



**III ENCONTRO NACIONAL
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**
Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

UMA EXPERIÊNCIA COM A CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO RADIANTE DE ABERTURAS

Fernando O. Ruttkay Pereira, PhD

Universidade Federal de Santa Catarina - Dept^o de Arq. e Urb. - Lab. de Conforto Ambiental
CEP 88040-900 Florianópolis - SC - BRASIL

☎ (048) 231-9741 📠 (048) 231-9770 E-mail: arq1for@ibm.ufsc.br

RESUMO

Este artigo descreve uma experiência com a caracterização do comportamento radiante de aberturas, em especial a distribuição angular de luminâncias. O parâmetro utilizado para definir o comportamento radiante de aberturas foi a transmitância bidirecional (TBD). O aparelho experimental usado para determinar este parâmetro - *radiômetro de varredura*, foi construído com base na experiência do Lawrence Berkeley Laboratory (Califórnia, EUA). Os resultados de testes iniciais desenvolvidos para a determinação da TBD de um sistema de persianas horizontais espelhadas são apresentados e discutidos; bem como limitações e cuidados especiais na operação do aparato experimental.

ABSTRACT

This paper describes an experience on the assessment of the fenestration radiant behaviour, in especial the luminance angular distribution. The parameter chosen to define the radiant behaviour was the bidirectional transmittance (BDT). The experimental device - scanning *radiometer* - used for measuring this parameter was built based on the experience of Lawrence Berkeley Laboratory (California, USA). The results from the initial tests developed for the determination of BDT for a horizontal mirrored louvre system are presented and discussed; as well some limitations and especial care to be considered in the use of the experimental device.

PALAVRAS-CHAVE

Aberturas; iluminação natural; comportamento radiante; transmitância bidirecional

INTRODUÇÃO

Aberturas afetam o consumo de energia nas edificações de duas maneiras distintas. A energia solar admitida pode tanto reduzir cargas de aquecimento como aumentar as cargas de refrigeração; enquanto a luz natural admitida pode reduzir o consumo de energia elétrica para iluminação. Na prática, para a avaliação dos efeitos do ganho de calor solar, a maioria dos modelos de simulação de energia em edificações disponíveis requer apenas a quantidade total de energia radiante admitida pelas aberturas. Entretanto, para uma avaliação detalhada da distribuição dos níveis de iluminação interna, e consequente estimativa de redução de consumo de energia elétrica, se requer o conhecimento da distribuição espacial da luminância das aberturas. Exceto para situações simples é bastante difícil determinar esta distribuição espacial, especialmente no caso de dispositivos mais complexos de controle de sombreamento e iluminação natural.

REFERENCIAL TEÓRICO

Vários autores (Kessel & Selkowitz, 1984; Scamoni et al, 1984; Krochmann et al, 1987; Vancini et al, 1990) têm descrito o uso de grandes esferas integradoras para a medição da transmitância hemisférica (espectro solar e visível) de aberturas, que é suficiente para a computação do total de energia admitida pelas aberturas. Entretanto, para uma descrição precisa da iluminação interna é necessário conhecer o comportamento radiante das aberturas, ou melhor, o conhecimento da distribuição angular da luz admitida pelas aberturas para qualquer condição de sol e céu exterior.

A transmitância bidirecional é definida por Papamichael e co-autores (1986) como “a taxa do fluxo transmitido contido num ângulo sólido na direção de saída, definida pelos ângulos θ_o e ϕ_o , pelo fluxo colimado incidente na direção definida pelos ângulos θ_i e ϕ_i ” (ver Equação 1 e Figura 1).

$$\tau(\theta_o, \phi_o; \theta_i, \phi_i) = \frac{dL_o(\theta_o, \phi_o)}{dE_i(\theta_i, \phi_i)} \quad (\text{sr}^{-1}) \quad (1)$$

onde dL_o é a luminância na direção (o) e dE_i é a iluminância voltada para a direção (i)

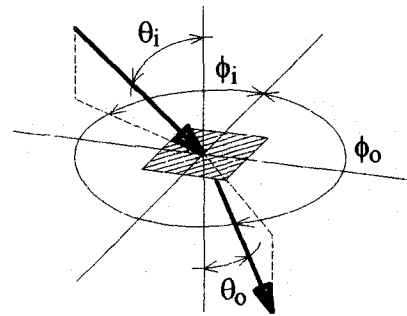


Figura 1: Ângulos de referência para a transmitância bidirecional.

O aparelho proposto e utilizado por Papamichael e co-autores (1988) no Lawrence Berkeley Laboratory - LBL para medir a transmitância foi chamado de *radiômetro de varredura* (scanning radiometer) e consiste numa estrutura circular que contém o modelo da abertura em estudo e um sensor de iluminâncias móvel sobre um semi-arco vertical que cobre, por rotação, todo um hemisfério do modelo (Figura 2).

