

Testes de aquecimento de equipamentos utilizados para medições radiométricas em laboratório

Jefferson Fernandes Teixeira Junior^{1,2}
Ruy Morgado de Castro^{1,3}
Flávio Jorge Ponzoni²

¹Instituto de Estudos Avançados - IEAv
Caixa Postal 6044 - 12231-970 -São José dos Campos - SP, Brasil
rmcastro@ieav.cta.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
jefferson.teixeira@inpe.br, flavio@dsr.inpe.br

³Universidade de Taubaté - UNITAU
Caixa Postal 515 - 12201-970 - Taubaté - SP, Brasil
rmcastro@unitau.br

Abstract. The first tests of the Goniometer by LaRaC (Laboratório de Radiometria e Caracterização de Sensores Eletroópticos) are presented, with focus on its equipments functionality. First results showed anomalous behavior of the reflectance factor spectrum of a reference panel obtained at the end of a BDRF data collecting cycle. Since this, exploratory measurements were conducted to identify possible changes in the Spectroradiometer and light source behaviors during its warm up period. To investigate more precisely the influences of each equipment, individuals warm up tests were made, whose results indicated higher variations in the radiance spectral data due to changes in spectroradiometer functionality, mainly in wavelengths regions associated with the detector overlap regions (i.e. 1000 nm and 1800 nm). It was observed that the spectroradiometer achieves reasonable stability after a warm up period of 2,0 h, while the light source showed low variability. In order to verify possible correlations between data variability and environmental parameters, a thermo hygrometer was used to collect data related to these parameters, such as temperature and gases concentration, at the same time as the tests were made, whose results showed no correlation between them. Finally, data in a wavelength band was selected from individual tests to compare radiance in band data to spectral radiance data and, as result, the same behavior was observed in both data.

Palavras-chave: goniometer, spectroradiometer, stability, radiance, goniômetro, espectrorradiômetro, estabilidade, radiância.

1. Introdução

A correta interpretação de dados de sensores remotos que operam na região óptica requer o conhecimento prévio a respeito da interação entre a radiação eletromagnética, os objetos em cena e o próprio sistema sensor. Considerando os dados referentes à radiação refletida, a descrição física do modo como os objetos refletem a radiação, em termos direcionais, é feita em termos da função de distribuição da reflectância bidirecional – (BRDF, do termo em inglês) (NICODEMUS et al., 1977). Embora não possa ser medida diretamente, a BRDF pode ser estimada por meio do fator de reflectância (FR) para algumas geometrias hemisféricas e/ou cônicas.

A determinação do FR é feita a partir das medições de radiância do alvo e de uma placa de referência, submetida às mesmas condições de iluminação e de observação (NICODEMUS et al., 1977). Em campo, os parâmetros ambientais que determinam tais condições, como os ângulos de incidência da luz solar e a composição atmosférica, estão em constante mudança e, por esse motivo, são mais difíceis de serem monitorados e estimados para o momento exato das medições. Para contornar esses efeitos, algumas metodologias (MILTON et al., 2009)

empregam dois sensores, possibilitando registrar a radiância do alvo e a radiância da amostra (ou a irradiância solar) simultaneamente. No entanto, é necessário que ambos os sensores sejam intercalibrados, caso contrário, as incertezas das medições podem aumentar significativamente.

Em ambientes controlados, como em laboratório, tais condições são mais facilmente monitoradas e controladas. Um recurso útil para facilitar a aquisição de dados radiométricos em geometrias definidas é o goniômetro, que consiste em um conjunto de estruturas móveis e estáveis capazes de proporcionar variações no posicionamento do conjunto fonte-alvo-sensor de modo sistemático.

Quando são utilizados goniômetros para se estimar a BRDF, a metodologia mais recente, e comum, adota medições de FR de um alvo de interesse em diversas geometrias de iluminação e de observação (MILTON et al., 2009). Para tanto, pode-se utilizar um único sensor, mais especificamente, um espectrorradiômetro acoplado ao goniômetro, e uma fonte luminosa, geralmente uma lâmpada halógena. No processo de aquisição de dados, são realizadas medições de uma placa de referência, sendo a placa de Spectralon (LABSPHERE, 2004) a mais comum, antes do ciclo de medições do alvo de interesse. Com isto a BRDF é obtida por meio de modelos aplicados aos dados de FR (MARTONCHIK et al., 1998).

