

# Análise dos Efeitos da Flutuação de Tensão sobre Lâmpadas por Medição Luminosa Direta

Guilherme Piazzentini Colnago

Instituto Federal do Espírito Santo - IFES - Campus Vitória, Coord. Eletrotécnica, Av. Vitória, 1729, Vitória, ES

José Rubens Macedo Jr.

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Dept. Eng. Elétrica, Av. João Naves de Ávila, 2160, Uberlândia, MG

José Luiz de Freitas Vieira

Universidade Federal do Espírito Santo UFES, Dept. Eng. Elétrica, Av. Fernando Ferrari, 514, Vitória, ES

**Resumo** — Este artigo apresenta resultados experimentais da análise dos efeitos da flutuação de tensão sobre diferentes tipos de lâmpadas. Foram submetidas aos testes básicos da norma IEC 61000-4-15 as lâmpadas residências de tecnologias comuns. A medição foi feita de forma direta a partir da cintilação, sendo usado um medidor baseado no modelo do *Flickermeter* da IEC. Os resultados demonstraram que lâmpadas não incandescentes têm níveis cintilação distintas, o que não é previsto pela norma. O artigo faz uma breve apresentação de um *Flickermeter* proposto pelos autores e que visa uso prático (não só acadêmico).

**Palavras-chaves** — Cintilação, Flicker, Flickermeter, Flutuação de Tensão, Lâmpada, Medidor, Qualidade da Energia Elétrica.

## I. INTRODUÇÃO

Um dos indicadores da análise da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) é o da flutuação de tensão. No Brasil, os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST) [1] tratam desse distúrbio no seu Módulo 8, que é dedicado à QEE. Ele normatiza a forma de medição da flutuação, assim como os parâmetros devem ser extraídos para que se obtenha o indicador de flutuação.

Para a medição o PRODIST adota os procedimentos da *International Electrotechnical Commission* (IEC), definidos na norma IEC 61000-4-15 [2]. A norma define desde as características básicas de um medidor aos protocolos de testes, com formas de onda para validação. O objetivo do procedimento é medir o grau de percepção da visão humana à cintilação de uma lâmpada incandescente provocada pela flutuação de tensão. A cintilação pode provocar efeitos fisiológicos adversos aos indivíduos submetidos continuamente a ela.

Apesar de reconhecimento e uso internacional, a norma apresenta um aspecto problemático. A medição é baseada na simulação do comportamento *lâmpada-olho-cérebro* à flutuação. A partir disso, o medidor mensura os efeitos da cintilação. Nesse ponto estão os problemas. A cintilação, da pers-

pectiva do homem, é mensurada de forma indireta a partir da aplicação da flutuação de tensão em um modelo. Considerando que o processo considera apenas o efeito da lâmpada incandescente (LI), os resultados da medição não são válidos para locais com lâmpadas diferentes, como a lâmpada fluorescente compacta (LFC) e as lâmpadas de LED (LLED).

Nesse contexto ressalta-se que União Europeia determinou a substituição das LI convencionais por outras mais eficientes, como a LFC e a LLED. Em 2012 entrou em vigor a “proibição” da fabricação de LI [3]. No Brasil há uma portaria que proíbe a comercialização das LI de grande potência a partir de 31/12/2012 e elimina o restante até 30/06/2016 [4] – as ineficientes. Considerando o exposto, o artigo analisa os efeitos da flutuação de tensão sobre lâmpadas das diversas tecnologias utilizadas no Brasil. Com o processo de substituição das LI por LFC e LLED, torna-se pertinente a análise dos efeitos da flutuação nos sistemas de iluminação baseados nessas tecnologias. O artigo apresenta o modelo de um medidor que está sendo desenvolvido pelos autores. Ele tem o objetivo de mitigar a dependência da medição do tipo de lâmpada e fundamenta-se na medição direta da luz.

## II. FLICKERMETER DA IEC

O *flicker* (cintilação) pode causar de desconforto visual a disfunções neurológicas. O observador submetido continuamente a ele pode sentir sintomas como dor de cabeça, cansaço visual, estresse mental e perda de concentração.

O estudo do *flicker* é antigo, sendo reportado já na década de 30, na qual as primeiras curvas de percepção foram levantadas [5]. Ele é causado por cargas pesadas e intermitentes, como um alto-forno, por exemplo.

