

OTIMIZAÇÃO DA ÓTICA DE ENTRADA POR TRAÇADO DE RAIOS NO DESENVOLVIMENTO DE UM RADIÔMETRO UV

Luiz Ângelo Berni - berni@plasma.inpe.br

Waldeir Amaral Vilela – waldeir@las.inpe.br

Antônio Fernando Beloto – beloto@las.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LAS).
Av. dos Astronautas, 1758 – São Jose dos Campos - SP, 12227-010

Resumo. *O interesse em conhecer os níveis de radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre tem aumentado nos últimos anos. Os instrumentos mais utilizados são radiômetros que apresentam campo de visão hemisférica com resposta segundo a lei dos cossenos. Durante o desenvolvimento de um radiômetro para medir a radiação UV foi utilizado o programa de traçado de raios ZEMAX para determinar a geometria da ótica de entrada com a melhor resposta angular. Através da simulação foi possível verificar a influência da altura do difusor em relação ao corpo do radiômetro e o efeito do anel de bloqueio da radiação tangente. Os melhores resultados foram obtidos utilizando um difusor com altura de 1,5mm e anel de 0,8mm x 1,0mm com diâmetro interno de 30,0mm. O modelo ótico utilizado foi validado comparando a simulação com a resposta angular medida para três difusores com acabamentos diferentes.*

Palavras-chave: Radiômetro, Ótica de entrada, Radiação Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

Apesar da radiação ultravioleta (UV) que atinge a superfície da terra contribuir apenas com 5% da radiação total, o interesse em conhecer os níveis da radiação UV tem aumentado devido a diminuição da camada de ozônio e pelo efeito adverso desta radiação na biosfera [U. Feister, 1992]. Devido a absorção pela atmosfera, apenas a radiação UV com comprimentos de onda superior a 290nm atingem a superfície terrestre. Basicamente pode-se escolher entre dois tipos de instrumentos para medir a radiação, instrumentos de alta resolução espectral (ex.: monocromadores com fotomultiplicadoras) ou instrumentos de baixa resolução espectral (ex.: fotodiodos acoplados a filtros). Os instrumentos de alta resolução são mais caros, volumosos, necessitam calibrações periódicas, normalmente são controlados por computador e portanto exigem maior esforço quando usados em campo. Já os instrumentos de baixa resolução são pequenos, relativamente baratos, fáceis de serem usados em campo porém, não fornecem informações relativas ao comprimento de onda da radiação a ser medida. Normalmente, para estas medidas são empregados instrumentos que apresentam campo de visão hemisférica e para tanto, devem apresentar resposta que decresce exatamente com o ângulo de incidência (lei dos cossenos).

Os sinais medidos pelos radiômetros são afetados por vários tipos de erros, por exemplo, ruído elétrico, luz espúria, offset na eletrônica, degradação da ótica, resposta não linear do detector e desvio da resposta em relação à lei dos cossenos da ótica de entrada. É bem conhecido que os sensores utilizados para medidas de irradiância global não apresentam uma perfeita resposta a lei dos cossenos [J. J. Michalsky, 1995]. Esta resposta piora com o aumento do ângulo de incidência, devido principalmente ao aumento da reflexão especular para ângulos grandes. Justifica-se que a maior contribuição para a integral da irradiação diária é para grandes elevações do sol e o erro cometido em pequenas elevações não apresenta contribuições significativas. Mas quando se determina a radiação direta através da diferença entre a radiação global e difusa medidas o erro cometido nesta última pode ser estimado o valor da irradiância direta. Erros de até 10% podem ser observados na medida da radiação direta determinado por este método devido ao erro na lei dos cossenos [Julian Grobner, 2003]. Na prática, pode-se melhorar a resposta experimentando uma variedade de materiais difusores, superfícies com diferentes rugosidades e configurações geométricas. A maior dificuldade acontece para ângulos superiores a 60°. Neste trabalho, foi utilizado o programa de traçado de raios ZEMAX para otimizar a ótica de entrada de um radiômetro

UV que esta em fase de desenvolvimento no laboratório. Também foi instalada uma bancada óptica para a medida da lei dos cossenos para validar o modelo utilizado.