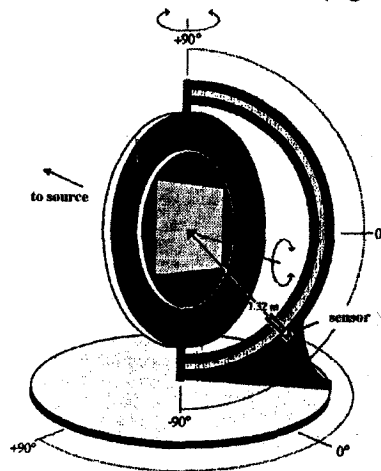


Figura 2: Desenho esquemático do radiômetro de varredura de LBL (Papamichael et al, 1988).

A luminância do modelo $\overline{L}_0(\theta_o, \phi_o)$ numa dada direção pode ser obtida dividindo-se a iluminância E_s medida pelo sensor pelo fator de forma subtendido pelo sensor com relação à área do modelo:

$$\overline{L}_0(\theta_o, \phi_o) = \frac{E_s}{\text{Fator de Forma}_{(\text{SENSOR} - \text{MODELO})}} \quad (\text{lumens.m}^2.\text{sr}^{-1}) \quad (2)$$

A suposição contida neste enfoque é de que, uma vez que o sensor recebe luz de toda a área do modelo, a luminância calculada acima (Equação 2) é uma média através da área do modelo. Assim, o comportamento radiante do modelo é assemelhado a um valor chamado “luminância equivalente média” (Figura 3).

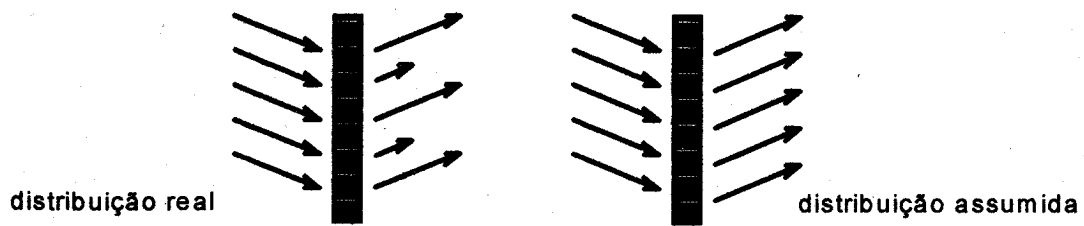


Figura 3: Conceito da “luminância equivalente média” sobre a abertura (Papamichael et al, 1988).

A validade desta suposição ainda necessita ser mais cuidadosamente testada espacialmente para geometrias complexas que incorporam superfícies com reflexão especular.

DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de auxiliar no estudo do comportamento de sistemas de persianas espelhadas construiu-se um equipamento semelhante ao radiômetro do Lawrence Berkeley Laboratory. Foi construído em madeira para ser operado manualmente (Figura 4). A fonte de luz direcional foi a lâmpada de um heliodon e para o sensor móvel foi utilizado um luxímetro Minolta T-1M, cuja fotocélula ($\varnothing 14$ mm) era movida e fixada ao longo do arco com a ajuda de uma fita de velcro (Pereira, 1992).

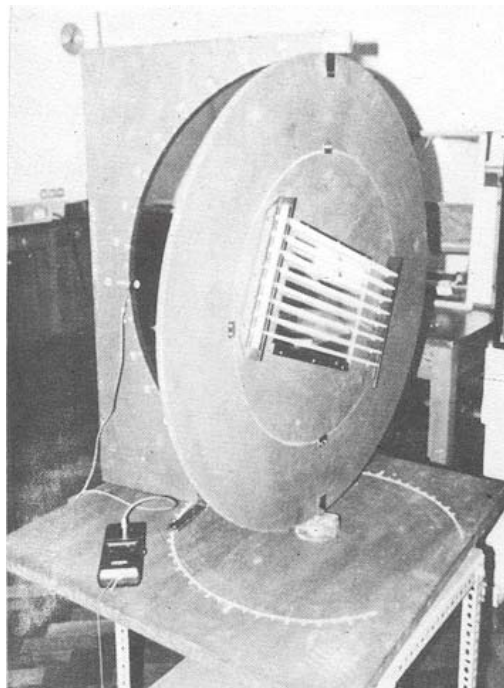


Figura 4: Radiômetro construído para o presente estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um aspecto extremamente importante na operação da radiômetro é que enquanto a fonte de luz permanece fixa, o disco que contém o modelo pode girar em dois planos diferentes no sentido de obter-se os ângulos de incidência desejados. Entretanto, quando o modelo é girado dentro do disco ao longo do ângulo azimutal relativo (ver Figura 5), as coordenadas de referência para a posição do sensor são perdidas, porque o arco, onde se move o sensor, permanece na posição vertical (ver Figura 6). Deve-se proceder uma transformação de coordenadas para determinar os novos ângulos de altura e azimute do sensor que correspondam à posição real no hemisfério do modelo no qual a radiação emerge. No caso de um radiômetro operado por computador esta transformação deve ser incluída no sistema de controle da operação.

