



Modernização de radiômetro de filtro para realização da escala de irradiância espectral

P A C Bessa*, E M S Carvalho e T Ferreira da Silva

Divisão de Metrologia Óptica, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Duque de Caxias – RJ, 25250-020, Brasil

* pacosta@colaborador.inmetro.gov.br

Resumo. A cadeia de rastreabilidade para a escala de irradiância espectral pode ser estabelecida a partir do detector, tendo o radiômetro criogênico de substituição elétrica como padrão primário de potência óptica. Um radiômetro de filtro é utilizado como padrão para a materialização da escala em uma lâmpada incandescente. Além do fotodetector, a montagem do radiômetro de filtro conta com uma série de filtros interferenciais e uma abertura de precisão. O instrumento do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro apresenta utilização limitada devido às dificuldades operacionais causadas pela substituição de vários filtros de um conjunto durante o ciclo de medição. Este trabalho mostra os primeiros resultados da modernização do instrumento que vem sendo realizada para otimização do tempo de medição e viabilização de seu uso para estabelecimento da escala de irradiância espectral com rastreabilidade ao padrão primário nacional.

1. Introdução

A escala de irradiância espectral pode ser realizada baseada na fonte óptica ou no detector [1-3]. A cadeia de rastreabilidade formada a partir do detector geralmente tem início no radiômetro criogênico de substituição elétrica (padrão primário de potência óptica), enquanto a rastreabilidade a partir da fonte se dá através do corpo negro (padrão primário de irradiância espectral). A realização da escala de irradiância pode ser materializada em uma lâmpada com filamento de tungstênio (por exemplo, lâmpadas FEL 1000 W). O método baseado no detector apresenta diversas vantagens quando comparado ao método baseado na fonte por se tratar de um método mais simples e menos oneroso, além de possuir aplicações de incertezas compatíveis tanto para um Instituto Nacional de Metrologia (NMI) quanto para aplicações industriais.

Uma abordagem para o desenvolvimento da escala de irradiância depende da construção de radiômetros de filtro. O radiômetro de filtro é um dispositivo óptico composto por uma abertura circular de precisão (abertura radiométrica), uma série de filtros ópticos passa-banda e um fotodetector. A partir das medidas realizadas com cada filtro passa-banda é possível construir a escala de irradiância espectral de uma lâmpada incandescente através de um método iterativo, baseando-se no modelo matemático do corpo negro e considerando a emitância espectral [1-5].

O radiômetro de filtro utilizado atualmente no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro possui uma peça formando uma cavidade com temperatura controlada para a

inserção de um filtro por vez [5], além da abertura radiométrica. Como é necessário realizar a medição da lâmpada com cada filtro de um conjunto composto por onze elementos, o tempo total de calibração é demasiadamente extenso, visto que é necessário repetir o ciclo de desmontar o dispositivo, realizar a troca do filtro, realinhar o radiômetro no sistema e aguardar estabilização da temperatura.

Com o intuito de otimizar o tempo de substituição dos filtros está em desenvolvimento um projeto de modernização do radiômetro de filtro baseado no uso de uma roda de filtros. A figura 1 mostra a montagem inicial proposta para o novo radiômetro de filtro.

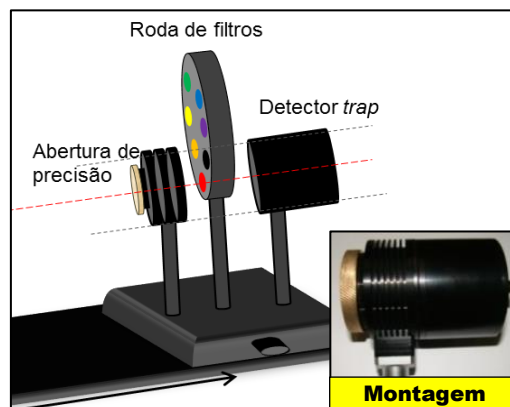


Figura 1. Esquema de montagem do novo radiômetro de filtro. O fotodetector do tipo armadilha de reflexão é mostrado no detalhe.

A temperatura da abertura radiométrica de entrada é controlada com um sistema tipo PIC atuando em um elemento termoeletrônico. A roda de filtros, contendo os elementos do conjunto, é posicionada em seguida e possui mecanismo que garante a reprodutibilidade da seleção. O fotodetector do tipo armadilha de reflexão (detector *trap*) é composto por três fotodiodos posicionados de modos que a radiação incidente sofra cinco reflexões [6] e é rastreado ao radiômetro criogênico de substituição elétrica do Inmetro [7]. O detector *trap* é posicionado após a roda de filtro e gera uma fotocorrente em resposta à radiação incidente.