2. MODELO ÓTICO DO DIFUSOR

O modelo tridimensional em CAD da ótica de entrada do radiômetro UV foi transferido para o ZEMAX [ZEMAX, 2009] usando rotinas SAT. Neste modelo, as partes mecânicas foram consideradas absorvedores (alumínio anodizado de preto) e para o difusor de teflon foi considerado transmissão média de 10%, valor medido no laboratório com esfera integradora para uma pastilha de teflon de espessura de 3,0 mm, índice de refração de 1,40 [H. K. Kim, 2001] e densidade de 2,2g/cm³. A área de detecção de diâmetro de 6,35 mm corresponde a entrada do fotodiodo a ser utilizado. Na simulação foi considerado um feixe cilíndrico de luz com distribuição uniforme. O feixe é composto por 300 mil raios e cada raio deixa de ser traçado após ser absorvido ou quando a sua energia relativa for inferior a 10⁻⁴. Para a simulação foi considerado apenas o comprimento de onda de 366 nm (UVA). Na superfície do difusor os raios incidentes sofrem espalhamento do tipo lambertiano e internamente sofrem espalhamento volumétrico com ângulo variando entre 0° a 180° e com caminho livre médio de 0,16mm. As dimensões e detalhes do modelo considerado estão na Fig. 1.

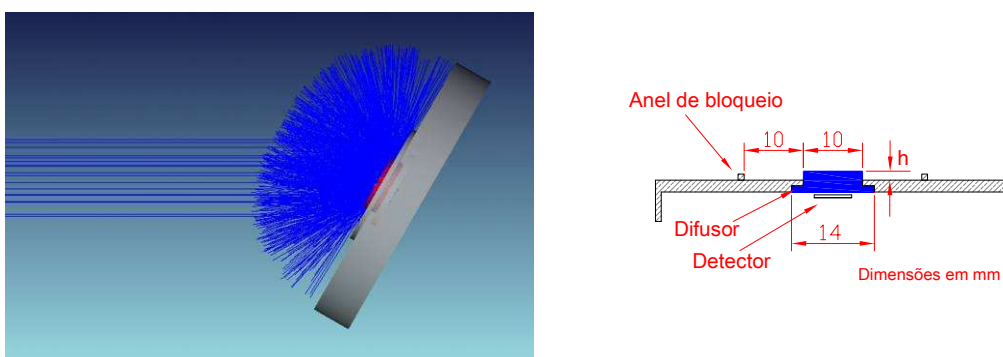


Figura 1 - Detalhes do modelo ótico para o radiômetro UV em fase de desenvolvimento. Esquerda: simulação do programa ZEMAX que mostra o feixe incidente sendo espalhado na superfície do difusor (em vermelho). Direita: Dimensões do modelo.

2. BANCADA ÓTICO PARA VALIDAÇÃO DO MODELO

Para fazer a medida da lei dos cossenos foi montada uma bancada óptica no laboratório conforme mostra a Fig. 2. A fonte de luz é uma lâmpada de descarga de alta pressão de mercúrio e xenônio de 500W (Newport 66142, 500W Hg(Xe)). Nesta montagem, a luz percorre um caminho de 2,85m e 5 aberturas com diâmetro de 46mm são utilizadas para colimar o feixe e bloquear a luz espúria. No final do caminho existe uma sexta abertura com diâmetro ajustável entre 1 e 40mm. O perfil do feixe colimado foi medido utilizando uma câmera fotográfica (Canon XTi – 10 Mega pixels) sem objetiva de forma que o sensor ficasse exposto diretamente, ver Fig. 3. A íris ajustável de saída foi fixada em 13mm para garantir que o feixe ficasse completamente dentro do CCD da câmera fotográfica. Através das fotos da Fig. 3 verifica-se que o feixe é homogêneo e apresenta uma divergência menor que 0,5°. A imagem deslocada que aparece no lado direito da fotografia se deve ao posicionamento deslocado do espelho esférico no “housing” da lâmpada em relação ao eixo ótico do sistema (deslocamento sugerido pelo fabricante para evitar super aquecimento dos eletrodos da lâmpada). O espectro da lâmpada UV foi medido na saída do tubo de colimação com um espectrômetro GetSpec modelo 2048, como mostra a Fig. 4. A Fig. 5 mostra a montagem utilizada para a medida da lei dos cossenos de um difusor em teste. O alinhamento do sistema é realizado colocando um espelho plano no lugar do difusor em teste e fazendo com que a reflexão volte sobre o mesmo caminho ótico. Atualmente a variação do ângulo de incidência é manual e o erro de leitura de 1°.