Levando em consideração todas as geometrias, com determinada resolução angular, as medições para a determinação da BRDF pode levar um tempo significativo. Ainda que em laboratório as variações ambientais (tais como: temperatura, umidade, concentração de gases, pressão) possam ser atenuadas, em medições que demandam longos períodos de tempo, outras fontes de incerteza podem ganhar maior importância ante à menor variação dos parâmetros ambientais. Entre esses parâmetros, podemos citar aqueles que podem causar variações no funcionamento dos sensores e da fonte de iluminação, tais como a tensão e a corrente da rede elétrica, a temperatura dos detectores do sistema sensor, a temperatura da fonte luminosa, entre outros. Em seus trabalhos, Pinto (2011) concluiu que as incertezas na correção atmosférica dos dados de FR em campo podem ser de até 10% para estimativas de quantidade de água, em comprimentos de onda que sofrem maior influência de vapor d'água, e de até 0,4% para estimativas de concentração de aerossóis. As incertezas devido aos equipamentos foram em torno de 8% em campo e inferiores a 1% em laboratório, considerando que a duração das medições foi de 1 h em campo e de aproximadamente 12 minutos em laboratório.

Como podemos perceber as incertezas e a influência dos instrumentos utilizados nas medições não pode ser negligenciadas. Por isso, torna-se importante conhecer estes equipamentos para poder estabelecer parâmetros de utilização.

Um destes parâmetros de utilização é o tempo de aquecimento dos instrumentos, visto que muitas vezes os circuitos, ou até mesmo alguns componentes eletrônicos, têm seus comportamentos alterados com uma pequena variação da temperatura. Em geral, conforme indicam os fabricantes desses equipamentos, é necessário submetê-los a um período de aquecimento até que atinjam razoável estabilidade térmica e, assim, proporcionem maior confiabilidade quanto ao seu funcionamento. Além disso, embora as variações dos parâmetros ambientais do próprio laboratório possam ser atenuadas, elas podem ter influência sobre o funcionamento dos instrumentos. Por isso, é conveniente monitorar os parâmetros ambientais durante as medições.

Nesse sentido, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o funcionamento dos instrumentos, mais especificamente do espectrorradiômetro e da fonte de iluminação, utilizados no Goniômetro (este melhor detalhado no trabalho “Goniômetro para medições de BRDF e emissividade de materiais de interesse em SR”, também submetido a este Simpósio) do Laboratório de Radiometria e Caracterização de Sensores Eletro-ópticos – LaRaC, do Instituto de Estudos Avançados - IEAv, em São José dos Campos, SP.

2. Goniômetro

O goniômetro do LaRaC, conforme apresentado na Figura 1, pode ser utilizado para a caracterização espectral da BRDF da superfície de amostras de até 0,30 m de diâmetro. Para isso, o equipamento possibilita o posicionamento de uma fonte luminosa, de um espectrorradiômetro e de uma amostra de interesse em diversas geometrias de aquisição de dados de forma automatizada.

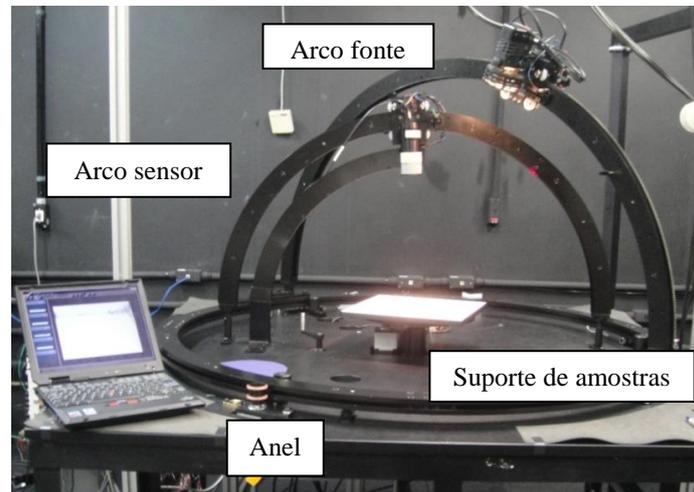


Figura 1. Goniômetro do LaRaC e suas principais estruturas constituintes.