Este trabalho reporta os avanços no desenvolvimento do radiômetro de filtro modernizado. As medidas iniciais visam verificar a viabilidade do uso da roda de filtros sem estabilização ativa de temperatura, simplificando o projeto e operação do instrumento. Como resultado final, espera-se realizar a escala de irradiância espectral com rastreabilidade ao padrão primário do Inmetro e, assim, calibrar uma lâmpada como padrão de transferência para a realização dos serviços de calibração [8,9].

2. Montagem e testes iniciais

2.1. Confeção de peças e montagem inicial

Foi necessária a confecção de peças para fixação da abertura de precisão e do detector *trap* na roda de filtros, mostrada na figura 2. A principal característica dessas peças é o posicionamento reprodutível tanto da abertura, quanto do detector. Esses elementos são fixados na entrada e na saída da roda, respectivamente. A roda de filtros utilizada tem capacidade para inserção de até 12 filtros de $\frac{1}{2}$ polegada de diâmetro.

Visando diminuir o calor recebido pelo novo radiômetro de filtro, quando exposto à lâmpada acesa (lâmpada incandescente de 1000 W posicionada a 700 mm de distância), foi confeccionado um anteparo em isopor. O anteparo foi revestido com material preto e possui uma íris para controlar o tamanho do feixe de luz. O esquema do sistema de medição é mostrado na figura 3.

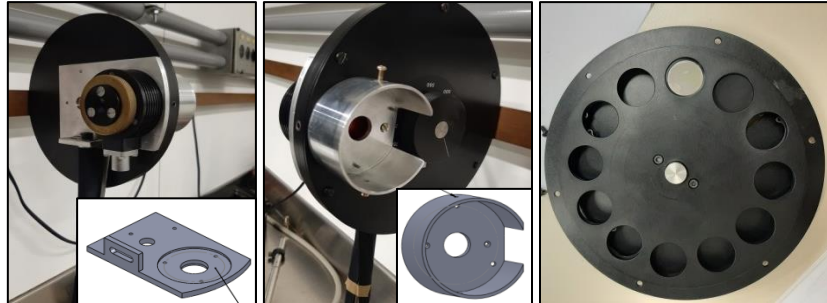


Figura 2. Peças de fixação para abertura circular (esquerda) e detector (centro) na roda de filtros e interior da mesma (direita).

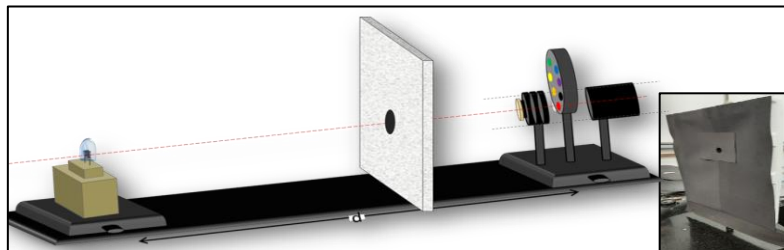


Figura 3. Sistema de medição com uso de anteparo de isopor (fotografia no detalhe).

2.2. Resultados iniciais

Foi realizado teste de temperatura com e sem o uso do anteparo de isopor com lâmpada FEL 1000 W acesa para averiguar a necessidade do uso mesmo. Para realização de tal medida, um filtro passa-banda Newport (10BPF10-650) foi posicionado na roda de filtros (sem controle de temperatura) e um termistor foi fixado em contato direto com o filtro para monitoramento de sua temperatura (figura 4). A medida de irradiância foi feita com um espectrorradiômetro de matriz calibrado.

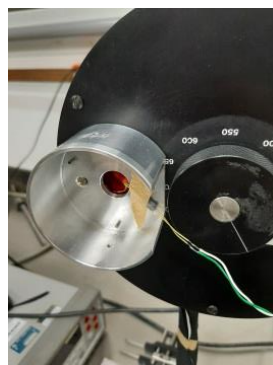


Figura 4. Posicionamento do sensor de temperatura no filtro passa-banda.

A análise dos dados levou em consideração o centro da curva de banda passante do filtro calculado através do centroide do pico de transmitância. A figura 5 mostra o gráfico com o resultado da temperatura com o anteparo com tendência de estabilização em torno de 24 °C enquanto que, sem o anteparo, a estabilização tende aos 30 °C.