Apesar da forma de medição não ser recente, é complexa, pois tenta mensurar *flicker* na perspectiva da visão humana a partir da flutuação-*flicker*. Atualmente os medidores de *flicker* seguem as definições da norma IEC 61000-4-15 [2], que estabelece as especificações funcionais para o desenvolvimento de um medidor. O aparelho, denominado *Flickermeter*, mede o grau provável de percepção ao *flicker*, observado por um indivíduo. Seu diagrama de blocos é apresentado na Fig. 1 e é composto por 5 blocos.

Os autores agradecem ao grupo de QEE do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia pelo apoio aos testes, além da atenção dispensada. Também agradecem à Coordenadoria de Eletrotécnica do Instituto Federal do Espírito Santo (Campus Vitória) pela colaboração com equipamentos.

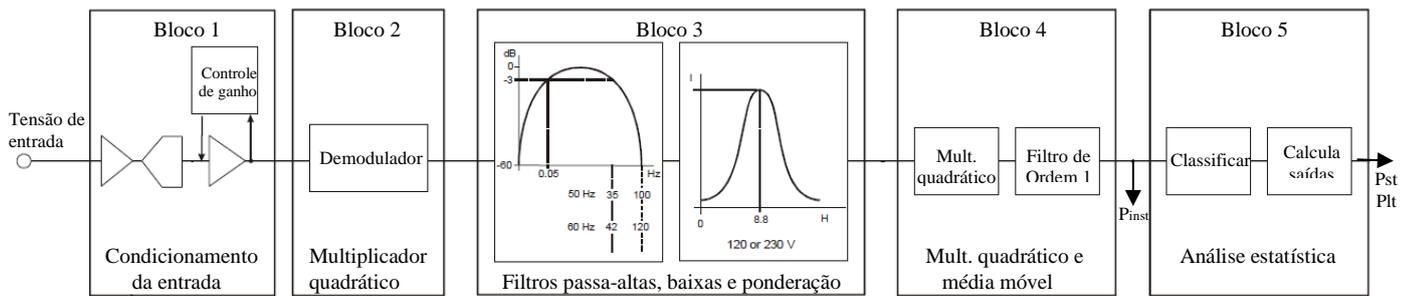


Fig. 1. Diagrama de blocos do Flickermeter IEC.

O bloco 1 é responsável pela leitura e normalização do sinal de tensão, que é aplicado nos blocos 2, 3 e 4. Estes simulam a resposta lâmpada-olho-cérebro à flutuação. O bloco 2 simula o efeito da LI (há uma relação aproximadamente quadrática entre fluxo luminoso e tensão) e demodula o sinal normalizado – operação é feita em conjunto com o bloco 3. O bloco 3 é composto por filtros passa-altas, passa-baixas e de ponderação da resposta em frequência do sistema lâmpada-olho-cérebro. O bloco 4 simula o efeito da persistência visual com um multiplicador quadrático e um filtro de média móvel. Sua saída resulta na sensação instantânea do flicker,  $P_{inst}$ .  $P_{inst}$  com valor unitário indica o limiar da percepção do flicker. O bloco 5 é um classificador estatístico que resulta nos valores dos indicadores de severidade do flicker.

Os indicadores de severidade são: Pst (curta duração), que é calculado em períodos da ordem de minutos, e Plt (longa duração), que é contabilizado a partir do Pst para períodos da ordem de horas. A norma IEC não define os limites de tolerância de Pst e Plt. No Brasil o PRODIST utiliza valores ajustados de Pst e Plt para estabelecer faixas adequadas, precárias e críticas de severidade para flutuação de tensão [1] – note que o indicador é de flutuação de tensão, porém os cálculos são baseados nos efeitos da severidade do flicker.

A norma IEC apresenta uma série de procedimentos para validar o Flickermeter desenvolvido. Neste trabalho o teste mais importante (na perspectiva dos autores, pois resulta na severidade do flicker) é definido na tabela 5 da norma IEC, na qual um conjunto de flutuações pré-definidas produzem Pst equivalente a 1pu. A Tabela I compila esses valores (para LI de 120V/60W/60Hz), sendo a 1ª coluna o período da modulação com onda quadrada e a 2ª coluna o nível relativo da amplitude de flutuação em  $\Delta V/V$ .

TABELA I. FLUTUAÇÃO PARA $PST = 1 \pm 0,05PU$	
Variações por minuto	Flutuação de tensão (%)
1	3,181
2	2,564
7	1,694
39	1,040
110	0,844
1.620	0,548
4.800	4,837

Apesar de funcional para sistemas baseados em LI, a norma não conduz, necessariamente, ao desenvolvimento de Flickermeters coerentes. Medidores de fabricantes distintos podem ter resultados discrepantes em uma mesma medição, mesmo atendendo o protocolo [6][7] – possivelmente devido a diferenças na implementação. A atual revisão que digitalizou o Flickermeter [2] não resolve a questão. Maiores deta-

lhes a respeito da implementação do Flickermeter podem ser encontrados em [8].

