

## Comparação interlaboratorial com lâmpadas elétricas: Colômbia, Brasil e Argentina (Fóton)

## Interlaboratory comparison with electric light bulbs: Colombia, Brazil and Argentine (Photon)

**Elvo Calixto Burini Junior**<sup>1</sup>, **Oswaldo Sanchez Júnior**<sup>2</sup>, **Leonardo Octavio Assaf**<sup>3</sup>, **Fernando Augusto Herrera León**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Energia e Ambiente/USP; <sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP;

<sup>3</sup> DLLyV/Universidad Nacional de Tucumán; <sup>4</sup> LABE/Universidad Nacional de Colômbia

E-mail: elvo@iee.usp.br

**Resumo:** Resultados de amostragem laboratorial a partir de lâmpadas elétricas são apresentados e considerados. Fluxo luminoso, coordenadas de cromaticidade, temperatura de cor correlata, índice de reprodução de cor e outros parâmetros relevantes foram obtidos utilizando procedimento rotineiro de fotometria e radiometria. O fluxo luminoso foi determinado com esfera de Ulbricht e goniometria auxiliada por computador. Dentre os resultados obtidos na comparação interlaboratorial com fontes de luz incandescente e SSL (LED) destaca-se que o IRC da fonte incandescente apresentou a menor faixa de variação relativa 1,6 %, a maior foi para o fluxo luminoso da tecnologia LED 11,5 W > 17 %.

**Palavras-chave:** Comparação interlaboratorial, fluxo luminoso, eficiência luminosa ( $\ell\text{m/W}$ ), temperatura de cor correlata ( $T_{cp}$ ), LED.

**Abstract:** Results from laboratory surveys with two types of light sources are presented and considered. The luminous flux, chromaticity coordinates, correlated color temperatures, color reproduction index among other parameters considered relevant were obtained using routine procedures of photometry and radiometry. The luminous flux was determined from the Ulbricht sphere and also with computer aided goniometry. Among the results obtained in the interlaboratory comparison with incandescent and SSL (LED) bulbs, it was found that the IRC of incandescent source presented the lowest range of relative variation 1.6 % and the greatest was to the LED technology 11.5 W, the luminous flux > 17 %.

**Keywords:** Interlaboratory comparison, luminous flux, luminous efficiency ( $\ell\text{m/W}$ ), correlated color temperatures ( $T_{cp}$ ), LED.

### 1. INTRODUÇÃO

O cotejamento de resultados entre laboratórios tem sido utilizado na gestão e avaliação da qualidade. Tal prática pode ser utilizada para documentar procedimentos, otimizar recursos laboratoriais e manter atualizado os registros sobre determinado corpo de prova ou material de

referência. A estimativa de parâmetro de um produto para iluminação (seja lâmpada incandescente, LED, ou luminária) ficará limitada, em particular, quando discrepâncias entre resultados são reveladas. O Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) tem participado em atividades

de comparação entre laboratórios. Uma atividade de comparação considerada relevante ocorreu na segunda metade dos anos 1990, ela foi solicitada por um fabricante de faróis estabelecido no país, utilizou lâmpada automotiva com lastro declarado no PTB (Alemanha). Naquela oportunidade o fluxo luminoso foi determinado, comparado, e uma diferença relativa de 0,8 % ficou estabelecida. Trata-se de patamar bilateral relevante, o qual ainda não pode ser superado, mesmo com equipamentos novos (goniômetro auxiliado por computadores) e para luminária com a tecnologia WLEDi [1]. O presente artigo apresenta e discute dados coletados durante atividades laboratoriais no período de 2010 a 2017. O registro presta-se a documentar e fixar diferenças entre resultados a partir de técnicas de uso comum, no setor de iluminação, para grandezas e parâmetros ópticos amostrados de fonte incandescente e LED. O resultado sobre parâmetros elétricos do mesmo experimento serão apresentados num artigo homônimo (elétron) e complementar (também submetido ao evento Metrologia, Fortaleza, Nov., 2017). No presente artigo a análise será realizada com base em preceitos da ABNT ISO/IEC GUIA 98-3 [2], considerando a média aritmética como o valor atribuído ou de referência. Para a estimativa da incerteza ou a dispersão em torno do valor atribuído será utilizada a incerteza padrão expandida ( $k=2$ ). A confrontação de resultados obtidos sobre corpo de prova circulante, amostrado em diferentes países destina-se a identificar diferenças, revelar competência técnica e a capacidade de obter resultados tecnicamente válidos. A estabilização e a determinação do espectro foram realizadas com o eixo principal da lâmpada na horizontal (no IEE); em esfera integradora, posição pendente com a base para baixo no IPT; e goniômetro marca LMT, GO-DS 2000 na UNC. Aqui será feito um desdobramento de trabalho anterior, elaborado sobre o mesmo tema, depositado, e que discute resultados de amostragens em metrologia elétrica e óptica conjuntamente [3].