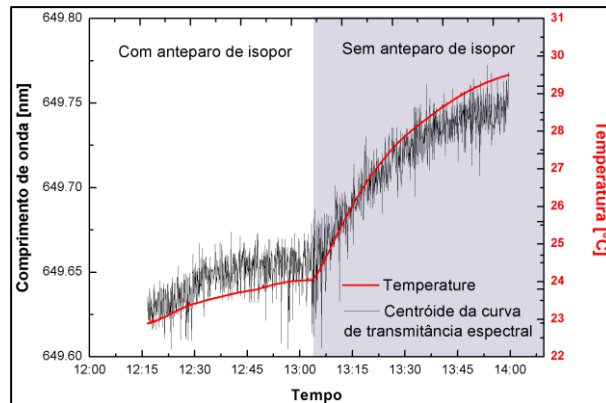


Figura 5. Variação de temperatura e transmitância do filtro sem controle de temperatura

Além disso é possível observar que a resposta espectral do filtro acompanha a variação de temperatura do mesmo. A figura 6 mostra o histograma da variação espectral da transmitância do filtro com a variação da temperatura no mesmo.

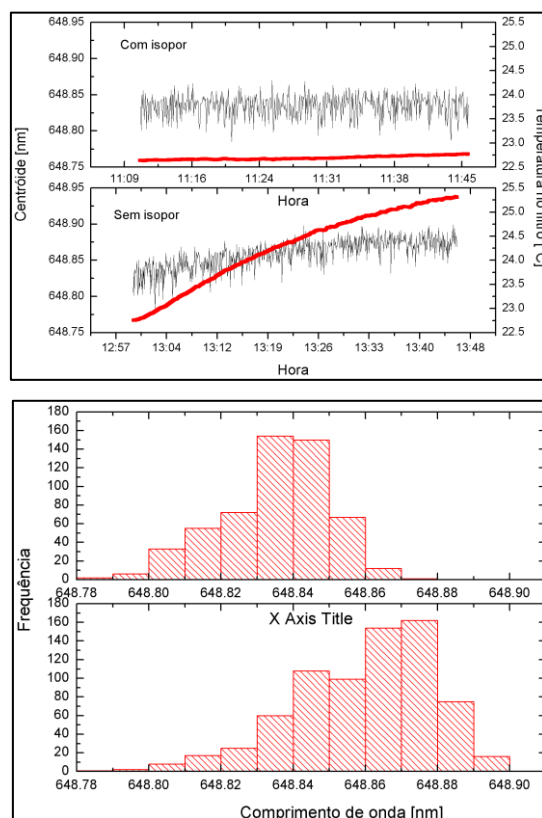


Figura 6. Variação de temperatura (acima) e histograma (abaixo) da variação espectral do filtro.

Foram realizadas medidas de transmitância de três filtros ópticos no sistema de calibração de transmitância espectral regular de filtros ópticos do Inmetro [10] utilizando um espectrofotômetro Cary 5000. As medidas foram realizadas mantendo-se os filtros com temperatura controlada. A figura 7 mostra as medidas de transmitância de três filtros passa-banda em 21°C, 23°C e 25°C.

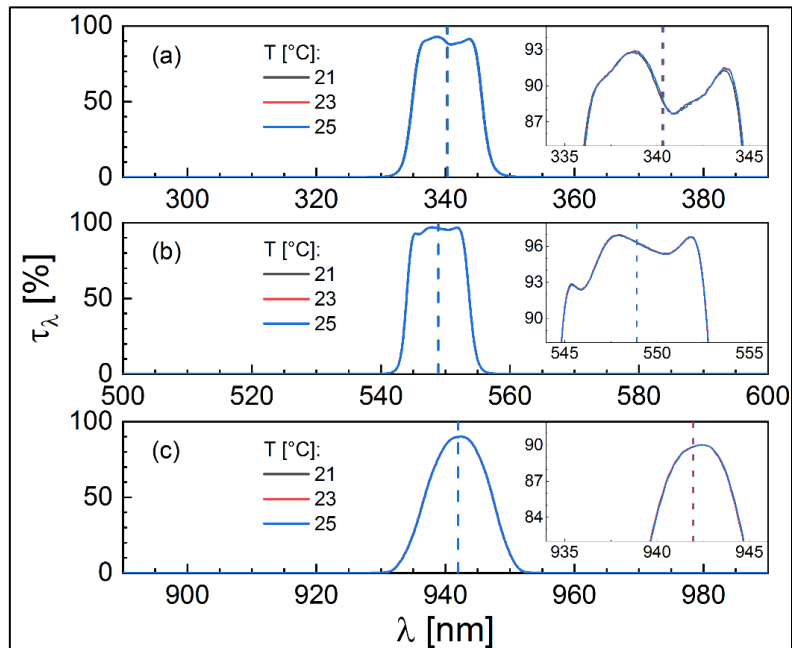


Figura 7. Transmitância espectral dos filtros ópticos em diferentes temperaturas. As linhas tracejadas indicam os centroides (comprimento de onda efetivo). Os detalhes realçam os picos.