Em um ciclo de movimentação completo, envolvendo todas as geometrias para o conjunto fonte-alvo-sensor, o tempo estimado de medições é de várias horas. Por mais que os equipamentos possam realizar as medições de forma automática, optou-se por dividir o ciclo completo em ciclos reduzidos, a fim de se obter maior controle no monitoramento das medições.

A divisão em ciclos reduzidos foi feita em função de cada uma das posições da fonte luminosa, devido ao seu movimento mais delicado. Para cada posição da fonte, o sensor era mantido sempre ao nadir, enquanto o anel e o suporte de amostras eram rotacionados até completar uma volta completa. Os intervalos angulares eram de 15° para cada movimento, fazendo cada ciclo reduzido durar aproximadamente 6,0 h.

Durante o primeiro ciclo reduzido, constatou-se um comportamento inesperado na curva de FR espectral da placa de Spectralon. Na Figura 2 são apresentadas as curvas obtidas no início e ao final do ciclo reduzido.

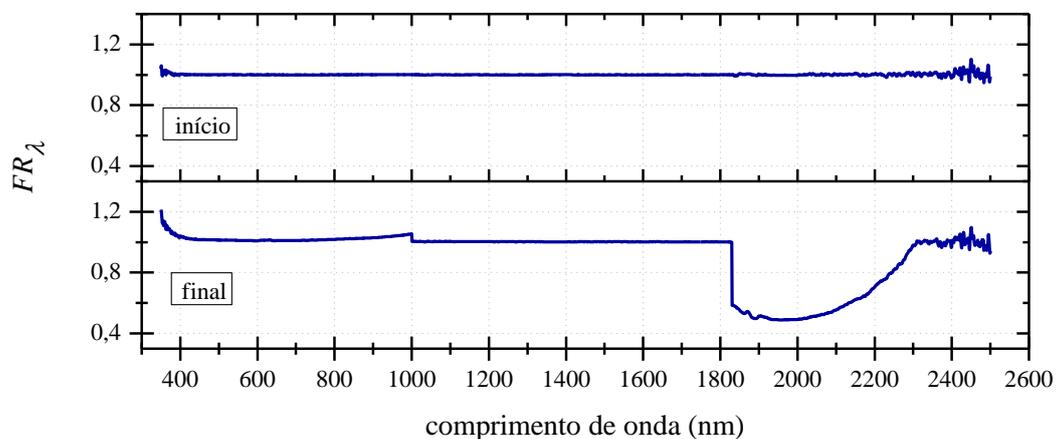


Figura 2. Curvas de FR da placa de Spectralon no início e no final do ciclo de medições da amostra.

3. Medições Exploratórias

A fim de se investigar possíveis alterações no comportamento dos equipamentos devido ao longo período de funcionamento, foram realizadas medições de radiância espectral, L_λ , de uma placa de Spectralon. Na Figura 3, é apresentada a curva de L_λ obtida no início das medições.