## 2. RESULTADOS

### 2.1 Lâmpada incandescente (INC.)

#### 2.1.1 Fluxo luminoso (ILM-050)

A tabela 1 apresenta dois valores médios calculados para o fluxo luminoso da lâmpada incandescente tipo a halogênio, código de identificação (ILM-050) que foi atribuído pela Colômbia e cada desvio relativo calculado em relação à média.

**Tabela 1.** INC. - Desvio relativo em relação a média dos fluxos luminosos, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	Fluxo ( <b>2,25 ± 0,05</b> ) klm; (n=4)	Fluxo (2,21 ± 0,08) klm; (n=5)
IEE <sub>2010</sub>	1,8	3,6
UNT <sub>2010</sub>	(- 9,1)	- 7,5
IPT <sub>2017</sub>	2,7	4,5
IEE <sub>2017</sub>	- 2,1	- 0,3
UNC <sub>2017</sub>	- 2,2	- 0,5

**NOTAS:** No caso  $n=4$  não está considerado o dado da UNT, o valor entre parêntesis enfatiza tal condição; o valor atribuído está em negrito; no IEE foi utilizada esfera integradora marca Leeds & Northrup Co., número de série 326873; no IPT (ver nota item 2.1.4) e na UNC goniômetro LMT.

#### 2.1.2 Eficiência luminosa (ILM-050)

A tabela 2 apresenta o valor médio calculado como estimativa para a eficiência luminosa de lâmpada incandescente e cada desvio relativo em relação à média.

#### 2.1.3 Temperatura de cor correlata (ILM-050)

A tabela 3 apresenta o valor médio calculado como estimativa para a temperatura de cor correlata ( $T_{cp}$ ) de lâmpada incandescente e cada desvio relativo em relação à média (para detalhes da metodologia ver item 2.2.3).

**Tabela 2.** INC. - Desvio relativo em relação a média das eficiências luminosas, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	Eficiência ( <b>15,03 ± 0,50</b> ) lm/W; (n=4)	Eficiência (14,7 ± 0,7) lm/W; (n=5)
IEE <sub>2010</sub>	2,5	4,5
UNT <sub>2010</sub>	(- 9,6)	- 7,8
IPT <sub>2017</sub>	3,8	5,8
IEE <sub>2017</sub>	- 1,6	0,3
UNC <sub>2017</sub>	- 4,6	- 2,7

**NOTA:** No caso n=4 não está considerado o dado da UNT, e o valor entre parêntesis enfatiza tal condição; o valor atribuído está em negrito.

**Tabela 3.** INC. - Desvio relativo em relação a média das  $T_{cp}$ , valores em (%).

Instituição da amostragem e data	$T_{cp}$ <b>(2813 ± 44) K;</b> (n=4)	$T_{cp}$ (2766 ± 62) K; (n=6)
IEE <sub>2010</sub>	- 2,0	- 0,3
IPT <sub>2017</sub>	2,4	4,2
(* <sup>2</sup> ) IPT <sub>2017</sub>	(- 5,1)	- 3,5
(*) IPT <sub>2017</sub>	(- 4,9)	- 3,3
IEE <sub>2017</sub>	- 0,2	1,5
UNC <sub>2017</sub>	- 0,2	1,4

**NOTAS:** (\*) A amostragem ocorreu com esfera aberta parcial e com outro instrumento (PR-705); e (<sup>2</sup>) radiação refletida em alvo de PTFE.