A limitação mais significativa do modelo é restrição da LI. O modelo é válido apenas para LI de 60W com combinações para as tensões de 120V e 230V e as frequências de 50Hz e 60Hz. As LI de outras faixas podem ser usadas, mas o modelo deve ser ajustado – as formas não são citadas. O problema ocorre no caso de lâmpadas de outras tecnologias, como as LFC e LLED. O modelo não determina quais são os efeitos nessas lâmpadas, pois só considera a dinâmica da LI. A LI tem inércia térmica e constante de tempo da ordem de 25ms, isso a torna, de fato, mais sensível à flutuação do valor eficaz. Já a LFC, com constante de tempo de 5ms, é mais sensível à forma de onda, ou seja, variações rápidas e modulação dos picos de tensão [9][10].

Conforme será observado posteriormente nos resultados, as sensibilidades da LFC e LLED são distintas da LI. Isso implica que a norma IEC não indicará a severidade real do flicker, logo, para determinada flutuação, um ambiente com lâmpada não incandescente pode ter flicker mais ou menos severo que um ambiente com LI. Para tentar contribuir na solução deste problema, os autores trabalham no desenvolvimento de um Flickermeter menos dependente (ou mesmo independente) do tipo de lâmpada.

### III. MEDIDOR PROPOSTO

As questões por trás da proposição do modelo estão ligadas: 1) à limitação do Flickermeter em mensurar o flicker para lâmpadas não incandescentes; 2) ao contexto brasileiro atual, visto que as LI estão sendo substituídas por LFC (principalmente) e LLED. Exposto isso, as razões para se trabalhar em uma nova forma de analisar o flicker estão claras. A literatura internacional apresenta trabalhos sobre isso [11]-[14], porém nada com “continuidade” ou que vise aplicação que não seja puramente acadêmica, o que é pertinente, do ponto de vista dos autores, para uma melhor análise da QEE. A forma de abordar o problema foi pela medição direta, i.e., mensurar o flicker diretamente pela cintilação.

#### A. Modelo proposto

O diagrama de blocos do Flickermeter proposto está ilustrado na Fig. 2. Ele é baseado no modelo original, porém com modificações para medição direta. A proposição se fundamenta na alteração da simulação do sistema lâmpada-olho-cérebro para simulação do sistema olho-cérebro, no qual os efeitos introduzidos pelo modelo da LI são eliminados.

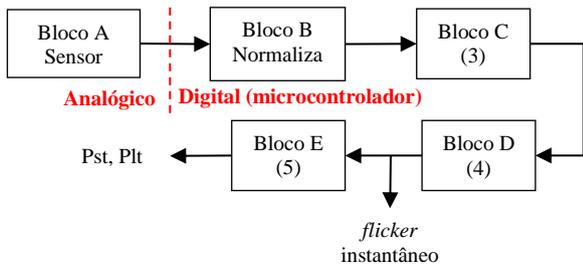


Fig. 2. Diagrama de blocos do Flickermeter proposto.

No diagrama, o bloco A é analógico e realiza a medição do fluxo luminoso (iluminância) e seu pré-processamento (*anti-aliasing*). O bloco B é digital, assim como os demais, e realiza a normalização do sinal para a extração da modulação do sinal. Os blocos D e E são equivalentes aos blocos 4 e 5, respectivamente. Como o sistema não modela a LI, o bloco 2 e sua operação quadrática foram eliminados.

O bloco C é similar ao bloco 3, porém com o filtro de ponderação modificado. Ele tem a função de simular a resposta da visão à flutuação aplicada sobre a LI. Para se eliminar (ou reduzir) a dependência da lâmpada do sistema, removeu-se a Função de Transferência (FT) da LI do filtro de ponderação.

Assumindo que a LI é um sistema de 1ª ordem [13][15], da sua resposta ao degrau se pode extrair a constante de tempo da lâmpada. A Fig. 3 apresenta a resposta ao degrau (variação de 120V à 130V) de uma LI 60W. A constante de tempo obtida é de aproximadamente 23ms.