O comprimento de onda efetivo do filtro é calculado como o primeiro momento (centroide) da curva de transmitância espectral, τ_λ , através da equação

$$\lambda_0 = \frac{\int_\lambda \lambda \tau_\lambda d\lambda}{\int_\lambda \tau_\lambda d\lambda} \quad (1)$$

Os valores de comprimento de onda efetivo obtidos são mostrados na tabela 1 em função da temperatura dos filtros. Os resultados são comparados à temperatura de 23°C, que corresponde à temperatura ambiente estabilizada do laboratório onde o radiômetro de filtro será futuramente utilizado.

Tabela 1. Comprimento de onda efetivo dos filtros em função da variação de temperatura e comparação com 23°C. A incerteza corresponde ao CMC do KCDB [11].

$\lambda_{nominal}$ [nm]	Temperatura [°C]	$\lambda_T \pm U(\lambda_T)$ [nm]	$\lambda_T - \lambda_{25^\circ C}$ [nm]
340	21	340,27 ± 0,15	-0,05
	23	340,33 ± 0,15	-
	25	340,34 ± 0,15	0,01
550	21	548,89 ± 0,15	0,01
	23	548,88 ± 0,15	-
	25	548,89 ± 0,15	0,01
940	21	941,94 ± 0,15	0,00
	23	941,94 ± 0,15	-
	25	941,97 ± 0,15	0,03

Os resultados obtidos mostram que, dentro de uma variação de até 2 °C no intervalo de um ciclo de leituras a variação do comprimento de onda efetivo (centroide da curva espectral de transmitância) dos filtros passa-banda é menor que a incerteza de calibração da transmitância espectral. A evidência indica ser possível utilizar a roda de filtros sem controle de temperatura. De qualquer modo, é recomendável que este parâmetro seja monitorado durante as medições.

3. Conclusão

Os resultados obtidos indicam que a proposta de modernização do radiômetro de filtro é viável, desde que monitorada a temperatura no filtro durante o processo de medição. Assim, espera-se que o dispositivo seja futuramente utilizado como padrão de transferência para realização da escala de irradiância espectral a partir do radiômetro criogênico de substituição elétrica do Inmetro como padrão primário.

Agradecimentos

P A C Bessa agradece ao programa *Pronametro* pela bolsa de apoio ao projeto desenvolvido.

Os autores agradecem à oficina mecânica do Inmetro pela confecção das peças utilizadas no projeto.

Referências

- [1] Kärhä P, Toivanen P, Manoochehri F and Ikonen E 2010 Spectral irradiance model for tungsten halogen lamps 340-850 nm wavelength range *App. Opt.* **49** 880-886
- [2] Kärhä P, Toivanen P, Manoochehri F, and Ikonen E 1997 Development of a detector based absolute spectral irradiance scale in the 380-900-nm spectral range *App. Opt.* **36** 8909-8918
- [3] Kùbarsepp T, Kärhä P, Manoocheri F, Nevas S, Ylianttila L and Ikonen E 2000 Spectral irradiance measurements of tungsten lamps with filter radiometers in the spectral range 290 nm to 900 nm *Metrologia* **37** 305-312
- [4] Ojanen M 2010 Spectral irradiance and radiation temperature scales *Doctoral Dissertation* Aalto University (Helsinki)
- [5] Lima M S, Menegotto T, Duarte I, Ferreira da Silva T, Alves L C, Alvarenga A D, Almeida G B, Teixeira R N and Couceiro I B 2015 Spectral irradiance measurements based on detector *J. Phys.: Conf. Series* **575** 012023
- [6] Menegotto T, Ferreira da Silva T, Simões M, Sousa W A T, Borghi G Characterization of radiometric transfer standards based on silicon trap detectors 2014 *29th Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2014, Rio de Janeiro/RJ)* 148-149
- [7] Menegotto T, Ferreira da Silva T, Simões M, Sousa W A T, Borghi G 2015 Realization of optical power scale based on cryogenic radiometry and trap detectors *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **64** 1702-1708
- [8] Ferreira da Silva T Secondary calibration of lamps in spectral irradiance 2019 *III Congresso Brasileiro de Metrologia Óptica (CBMO, Florianópolis/SC)*.
- [9] Ferreira da Silva T, Babaro J P, Zinzalari A e Jesiotr V 2021 Intercomparison of indoor and outdoor spectral irradiance measurements between INTI and INMETRO *App. Opt.* **60** 5177-5185
- [10] <http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/servicos/calibDiopt.asp>, acesso em 1/8/2023.
- [11] <https://www.bipm.org/kcdb/cmc/search>, acesso em 1/8/2023.