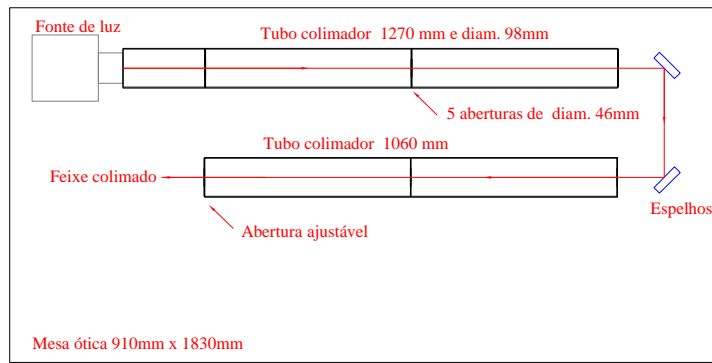


Figura 2 - Bancada ótica para colimar o feixe da lâmpada de alta pressão.

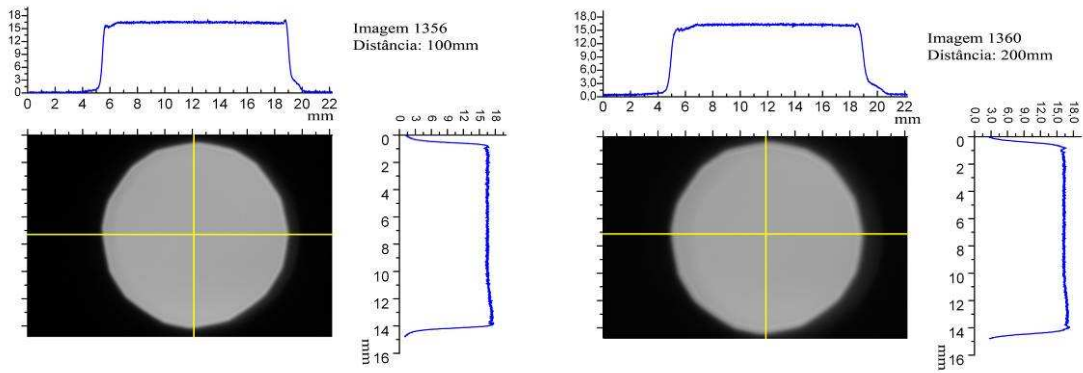


Figura 3 - Perfis do feixe na saída do colimador para duas posições distintas.

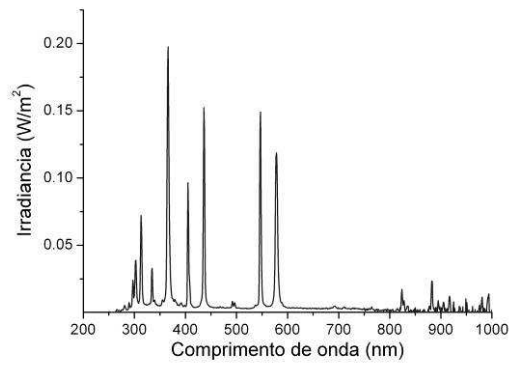


Figura 4 - Espectro da lâmpada de descarga de alta pressão de mercúrio e xenônio de 500W (Newport 66142, 500W Hg(Xe)) na saída do colimador.



Figura 5 - Detalhe da bancada ótica com dispositivo para medida de resposta angular (lei dos cossenos).

3. RESULTADOS

Inicialmente o modelo ótico utilizado no ZEMAX foi validado comparando a simulação com medidas realizadas na bancada ótica para três difusores idênticos, porém com acabamentos superficiais diferentes. Os difusores foram instalados e alinhados na bancada ótica descrita anteriormente e o ângulo de incidência foi variado de 0° a 90° em passos de 5° . Para cada difusor foram realizadas três medidas completas. Para detectar o sinal foi utilizado o fotodiodo TW30DY2 que será empregado no protótipo final do radiômetro. A mesma geometria do difusor foi utilizada no ZEMAX com mostra a Fig. 1. Com os resultados apresentados na Fig. 6, verifica-se que para ângulos inferiores a 60° os difusores apresentam a mesma resposta e a simulação reproduz de forma fiel as medidas. Para ângulos acima de 60° o acabamento da superfície influencia a resposta do difusor e verifica-se que a simulação do ZEMAX se aproxima das medidas para a superfície quase polida, uma vez que no modelo não foi considerado a rugosidade da superfície.

