte na lâmpada.

B. Estudo de caso – Medição de Campo

Em uma residência da cidade de Itajubá-MG foi observado variação na luminosidade das lâmpadas incandescentes. Para avaliar as possíveis causas da flutuação de tensão foi feita

uma análise das cargas próximas ao local onde o distúrbio foi detectado.

Assim observou-se que a residência está próxima a locais que possuem cargas que demandam potência variável, como máquinas de xerox e elevadores. Logo optou-se por realizar medição de *flicker* no local para avaliar se indicadores estão dentro ou fora dos limites estabelecidos.

A medição foi realizada com o medidor *PowerGuide 4400*, da *Dranetz*, e teve início dia 19/06/2015 e término dia 26/06/2015, ou seja, duração de uma semana, conforme é exigido pela norma [16].

O equipamento foi instalado no quadro de distribuição trifásico da residência selecionada.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Estudo laboratorial

As formas de onda apresentadas nas Fig. 8 e 9 foram obtidas através do medidor *PowerGuide 4400* da *Dranetz*. Essas formas de ondas foram geradas pelo software *Cigui*, levando em conta flutuações retangulares nas tensões de 120 V e 220 V, determinadas pela norma IEC 6100-4-15 [4].

A Fig. 8 apresenta o gráfico de Tensão x Tempo obtido para o nível de tensão de 120 V, gerando um *Pst* de 3,9332, registrado pelo medidor de *flicker*.

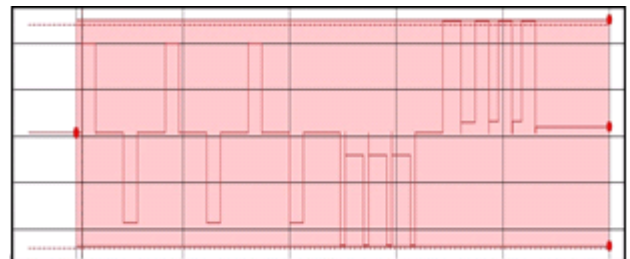


Fig.8 – Variação da tensão aplicada pela fonte na lâmpada para tensão nominal de 120 V.

Já a Fig. 9 apresenta o gráfico de Tensão x Tempo obtido para o nível para tensão de 220 V, gerando um *Pst* de 3,9932, registrado pelo medidor de *flicker*.

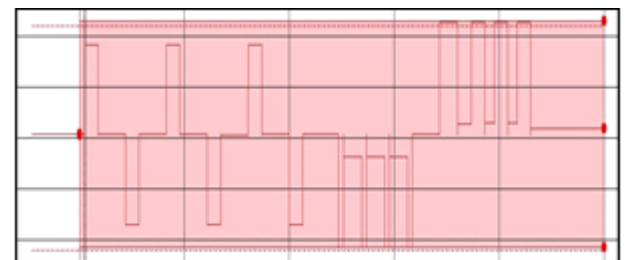


Fig.9 - Variação da tensão aplicada pela fonte na lâmpada para tensão nominal de 220 V.

As formas de onda apresentadas nas Fig. 9 e Fig. 10 foram aplicadas às lâmpadas e a partir dos valores de luminosidade extraídos do sensor foram obtidos os gráficos de Luminosidade x Tempo.

1) Lâmpadas incandescentes

Para as lâmpadas incandescentes foram consideradas duas potências, 60 e 40 W, e dois níveis de tensão, 120 e 220 V.

A Fig. 10 mostra a variação da luminosidade dessas lâmpadas às variações de tensão aplicadas e a Fig. 11 mostra o histograma das variações de luminosidade.

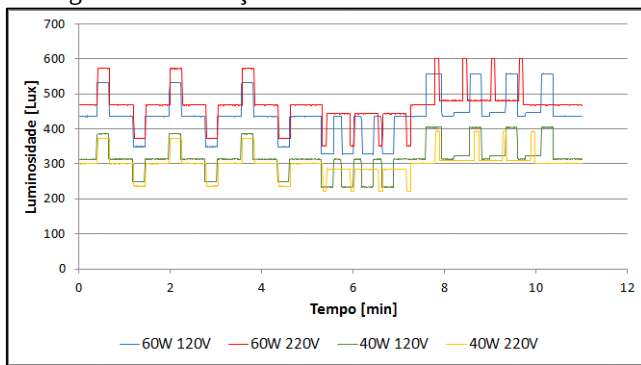


Fig.10 - Variação de luminosidade na lâmpada incandescente.