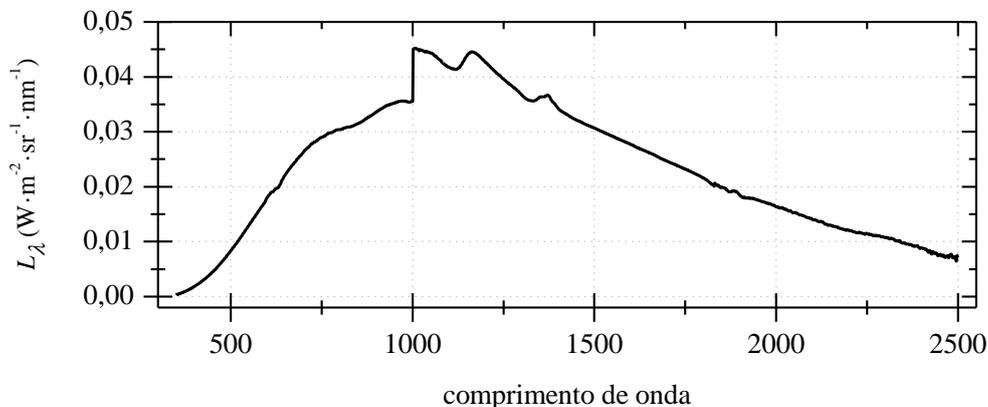


Figura 3. Curva de radiância espectral da placa de Spectralon

Neste teste a ponteira do espectrorradiômetro foi posicionada ao nadir e a fonte, em aproximadamente 30° em zênite e 90° em azimuth, em relação ao sistema de coordenadas centrado na amostra. Em seguida, tanto o espectrorradiômetro quanto a fonte de iluminação foram ligados e, depois de 30 minutos, tiveram início as medições. Foram obtidos espectros de radiância a cada 10 segundos durante aproximadamente 4 h. Os resultados, referentes aos comprimentos de onda de 650 e 930 nm, podem ser observados na Figura 4.

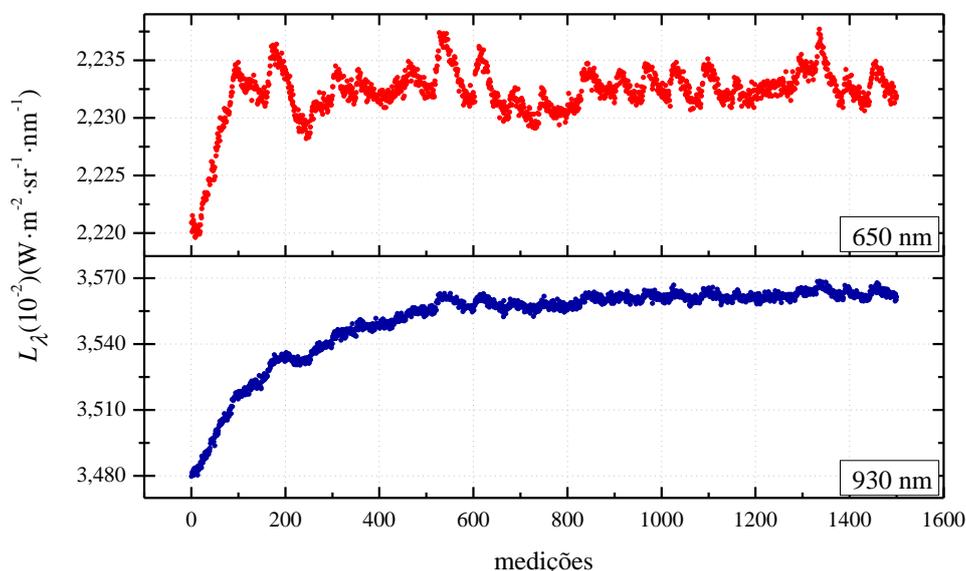


Figura 4. Medições do FR com duração de aproximadamente 4,0 horas para 1500 medições. Na figura são apresentadas as variações de Radiância nos comprimentos de onda de 650 nm e 930 nm.

Por meio da Figura 4 observa-se um comportamento tendencioso até que a estabilidade fosse alcançada, após 2 h (0,5 h de aquecimento e 540 medições, totalizando 2h). Depois deste tempo os valores apresentaram um comportamento “aleatório” em torno de um valor médio. A variação da radiância, que depende do comprimento de onda, foi de 0,8% para 650 nm e de 2,5% para 930 nm.

Para verificar a eventual correlação com os parâmetros ambientais, durante as medições, foi utilizado um termo-higrômetro para monitorar: a temperatura; a umidade relativa do ar; a concentração de CO₂; etc., medidos em intervalos de 1,0 minuto. O resultado para alguns destes parâmetros pode ser observado na Figura 4.