Para determinar a melhor geometria da ótica de entrada três parâmetros foram considerados: a altura (h) do difusor acima da superfície do radiômetro para compensar a perda por reflexão (ver Fig. 1), o raio de curvatura da superfície e por último foi incluído um anel de bloqueio da radiação tangente para corrigir a detecção da radiação através da lateral (borda) do difusor. A Fig. 7 resume os resultados obtidos, onde se verifica que a altura do difusor acima da superfície do radiômetro deve ser inferior a 2,0mm e que a inclusão do anel de bloqueio contribui para corrigir o sinal para ângulos grandes de incidência. As Fig. 8 e 9 mostram o erro em relação a lei dos cossenos. A Fig. 8 mostra os resultados variando o parâmetro h e o raio de curvatura, onde verifica-se que $h = 1,5\text{mm}$ apresenta o melhor resultado. Para ângulos acima de 50° os valores de h de 0 mm, 0,5mm e 1,0mm apresentam intensidade do sinal abaixo da resposta ideal para uma faixa entre 50° e 80° . Para o difusor com $h = 2,0\text{mm}$ o sinal fica acima do ideal para ângulos a partir de 30° . Utilizando o difusor com $h = 1,5\text{mm}$ foi incluído na simulação um anel de bloqueio de altura variável entre 0,5mm e 0,9mm para corrigir o nível do sinal a partir dos 80° (ver Fig. 1). A Fig. 9 mostra a influência do anel, onde podemos verificar que o anel de 0,8mm de altura apresenta o melhor resultado.

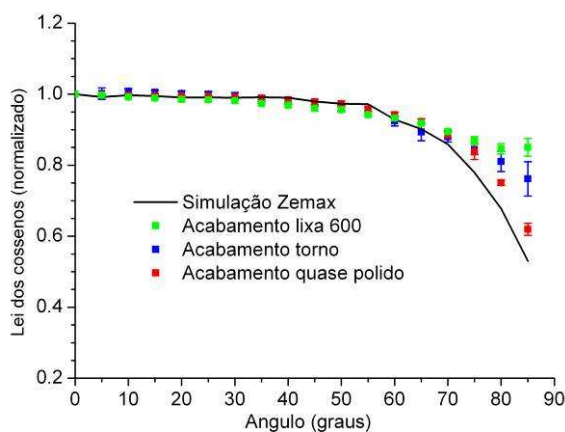


Figura 6 - Comparação do modelo simulado no Zemax com três difusores com acabamentos diferentes.

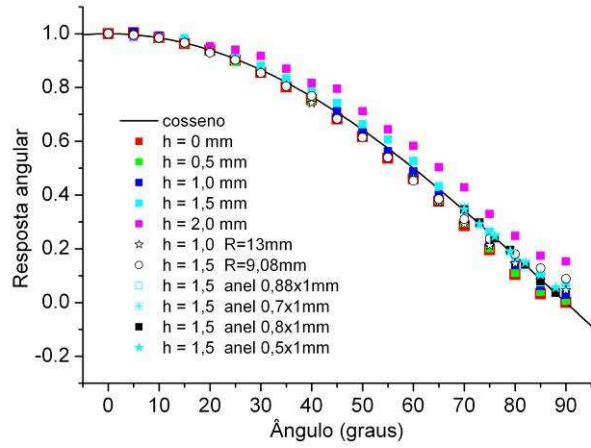


Figura 7 - Resposta angular obtida através da simulação do Zemax variando alguns parâmetros do difusor de teflon.