#### 2.1.4 IRC (ILM-050)

A tabela 4 apresenta o valor médio calculado como estimativa para o índice de reprodução de cor (IRC) de lâmpada incandescente e cada desvio relativo em relação à média.

**Tabela 4.** INC. - Desvio relativo em relação a média dos IRC, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	IRC <b>(99,2 ± 0,4);</b> (n=3)
IPT <sub>2017</sub>	- 1,1
IEE <sub>2017</sub>	0,5
UNC <sub>2017</sub>	0,5

**NOTAS:** A metodologia/equipamento utilizado na determinação do IRC é proprietária, no IPT do “Sistema de medição marca Optronic”; no IEE “software SpecWin Pro, ver. 3.1.1.1822, Instrument Systems”, procedimento da norma DIN 6169-2 Colour rendering; colour rendering properties of light sources in the field of lighting e na UNC “espectrômetro ORB, modelo SP200, n/s 2015939”.

## 2.2 Lâmpada tipo LED, E-27, 7 W, 600 lm (E-IL 1272) e 11,5 W, 1050 lm (E-IL 1672)

### 2.2.1 Fluxo luminoso

A tabela 5 apresenta cada valor médio calculado para o fluxo luminoso das lâmpadas tipo LED, código de identificação E-IL 1272 e E-IL 1672

atribuído pela Colômbia e cada desvio relativo em relação à média.

**Tabela 5.** LED (7 e 11,5) W - Desvio relativo em relação a média dos fluxos, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 <b>(586 ± 13) lm;</b> (n=3)	E-IL 1672 <b>(1065 ± 43) lm;</b> (n=3)
(*) nominal	(2,4)	(- 0,9)
IPT <sub>2017</sub>	5,1	8,6
( <sup>3</sup> ) IEE <sub>2017</sub>	- 0,9	0,1
UNC <sub>2017</sub>	- 4,1	- 8,6

**NOTAS:** (\*) O valor nominal (600 e 1055) lm não foi utilizado para a média; (<sup>3</sup>) resultado a partir de goniofotômetro auxiliado por computador marca Instrument Systems, modelo LGS 1000.

### 2.2.2 Eficiência luminosa

A tabela 6 apresenta cada valor médio calculado para a eficiência luminosa das lâmpadas tipo LED, código de identificação (E-IL 1272) e (E-IL 1672) atribuído pela Colômbia e cada desvio relativo em relação à média.

**Tabela 6.** LED (7 e 11,5) W - Desvio relativo em relação a média das eficiências, em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 <b>(84,0 ± 3,6) lm/W;</b> (n=3)	E-IL 1672 <b>(98 ± 5) lm/W;</b> (n=3)
(*) nominal	(2,1)	(- 6,5)
IPT <sub>2017</sub>	4,3	5,6
IEE <sub>2017</sub>	0,5	- 0,03
UNC <sub>2017</sub>	- 4,9	- 5,5

**NOTAS:** (\*) O valor nominal não foi utilizado para calcular a média; igual avaliação sobre a potência elétrica tem apresentação pretendida em trabalho homônimo (Elétron) submetido ao mesmo evento Metrologia, Fortaleza, Nov., 2017.

### 2.2.3 Temperatura de cor correlata ( $T_{cp}$ )

O procedimento está associado a equipamento e software proprietário (ver nota no item 2.1.4). O resultado do IEE considerou o observador padrão CIE 2º e foi verificado a partir do algoritmo de Robertson [4]. A tabela 7 apresenta cada valor médio calculado para a temperatura de cor correlata das lâmpadas tipo LED, código de identificação (E-IL 1272) e (E-IL 1672) e cada desvio relativo em relação à média.

**Tabela 7.** LED - Desvio relativo em relação a média das  $T_{cp}$ , valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1672 ( <b>2656 ± 48</b> ) <b>K</b> ; (n=4)	E-IL 1272 ( <b>5891 ± 249</b> ) <b>K</b> ; (n=4)
(*) nominal	(1,7)	(10)
(*) IPT <sub>2017</sub>	(- 5,8)	(- 19)
<sup>(4)</sup> IPT <sub>2017</sub>	- 1,7	- 4,0
<sup>(4,5)</sup> IPT <sub>2017</sub>	- 1,8	- 4,5
IEE <sub>2017</sub>	1,2	4,2
UNC <sub>2017</sub>	2,3	4,2

**NOTAS:** (\*) Valor nominal (6500 e 2700) K ou resultado não utilizado para determinar a média; <sup>(4)</sup> a amostragem ocorreu com a esfera aberta e com outro instrumento (PR-705); e <sup>(5)</sup> radiação refletida em alvo de PTFE.