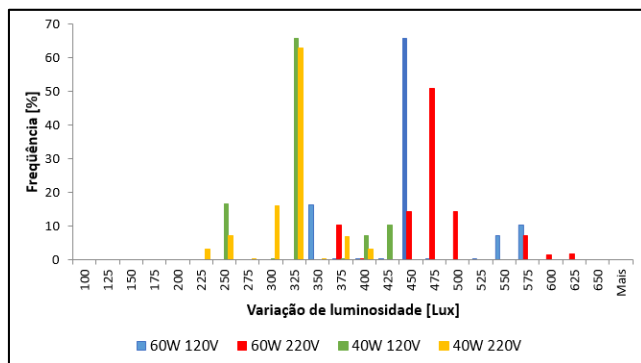


Fig.11 - Histograma da variação de luminosidade na lâmpada incandescente.

Como observado, na Fig. 10 a forma de onda da luminosidade da lâmpada incandescente é bem similar à da variação de tensão.

A partir do histograma da Fig. 11 nota-se que há uma grande dispersão dos resultados e que as lâmpadas de mesma potência possuem a mesma variação de luminosidade. Para as lâmpadas de 60 W a variação de luminosidade é de, aproximadamente, 230 lux e para as de 40 W, 175 lux.

Nota-se que a tensão nominal da lâmpada não influencia consideravelmente na luminosidade. Somente a potência é capaz de variar a intensidade da luz.

2) Lâmpadas fluorescentes compactas

Para as fluorescentes compactas foram consideradas duas potências, 15 e 11 W, e dois níveis de tensão 120 V e 220 V. Porém, não foi possível realizar o experimento com a lâmpada de 11 W no nível de tensão de 220 V, pois a lâmpada não foi encontrada para aquisição.

A Fig. 12 mostra a resposta dessas lâmpadas às variações de tensão aplicadas e a Fig. 13 mostra o histograma das variações de luminosidade.

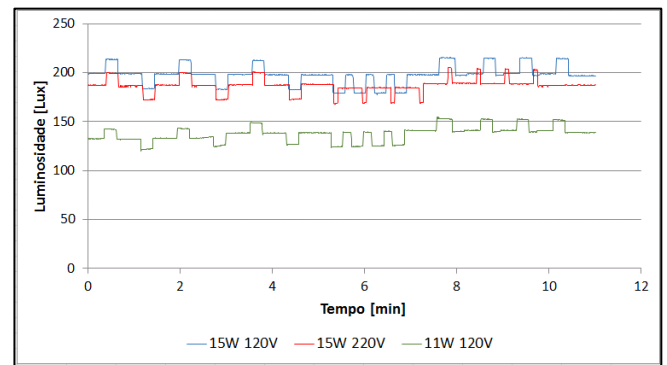


Fig.12 - Variação de luminosidade na lâmpada fluorescente compacta.

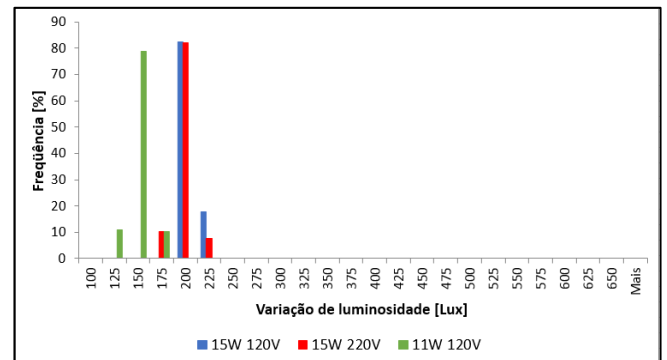


Fig.13 - Histograma da variação de luminosidade na lâmpada fluorescente compacta.

Para as lâmpadas fluorescentes compactas, pela Fig. 12 é possível notar que a variação da luminosidade também é influenciada pela flutuação de tensão.