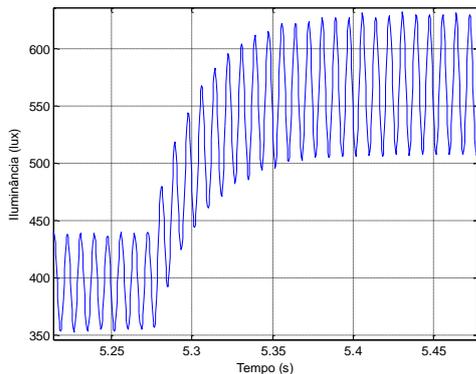


Fig. 3. Resposta da LI 60W ao degrau.

A FT da LI será similar a (1), sendo que “a” é a constante de tempo e “K” um ganho constante.

$$G_{LI}(s) = \frac{K}{s+a} \quad (1)$$

Considerando a FT do filtro de ponderação dado na norma por  $F(s)$  [2], pode-se eliminar a FT da LI do Flickermeter com uma operação algébrica simples (2) e se obter a FT sem a LI com  $F_{semLI}(s)$ .

$$F_{semLI}(s) = \frac{F(s)}{G_{LI}(s)} \quad (2)$$

Algumas observações devem ser feitas:

- O modelo da norma é empírico e o sistema real é não linear, portanto, esta manipulação analítica da FT tem limitações;

- As considerações e modelos têm simplificações, porém são validadas com a LI, conforme o teste da tabela 5 da norma IEC, que avalia o Pst.

### B. Protótipo e Procedimentos adotados

Como uma das metas do trabalho é criar um aparelho de uso prático para medição, foi desenvolvido um protótipo para esse sistema embarcado, que está ilustrado na Fig. 4.

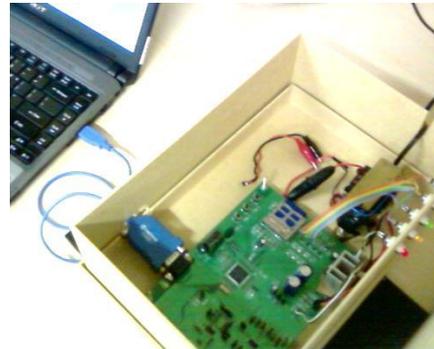


Fig. 4. Protótipo do Flickermeter proposto.

A parte analógica do sistema (bloco A) faz a medição da iluminância (com um fotossensor), realiza a filtragem *anti-aliasing* e a conversão A/D. Destaca-se que o fotossensor do tipo LED a resposta rápida (ordem 100us). Isso é necessário para captar a faixa de frequência que forma o sinal de iluminância, composto por frequências que vão da ordem de milihertz a centenas de hertz.

Como o sensor emula o olho humano em termos de sensibilidade à luz, sua característica mais relevante é a resposta espectral, que deve ser próxima da resposta do olho humano. Isso é fundamental, visto que o sistema passa a simular um modelo *olho-cérebro*. A Fig. 5 apresenta a resposta do sensor e do olho aos comprimentos de ondas da luz visível. Pode se notar que a curva do sensor é similar à do olho humano.

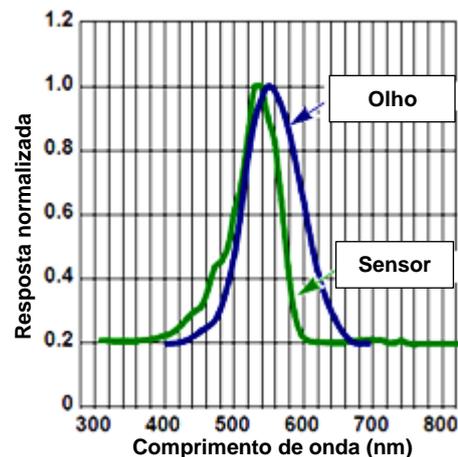


Fig. 5. Resposta à luz do sensor e do olho humano.

Os blocos digitais (B a E) foram implementados digitalmente (via *software*). O sistema ainda apresenta um cartão de memória *flash* para gravação de dados e comunicação serial com microcomputador.

O processo de teste é realizado dentro de uma câmara escura, uma caixa-preta de dimensões 70x50x50cm. Dentro estão a lâmpada e o fotossensor, que é alimentado pelo protótipo e

fornece os valores de iluminância. A lâmpada foi alimentada por uma fonte de potência geradora de sinal. A fonte foi usada para produzir flutuações conforme a Tabela I. A Fig. 6 mostra uma ilustração do sistema utilizado.