#### 2.2.4 IRC

A tabela 8 apresenta cada valor médio calculado para o índice de reprodução de cor (IRC; metodologia conforme item 2.1.4) das lâmpadas tipo LED, identificação (E-IL 1272) 7 W e (E-IL 1672) 11,5 W atribuído pela Colômbia e cada desvio relativo em relação à média.

**Tabela 8.** LED (7 e 11,5) W - Desvio relativo em relação a média dos IRC, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 ( <b>84,2 ± 1,5</b> ); (n=3)	E-IL 1672 ( <b>83,0 ± 2,0</b> ); (n=3)
IPT <sub>2017</sub>	- 4,4	2,7
IEE <sub>2017</sub>	1,5	- 1,6
UNC <sub>2017</sub>	2,8	- 1,1

## 7. CONCLUSÕES

Amostra de lâmpada incandescente está considerada (código ILM-050), juntamente com duas amostras de tecnologia para iluminação a partir da eletroluminescência (do inglês, Solid State Lighting - SSL). Os resultados fornecidos pela UNT, Argentina, apresentaram desvio elevado e foram considerados parcialmente na análise. No ano 2010 a UNT não estava acreditada, os demais laboratórios participantes estão acreditados. O fluxo luminoso e a incerteza padrão expandida estimada para a lâmpada tipo a halogênio (ILM-050) foi de  $(2,25 \pm 0,05)$  klm ( $\pm 2,2$  %; n=4). A faixa dos desvios relativos no

ano 2017 foi de (2,7 a -2,2) %. Nota: No ano 2010 a faixa dos desvios relativos entre UNT e IEE está estimada em 3,9 %, isso sugere necessidade para ampliar a investigação. A eficiência luminosa e incerteza padrão expandida estimada foi de  $(15,0 \pm 0,5)$  lm/W ( $\pm 3,3$  %). A faixa dos desvios relativos estabelecida no ano 2017 foi de (- 4,6 a 3,8) %, este resultado pode conter a faixa de 4,1 % (ano 2010), isto sugere hipótese de tratar-se de elemento circulante INC. similar ao amostrado no ano 2010 devido ao código na embalagem e pertinência do resultado sobre a eficiência. A temperatura de cor correlata foi estimada em  $(2813 \pm 44)$  K ( $\pm 1,6$  %) e o IRC em  $(99,2 \pm 0,4)$  ou ( $\pm 0,4$  %). A menor faixa de variação relativa de resultados ocorreu para o IRC da fonte incandescente (1,6 %) e a maior para o fluxo luminoso da LED 11,5 W ( $> 17$  %, entre IPT e UNC). Em termos de incerteza padrão expandida foram estimados valores relativos na faixa entre (0,4 a 5,1) %.

**Agradecimentos** - A CAPES pelo suporte parcial a partir do proj. binacional CAFB-BA n. 048/2013, ao LABE (UNT) pelas amostras e os relatórios (04IE6191; 04IE6330; 04IE6344) e missiva LABE01C12461 de 09/Mai./2017.

#### Referências

- [1] Burini Junior, E C *et al* Novos Referenciais e Procedimentos para Avaliação de Luz no IEE/USP: Radiação Visível. p.371-8, XIII Conferência Panamericana de Iluminação - LUX AMÉRICA 2016, La Serena, Chile, Nov., 2016.
- [2] ABNT ISO/IEC GUIA 98-3 Incerteza de medição, Parte 3: Guia para expressão de incerteza de medição (GUM: 1995), 154p., 2014.
- [3] Burini Junior, E C *et al* Comparação Interlaboratorial Utilizando Fonte de Luz Elétrica para a Qualidade de Dados. THE 12<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE 2017 (mimeo).
- [4] A. R. Robertson, "Computation of Correlated Color Temperature and Distribution Temperature," J. Opt. Soc. Am. 58, 1528-1535 (1968).