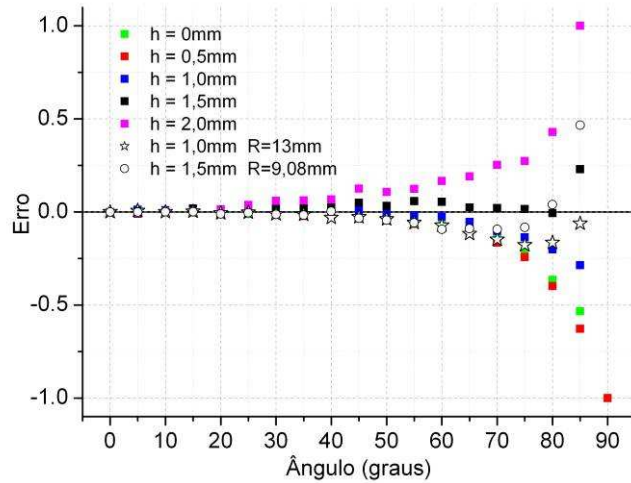


Figura 8 - Erro na resposta angular para diversos valores de h e para dois raios de curvatura.

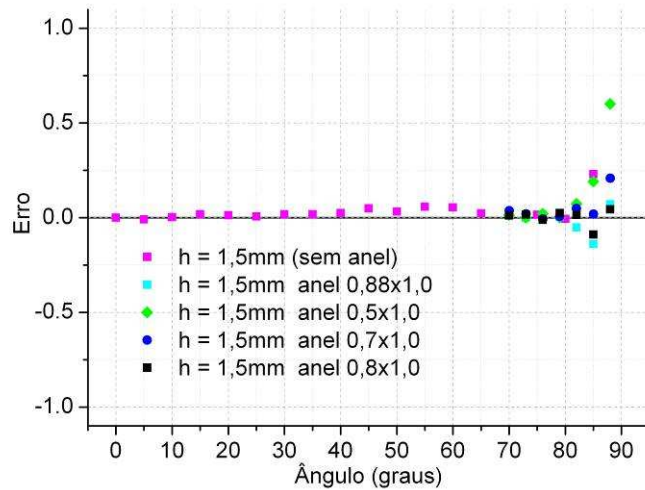


Figura 9 - Influência do anel de bloqueio na resposta angular do difusor de $h = 1,5$ mm.

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Dentro dos parâmetros utilizados para otimizar a ótica de entrada do radiômetro a altura (h) de 1,5 mm acima do corpo do radiômetro e o anel de bloqueio de 0,8mmx1,0mm apresentaram os melhores resultados. Desta forma, o difusor ficou com as seguintes dimensões (ver Fig. 1): disco superior de 10,0 mm de diâmetro com espessura de 2,5 mm, disco inferior de 14,0 mm de diâmetro e espessura de 1,0 mm e anel de bloqueio com diâmetro interno de 30,0 mm e parede de 0,8mm de altura e 1,0 mm de espessura que corrige o sinal para ângulos superiores a 85° .

Os próximos passos constam de construir um protótipo com a ótica de entrada proposta, caracterizar o radiômetro em bancada, comparar os resultados com a simulação, desenvolver um amplificador com compensação de temperatura e fazer medidas em campo.

REFERÊNCIAS

- H. K. Kim, F. G. Shi; Refractive index of polycrystalline submicrometer polymer thin films: Thickness dependence; Journal of Materials Science: Materials in Electronics 12 (2001) 361 – 364.
- Julian Grobner; Applied Optics vol. 42, no. 18, June 2003
- J. J. Michalsky, L. C. Harrison, and W. E. Berkheiser; Cosine Response Characteristics of Some Radiometric and photometric Sensors; Solar Energy, vol. 54, num. 6, pp. 397 – 402, 1995
- U. Feister, K. H. Grasnick and R. Grewe; Instruments for Broad-Band UV Radiation Measurement; Solar Energy, vol. 49, num. 6, pp 535 – 540, 1992.
- ZEMAX Development Corporation, 2009.

Abstract. *The interest in the ultraviolet radiation that reaches the earth surface has increased in the last years. The instruments used for these measurements are radiometers with hemispherical entrance optics with cosine response. During the development of a radiometer to measure the ultraviolet radiation it was used the ray tracing ZEMAX program to determine the entrance optics with the best angular response. Through the simulation it was possible to verify the influence of the height of the diffuser with regard to the radiometer body and the effect of the ring used to block the tangential radiation. The best results were obtained with a diffuser with 1.5mm height and ring with 0.8mm x 1.0mm with a diameter of 30.0mm. The optical model was validated comparing the simulation with measured angular response of three diffusers with distinct surface finishing.*

Key words: Radiometer, Entrance optic, Ultraviolet radiation.