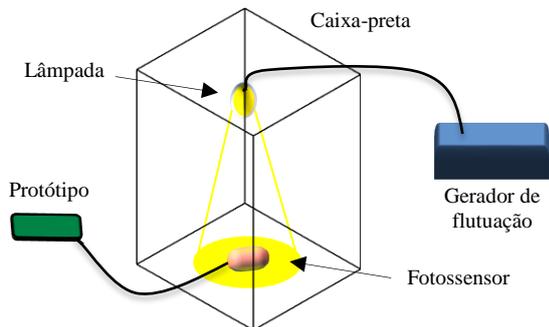


Fig. 6. Diagrama ilustrativo do sistema de teste.

Os blocos C e E não foram implementados de forma definitiva no protótipo. Como o modelo ainda passa por testes e refinamentos, a análise é feita em microcomputador, que aumenta a dinâmica do processo. No fim desta etapa o modelo completo será implementado no *firmware* do medidor. O protótipo implementado, mostrado na Fig. 4, está sendo utilizado para transferir os dados medidos para processamento no MATLAB®.

#### IV. EXPERIMENTOS

Os ensaios foram realizados utilizando lâmpadas comuns em residências e no mercado. Foram escolhidas tecnologias distintas e fabricantes diversos para análise. Por ser a base do modelo da norma IEC, a LI 60W convencional foi utilizada como referência, pois além de calibrar o modelo, valida-o com a aplicação dos sinais de flutuação da Tabela I. Foram utilizadas três tipos de lâmpadas: LI, LFC e LLED. Serão apresentados os resultados para as seguintes lâmpadas (marcas, modelos e fabricantes expostos):

- Lref: incandescente 60W;
- L2: LFC 20W tipo 3U;
- L3: LLED 4W base E27 e ângulo de 15° a 20°;
- L4: LLED 5W base E27 tipo Bulbo e Bivolt (127/220V).

##### A. Lâmpadas

A lâmpada Lref foi referência para calibração do sistema e representa a classe das LI. A lâmpada L2 representa a classe das LFC, cada vez mais populares nas residências. Com o avanço no mercado das LLED, elas foram representadas nos testes por L3 e L4 – aqui são abordadas 2 LLED que apresentam comportamentos distintos. O espectro luminoso das lâmpadas é mostrado na Fig. 7. O espectro solar ao meio-dia e de um aparelho leitor de código de barra também ilustram a figura. Deve-se notar que os espectros das lâmpadas variam conforme temperatura da cor, modelo, marca e fabricante.

A LI tem amplo espectro, com considerável irradiação de infravermelho (que implica na sua ineficiência). A LFC tem espectro formado por várias faixas estreitas e sem emissão de infravermelho. O espectro da LLED é mais distribuído, porém a emissão de infravermelho desprezível.

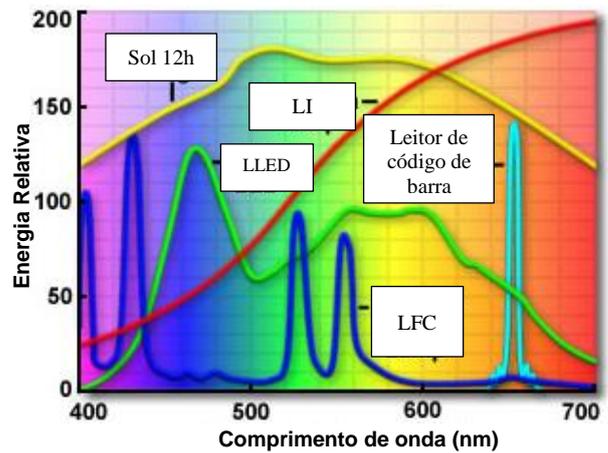


Fig. 7. Espectro da LI, LFC e LLED [16].

Apesar de espectros diversos sugerirem influência nos resultados do *Flickermeter* IEC, a forma de operação das lâmpadas tem maior peso. Na Fig. 8 são apresentadas as curvas características de corrente x tensão de Lref e L2. A lâmpada Lref apresenta característica resistiva (linear). Já a lâmpada L2 é não linear, com corrente pulsada.

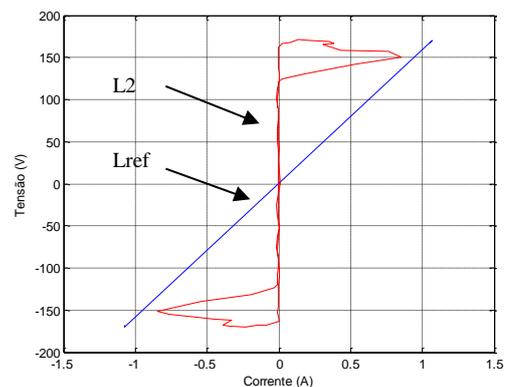


Fig. 8. Curva características de Corrente x Tensão de Lref e L2.