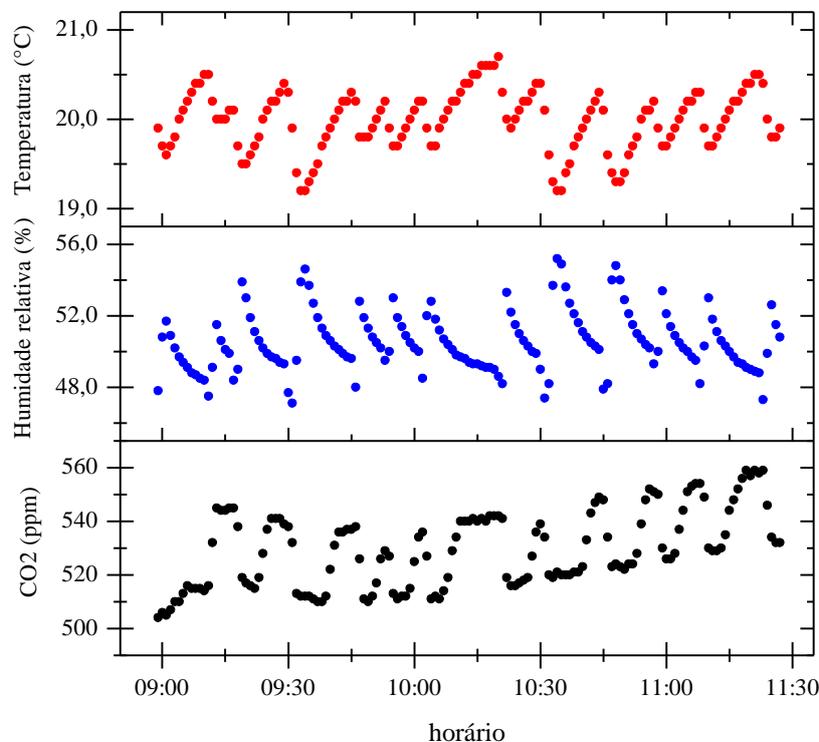


Figura 5. Medições de parâmetros ambientais durante o as medições exploratórias.

Como pode ser observado, a curva do FR foi alterada de maneira “não prevista”, uma vez que o Spectralon é um material conhecido por apresentar comportamento estável ao longo do espectro óptico (MILTON et al., 2009). Além disso, quando o comportamento da radiação, ver Figura 4, é comparado com o comportamento os valores dos parâmetros ambientais, ver Figura 5, não foram observadas correlações entre eles.

Portanto, a partir destes fatos, foi suposto que as alterações no comportamento da radiação pudessem ter origem em mudanças nas propriedades dos detectores do espectrorradiômetro Fieldspec e/ou do filamento da lâmpada halógena, em virtude de aquecimento dos materiais constituintes, por exemplo. Caso o comportamento da radiação fosse dependente do comprimento de onda de forma sistemática, por exemplo, isto indicaria que o funcionamento da lâmpada pudesse ser o fator mais influente.

Nesse sentido, foram realizadas séries de medições que tinham como objetivo tentar identificar mudanças no comportamento desses equipamentos ao longo de um prolongado período de medições.

4. Metodologia

Com o objetivo de se investigar qual equipamento pudesse sofrer mais alterações e, com isso, pudesse ser mais influente no comportamento dos dados, foram realizados testes de aquecimento "individuais". Nesses testes, tanto o aquecimento do espectrorradiômetro quanto o da lâmpada foram estudados separadamente.

Para o teste do espectrorradiômetro, por exemplo, a lâmpada passou por um período de 1,5 h de aquecimento e, então, o espectrorradiômetro foi ligado e mantido em aquecimento por 0,5 h. Em seguida foram realizadas 1500 medições de radiação espectral, em intervalos

de 10 segundos, totalizando cerca de 4,0 horas de medição. Analogamente, o procedimento inverso foi realizado para lâmpada.

Essas medições, denominadas testes de aquecimento, foram feitas com o goniômetro em geometria de iluminação e de observação fixa, a saber: a) a fonte luminosa em 30° em zênite e 0° azimuth e; b) placa de Spectralon (como alvo) em 0° em azimuth. Além disso, mesmo senso descartada a dependência com algum parâmetro ambiental, eles foram monitorados durante as medições.

5. Resultados

Devido a grande quantidade e à dimensionalidade dos dados, foram selecionados resultados referentes a comprimentos de onda representativos.

Os resultados de ambos os testes "individuais" são apresentados na Figura 6, para o mesmo comprimento de onda de 930 nm.