Porém é possível notar, a partir do histograma Fig. 13, que a variação de luminosidade se apresenta com menor intensidade, isto é, uma menor dispersão quando comparadas com as lâmpadas incandescentes.

Para as lâmpadas de 15 W a variação de luminosidade é de, aproximadamente, 38 lux e para a de 11 W e de 34 lux.

Nota-se também que a tensão nominal da lâmpada não influencia consideravelmente na variação de luminosidade. Somente a potência é capaz de variar a intensidade da luz, o que já era esperado.

3) Lâmpadas LED

Para as lâmpadas LED foram consideradas duas potências, 10 e 5 W, e dois níveis de tensão 120 e 220 V.

A Fig. 14 mostra a variação da luminosidade dessas lâmpadas às variações de tensão aplicadas e a Fig. 15 mostra o histograma das variações de luminosidade.

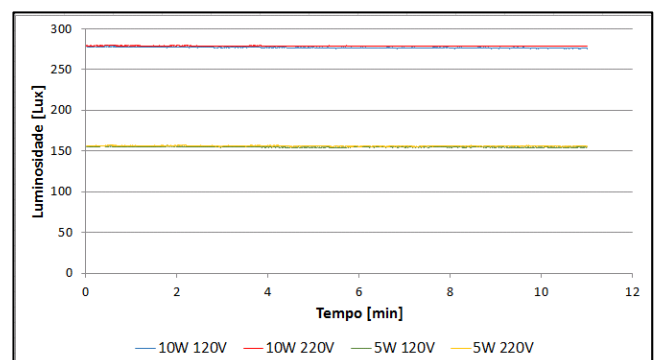


Fig.14 - Variação de luminosidade na lâmpada LED.

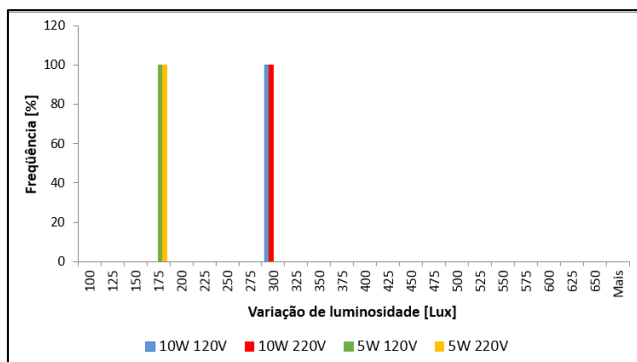


Fig.15 – Histograma da variação de luminosidade na lâmpada LED.

Já para as lâmpadas LED não foi observado nenhuma variação de luminosidade devido à flutuação de tensão, pois apresentam um tempo de resposta muito inferior ao da lâmpada incandescente. Esse tempo pode variar dependendo do driver utilizado para acioná-las, conforme seção II.4 deste trabalho.

Também nota-se que a tensão nominal da lâmpada não influencia na variação de luminosidade.

V – CONCLUSÃO

Sabendo-se que as lâmpadas incandescentes vêm sendo substituídas e aos poucos eliminadas do mercado, foi necessário analisar o comportamento das novas tecnologias de iluminação frente às flutuações de tensão.

Nos testes laboratoriais observou-se que as lâmpadas fluorescentes ainda apresentam variação na luminosidade quando submetida a uma flutuação de tensão, porém com uma intensidade reduzida, se comparada a incandescente. Essa diminuição na severidade do evento é explicada pela diferença em seus tempos de resposta. O da lâmpada incandescente é 115 ms, já o da fluorescente compacta é de 20 ms.

Nas lâmpadas LEDs, a variação de luminosidade não é perceptível devido ao seu tempo de resposta que, quando comparado a incandescente e a fluorescente compacta, é baixo e pode variar dependendo do circuito usado para seu acionamento. A ausência de variação de luminosidade também é explicada devido ao fato de somente na tecnologia LED existirem conversores de alta frequência que adequam os níveis de tensão e controlam a corrente de saída [17].