Na Fig. 9 estão representadas as curvas características de L3 e L4. Pode-se observar que ambas são não lineares. L3 tem característica de corrente bem distorcida, porém não tão pulsada com L4, que tem característica similar a L2. Deve-se observar que L3 e L4 são da mesma tecnologia, porém com formas de operação distintas.

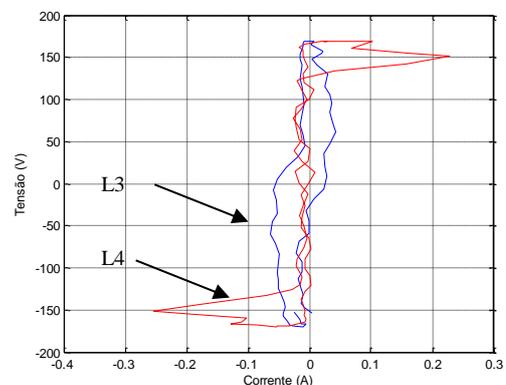


Fig. 9. Curva características de Corrente x Tensão de L3 e L4.

Com características tão diversas, a resposta diferente à flutuação parece ser inerente. Efeitos das diferenças de qualidade das lâmpadas deveriam ser considerados também, pois isso afeta a operação de lâmpadas similares. No mercado nacional a regulamentação da qualidade da área é precária.

## B. Resultados

O sistema foi testado em condições de 120V e 60Hz, com as flutuações geradas por uma fonte HP CSW11000, de precisão. Foram utilizadas as tabelas 2a e 5 da norma IEC [2]. A tabela 2a observa o flicker instantâneo. A tabela 5, compilada na Tabela I, analisa a severidade do flicker, o teste mais relevante para o trabalho.

A Fig. 10 ilustra a resposta luminosa de Lref a um distúrbio aplicado. Foi produzida flutuação quadrada de 1 variação/minuto e 3,181% de amplitude, conforme a Tabela I. O ciclo da modulação é baixíssimo, com frequência igual a 8,333mHz. A Fig. 11 ilustra o resultado processado e obtido pelo Flickermeter proposto, com o flicker instantâneo em escala de "pu" (saída do bloco D). O valor obtido para essa situação foi de Pst = 1,022pu. Deste ponto em diante o termo Flickermeter será utilizado para o sistema proposto.

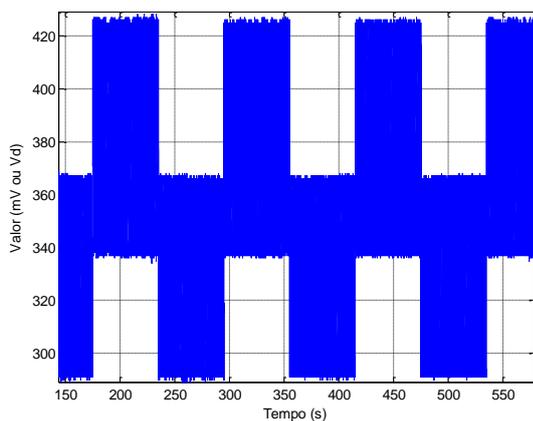


Fig. 10. Resposta luminosa de Lref à flutuação de 1var/min e 3,181%.

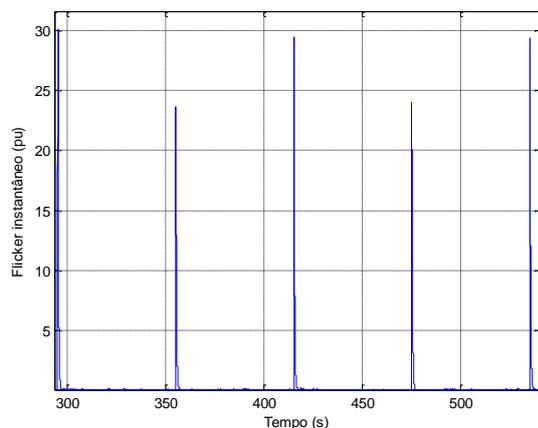


Fig. 11. Flicker instantâneo processado pelo Flickermeter.