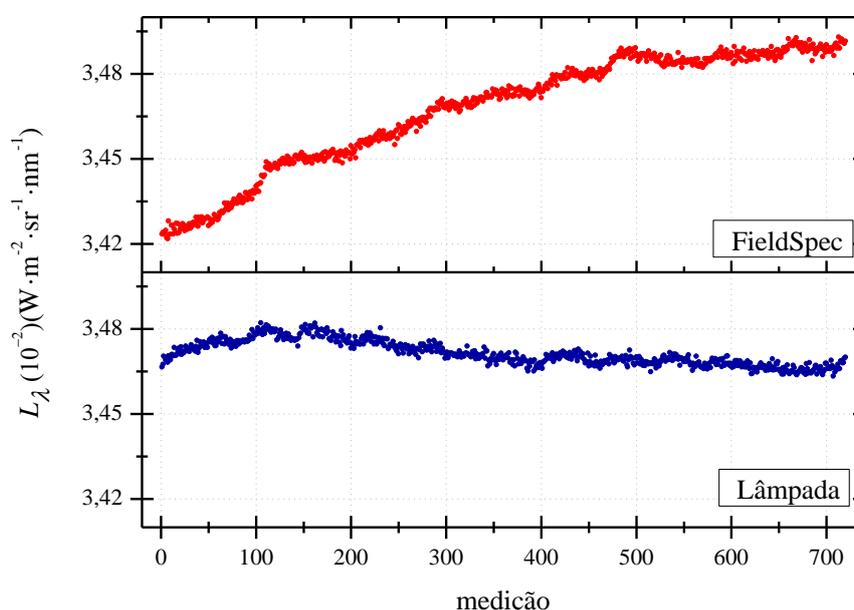


Figura 6. Testes individuais de aquecimento, de 2,0 horas, do espectrorradiômetro Fieldspec e da lâmpada, ambos para o comprimento de onda de 930 nm.

Os gráficos da Figura 6 indicam que as alterações observadas nas curvas da radiância espectral estão mais relacionadas às alterações no funcionamento do espectrorradiômetro Fieldspec do que da lâmpada. Por exemplo, no comprimento de onda de 930 nm, a variação dos dados no caso do Fieldspec foi de aproximadamente 3,5%, em torno da média, enquanto no caso da lâmpada, de 0,7%.

Em comprimentos de onda menores, na faixa do visível, as variações no caso do Fieldspec são menores. No comprimento de onda de 650 nm, por exemplo, a variação dos dados, conforme é apresentado na Figura 7, foi de cerca de 0,5%.

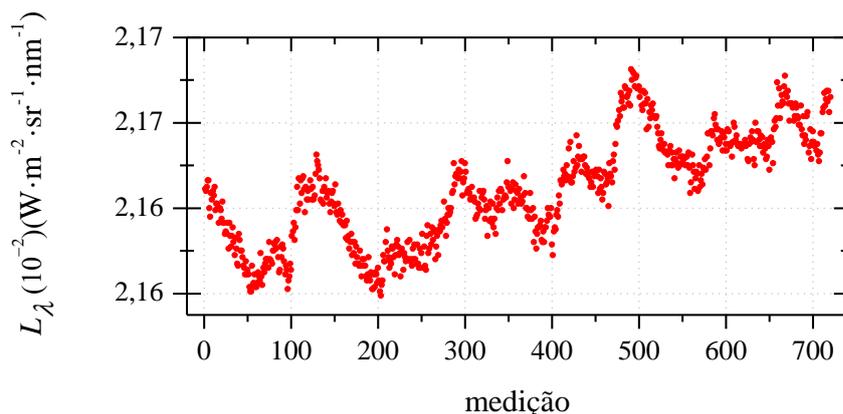


Figura 7. Teste individual de aquecimento do Fieldspec, no comprimento de onda de 650 nm.

Comportamento semelhante pode ser observado para a radiância espectral, na faixa de comprimento de onda correspondente ao vermelho no espectro visível. Os gráficos da Figura 8 correspondem aos dados na faixa entre 625 e 691 nm. Os dados apresentaram variação de 0,45%.