Porém, como as lâmpadas LEDs apresentam conversores de alta frequência, elas injetam na rede elétrica outros distúrbios como harmônicos e componentes DC. Esses distúrbios podem criar ou agravar problemas da qualidade de energia elétrica que devem ser estudados.

Com base nessas observações, conclui-se que o método atualmente utilizado para medição de *flicker*, o *Flickermeter*, deve ser modificado, para atender as novas tecnologias, pois atualmente, o *Flickermeter* modela o sistema simulando a resposta do olho-cérebro e da lâmpada incandescente, apresentando medidas corretas apenas quando utilizam-se estas lâmpadas.

Já há diversos modelos alternativos propostos, entre eles modelagem analítica das lâmpadas, análise espectral da flutuação de tensão, resposta em frequência para modelo olho-cérebro, redes neurais, resposta fisiológica do olho

humano entre outros. Porém os resultados até então obtidos são limitados ou pouco viáveis [7].

Uma nova análise de *flicker* feita por medições diretas através da variação luminosa é uma das alternativas que tem mostrado ser mais eficiente e promissora. Esse novo modelo ainda está sendo desenvolvido e analisado [18].

IV. REFERÊNCIAS

- [1] Portal do Planalto. “Lâmpadas incandescentes sem nível de eficiência serão retiradas do Mercado.” Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/imprensa/noticias-de-governo/lampadas-incandescentes-sem-niveis-minimos-de-eficiencia-comecam-a-ser-retiradas-do-mercado-gradativamente>. Acesso em: 20/04/2015.
- [2] S. M. Deckmann e J. A. Pomilio, “Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica- Relatório parcial- Capítulo 3”, 14p, 2010.
- [3] R. A. Monteiro e T. F. Prado, “Ferramenta Computacional para Análise de Cintilação Luminosa”. Trabalho de Graduação. UnB, 2006.
- [4] IEC, “Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications,” IEC 61000-4-15 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15, ed. 2, draft, 2008.
- [5] J. R. Macedo, G. C. D. Souza, E. Trarbach, G. P. Colnago, J. L. F. Vieira e D. S. L. Simonetti, “Modelagem, Construção e Análise de desempenho do flickermeter IEC”. Revista Controle & Automação. Volume 22, nº2, 2011.
- [6] Agência Nacional de Energia Elétrica, “Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica” Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, revisão 4, vigência 01/02/2012.
- [7] G. P. Colnago, J. R. Macedo Jr., J. L. F. Vieira, “Desenvolvimento e Implementação de um Aparelho Medidor de Flicker por Medição Direta da Variação Luminosa”. Eletrônica de Potência (Impresso), v. 18, p. 1235-1244, 2013”.
- [8] Golden Ultraled . Disponível em: <http://www.lampadasgolden.com.br/pt/produtos/ultraled> Acesso em: 24/07/2015.
- [9] Golden Fluorescentes. Disponível em: <http://www.lampadasgolden.com.br/pt/produtos/fluorescentes>. Acesso em 20/06/2015.
- [10] Osram Incandescentes. Disponível em: http://www.osram.com.br/osram_br/produtos/lampadas/lampadas-incandescentes/index.jsp Acesso em: 24/07/2015.
- [11] Intersil: ISL29020, Intersil Corporation, Milpitas, CA- Datasheet, pdf, 2009.
- [12] Arduino Uno. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> Acesso em: 13/07/2015.
- [13] California Instruments "Instruction Manual 2750L-P/4500L-P/6000L-P Revision K, August 2001"
- [14] IEC, “Testing and measurement techniques - Volt-age fluctuation immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase” IEC 61000-4-14 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-14, ed. 2, draft, 2009.
- [15] Cígui32 Help "IEC 61000-4-14 Voltage Fluctuations, 2006"
- [16] Dranetz-BMI "PowerGuide® 4400 USER'S GUIDE, 2005"
- [17] Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs). Disponível em: http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/7/TDE-2009-02-12T120630Z1881 /Publico/RAFAELADAIMEPINTO.pdf Acesso em: 05/10/2015.
- [18] G. P. Colnago, J. R. Macedo Jr., J. L. F. Vieira, “Implementation of a light Flickermeter in a low cost embedded system”. Publicado em IET Science, Measurement e Technology, 2014”.