Inicialmente o Flickermeter foi submetido aos testes das tabelas citadas, com Lref, para ajuste. Uma vez calibrado, foram feitos os teste com as lâmpadas. A Tabela II apresenta os resultados obtidos para Lref. Os números na 1ª coluna indicam o teste, que se refere ao número da linha da Tabela I;

a 2ª coluna tem o resultado do Pst (em pu); e a 3ª coluna tem o erro em relação ao valor esperado de 1pu (em %).

A norma IEC exige que o medidor convencional obtenha um desempenho apropriado para que seja validado. Um dos requisitos é o teste da Tabela I. Pode-se constatar que o Flickermeter obteve resultados esperados de Pst para os testes. A norma define faixa de tolerância de  $\pm 5\%$ .

TABELA II. PST E ERRO PARA FLUTUAÇÕES APLICADAS EM LREF

Teste	Pst (pu)	Erro (%)
1	1,022	2,2
2	1,004	0,4
3	1,049	4,9
4	1,009	0,9
5	1,017	1,7
6	0,998	-0,2
7	0,986	-1,4

As Tabelas III, IV e V apresentam os resultados do Flickermeter para L2, L3 e L4, respectivamente. As tabelas não têm a coluna de erro, pois não há referência de desempenho. Em medições convencionais, os medidores de flicker resultariam em 1pu, o que seria incoerente, pois nos testes se constatou visualmente que L2, L3 e L4 não cintilavam. Foi feita uma consulta a indivíduos presentes no laboratório durante os testes. Pessoas nas faixas de 20, 30, 40 e 60 anos observaram alguns deles e opinaram se havia ou não flicker. Ninguém o observou.

TABELA III. PST PARA FLUTUAÇÕES APLICADAS EM L2

Teste	Pst (pu)
1	0,305
2	0,302
3	0,309
4	0,299
5	0,302
6	0,500
7	0,791

TABELA IV. PST PARA FLUTUAÇÕES APLICADAS EM L3

Teste	Pst (pu)
1	0,370
2	0,243
3	0,236
4	0,225
5	0,199
6	0,316
7	0,648

TABELA V. PST PARA FLUTUAÇÕES APLICADAS EM L4

Teste	Pst (pu)
1	0,051
2	0,052
3	0,053
4	0,044
5	0,047
6	0,059
7	0,091

Deve-se destacar a diferença entre os resultados de Pst para L3 e L4. A lâmpada L3 foi mais suscetível à flutuação que L4. A iluminância de ambas foi observada e se constatou que a iluminância de L4 era quase constante. Para o Flickermeter isso implica em baixíssimos níveis de Pst. De fato, se constatou visualmente que a lâmpada L4 só apresentava flicker para valores bem altos da amplitude de modulação. Para avaliar

melhor o caso, flutuações “intensas” foram aplicadas em L4. Em 8,8Hz, frequência na qual a visão tem maior sensibilidade, o *flicker* só foi observado para amplitudes iguais ou superiores a 8%. Em frequências como 40Hz, 22Hz e 0,5Hz, mesmo com modulação de 15% nada se constatou. Aparentemente, L4 tem um *driver* mais “robusto” que L3.

Outro teste realizado considerou frequências superiores à fundamental. No caso exemplificado, foi produzida flutuação quadrada em 75Hz com amplitude de 5%. Para as LI não há *flicker*, pois sua constante de tempo é grande e não responde a tais variações. Por outro lado, as LFC ou as LLED podem responder. Como mencionado, elas têm resposta mais rápida e podem ser sensíveis à forma de onda, ou seja, às rápidas variações (picos da onda) [10]. Na Tabela VI estão os resultados em Pst (2ª coluna) das lâmpadas testadas (1ª coluna).

TABELA VI. PST PARA FLUTUAÇÃO QUADRADA DE 75HZ E 5%

Lâmpada	Pst (pu)
Lref	0,286
L2	0,939
L3	1,116
L4	0,105

Como se pode notar, o Pst da Lref é desprezível, indicando a inexistência de *flicker* – o que era esperado. Entretanto, para L2 o Pst é alto (próximo da unidade), indicando o *flicker*. Na lâmpada L3 se observou situação similar, enquanto para L4 não foi observado nenhum *flicker*, que é indicado pelo baixo Pst. Deve-se destacar que os resultados foram confirmados visualmente (observou-se o *flicker* ou não).

Portanto, em um ambiente hipotético iluminado por lâmpadas do tipo L2 e submetidas à flutuação, haveria *flicker*, que não seria indicado pela medição convencional. Nessa situação, indivíduos submetidos a essa iluminação poderiam sofrer efeitos fisiológicos adversos.