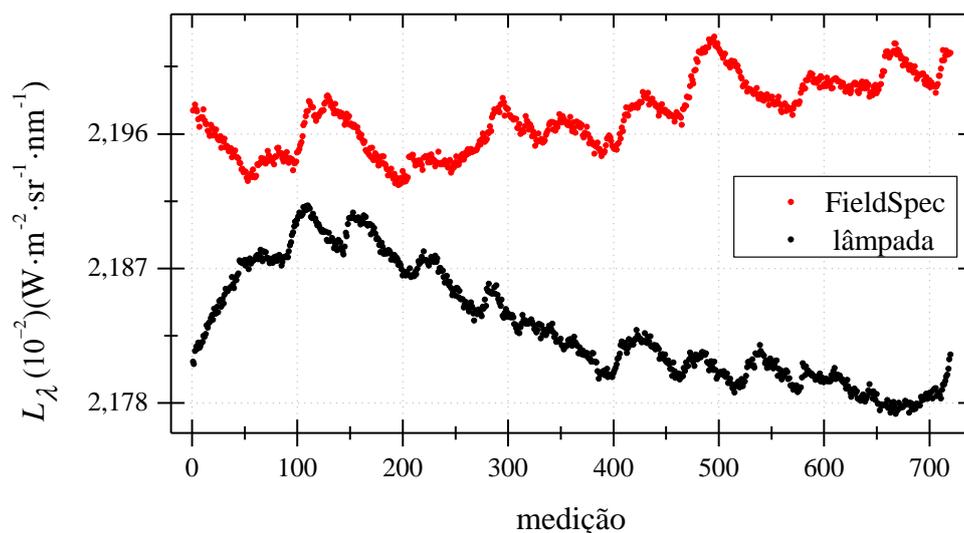


Figura 8. Teste de aquecimento do espectrorradiômetro Fieldpsec e da lâmpada na faixa de comprimentos de onda de 625 e 691 nm.

Neste caso, o aspecto das curvas e a variação dos dados foram semelhantes aos das curvas em comprimentos de onda específicos dentro da mesma faixa espectral.

6. Conclusão

Os resultados obtidos indicam que em longos períodos de medições radiométricas o espectrorradiômetro pode apresentar variações significativas em seu funcionamento e, portanto, comprometer a obtenção de dados mais precisos.

Assim, embora em ambiente de laboratório, onde as condições ambientais são mais estáveis quando comparadas com as de campo, a necessidade de submeter os espectrorradiômetros a um período de aquecimento de no mínimo de 2,0 h, a fim de que atinjam estabilidade razoável e, portanto, não introduzam maiores incertezas nas medições radiométricas.

Para assegurar menores incertezas nas medições de longa duração, a análise dos resultados dos testes permitiu estabelecer uma rotina padrão de aquecimento dos equipamentos, a qual compreende 2 h de aquecimento do espectrorradiômetro e 0,5 h da lâmpada, antes que tenham início os ciclos de medições espectrorradiométricas.

Referências Bibliográficas

Labsphere Inc. **Calibration certificate**. Sutton, New Hampshire, USA: Labsphere. Report Number: 42345-2-1, 2004. xvi, 44, 45

Martonchik, J. V., Diner, D. J., Pinty, B., Verstraete, M. M., Myneni, R. B., Knyazikhin, Y., & Gordon, H. R.. Determination of land and ocean reflective, radiative, and biophysical properties using multiangle imaging. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1266-1281, 1998.

Milton, E. J.; Schaepman, M. E.; Anderson, K.; Kneubühle, M.; Fox, N. Progress in field spectroscopy. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n. 1, p. 92-109, 2009.

Nicodemus, F. E.; Richmond, J. C.; Hsia, J. J.; Ginsberg, I. W. **Geometrical considerations and nomenclature for reflectance**. Washington, DC: National Bureau of Standards, US Department of Commerce, 1977. 52 p. (MBS Monograph, 160)

Pinto, C. T. **Avaliação das incertezas na caracterização de superfícies de referência para calibração absoluta de sensores eletroópticos**. 2011. 167 p.(sid.inpe.br/mtc-m19/2011/03.30.18.09-TDI).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39E3LH2>>. Acesso em: 10 nov. 2016.