## V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma proposta de *Flickermeter* baseada na medição direta. Seu intuito é contribuir no desenvolvimento de uma medição mais precisa e desenvolver o protótipo para uso prático. O trabalho fundamenta-se no medidor convencional com algumas mudanças, nas quais se elimina a dependência da LI. Isso permitiria a medição adequada do *flicker* em ambientes com outras lâmpadas. Na concepção convencional do medidor, o *flicker* é mensurado de forma indireta, através da medição da flutuação e da simulação da resposta do sistema *lâmpada-olho-cérebro*.

Conforme os dados experimentais obtidos, o modelo convencional não é adequado para medir os efeitos reais de *flicker* provocado por flutuação de tensão nos diversos tipos de lâmpadas. Isso se deve à dependência do modelo da LI. E como as LI estão em processo de substituição, o uso modelo convencional é discutível.

O desempenho inicial do *Flickermeter* proposto foi satisfatório. Além do refinamento, algumas etapas deverão ser cumpridas antes do sistema ser totalmente embarcado no protótipo. Evidentemente que os resultados não são conclusivos, porém eles convergem com estudos realizados que apontam problemas no *Flickermeter* da IEC. Para o futuro há ainda a necessidade da análise do comportamento do sistema proposto a outros distúrbios, como a modulação por inter-

harmônicas individuais, que mesmo em baixos níveis podem ocasionar *flicker*.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL, “Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica,” *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST*, revisão 4, vigência 01/02/2012.
- [2] IEC, “Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications,” *IEC 61000-4-15 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15*, ed. 2, draft, 2008.
- [3] União Europeia, “Energia - Lâmpadas Economizadoras,” Disponível em: <[http://ec.europa.eu/energy/lumen/index\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/energy/lumen/index_pt.htm)>. Acesso em: 16/12/12.
- [4] 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: 16/12/12.
- [5] M. K. Walker, “Electric Utility Flicker Limitations,” *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. IA-15, no. 6, pp. 644-655, 1979.
- [6] M. Piekarz, M. Szlosek, Z. Hanzelka, A. Bien, A. Stankiewicz, et al., “Comparative tests of flickermeters,” *10th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, vol. 1, pp. 220-227, 2002.
- [7] D. Stade, A. Kuznietsov, N. Yaremtchuk, H. Schau, “Error analysis of analogue-digital Flickermeter,” *Proc. on 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, vol. 2, pp. 1188-1193, 1998.
- [8] J. R. Macedo Jr., D. S. L. Simonetti, G. C. D. Sousa, G. P. Colnago, J. L. F. Vieira, et al., “Modelagem, construção e análise de desempenho do flickermeter IEC,” *Revista Controle & Automação*, vol. 22, pp. 118-133, 2011.
- [9] S. M. Halpin, R. Bergeron, T. M. Blooming, R. F. Burch, L. E. Conrad, et al., “Voltage and Lamp Flicker Issues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach?,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, 2003.
- [10] J. R. Macedo Jr., D. S. L. Simonetti, “Análise de desempenho do flickermeter na presença de componentes inter-harmônicas,” *Revista Controle & Automação*, vol. 23, pp. 508-519, 2012.
- [11] M. Szlosek, B. Swiętek, Z. Hanzelka, A. Bien, “Application of Neural Networks to Voltage Fluctuations Measurement - A Proposal for a New Flickermeter,” *11th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, pp. 403-407, 2004.
- [12] C. Rong, J. H. Blom, J. M. A. Myrzik, W. L. Kling, “New Flicker Weighting Curves for Different Lamp Types Based on the Lamp Light Spectrum,” *13th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, pp. 1-6, 2008.
- [13] D. Gallo, C. Landi, N. Pasquino, “An Instrument for the Objective Measurement of Light Flicker,” *IEEE Proc. on Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 3, pp.1942-1957, 2005.
- [14] L. Peretto, L. Rovati, G. Salvatori, R. Tinarelli, A. E. Emanuel, “A Measurement System for the Analysis of the Response of the Human Eye to the Light Flicker,” *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 56, no. 4, pp.1384-1390, 2007.
- [15] L. Peretto, A. E. Emanuel, “A Theoretical Study of the Incandescent Filament Lamp Performance under Voltage Flicker,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 12, no. 1, pp. 279-288, 1997.
- [16] Microcospy Resource Center, “Source of Visible Light,” Disponível em: <<http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/lightsourcesintro.html>>. Acesso em: 16/12/12.