Exemplo: Caso o disco interno for rotacionado de 40° para a obtenção de um determinado ângulo de incidência e deseja-se determinar a transmitância bidirecional para uma altura de 30° e azimute de 60° no hemisfério de saída, o sensor deve ser posicionado a uma altura de $-5,7^\circ$ e a um azimute de $64,3^\circ$ no sistema de coordenadas fixo do aparelho.

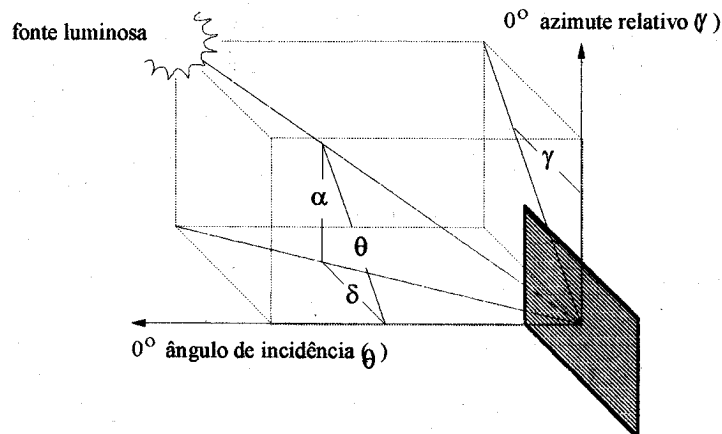


Figura 5: Relação entre o ângulo de incidência e azimute relativo.

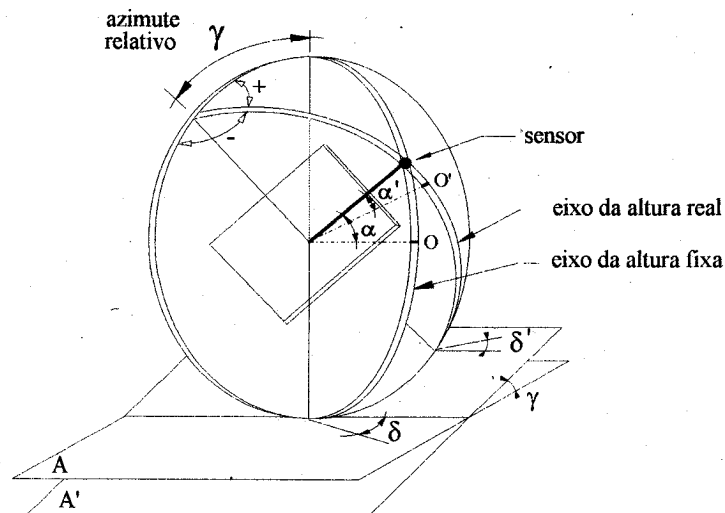


Figura 6: Correção das coordenadas para operação do radiômetro.

Uma série de medições foram realizadas com o radiômetro de varredura para a caracterização da distribuição da transmitância bidirecional de um sistema de persianas horizontais espelhadas. Os valores finais foram calculados através das equações (1) e (2); o fator de forma do modelo para o sensor foi calculado pelo Método da Esfera Unitária (Siegel & Howell, 1984).

A configuração da persiana analisada foi:

- lâminas horizontais difusoras ($W/S = 1$), não enclinadas e cobrindo a abertura desde o peitoril até 2m acima do piso;
- lâminas horizontais espelhadas ($W/S = 1.2$), enclinadas para cima de 23° e cobrindo toda a parte superior da abertura (0,7 m).

A Figura 7 apresenta a distribuição da transmitância bidirecional para a luz incidente com 58° de altura e 0° de azimute. A Figura 8 apresenta um corte esquemático da situação; considerando-se a enclinação da lâmina de 23° , o ângulo de perfil da reflexão é de 12° , praticamente o ângulo ideal, no presente estudo, para enviar a luz incidente direto para o forro no fundo da peça. Entretanto, as alturas do sensor para detectar as reflexões da lâmina mais inferior até a do topo devem variar de 14° até 34° que são mais ou menos as alturas limites do pico principal da Figura 7. Mais adiante, parte da luz refletida das lâminas, nesta condição, atingem a lâmina logo acima, sendo refletida novamente mas agora por uma superfície difusora (pico menor). Neste momento, a luz se espalha numa faixa azimutal maior (60° a -60°) e numa faixa da altura (-45° a -60°) na qual a porção inferior iluminada da lâmina é melhor vista.

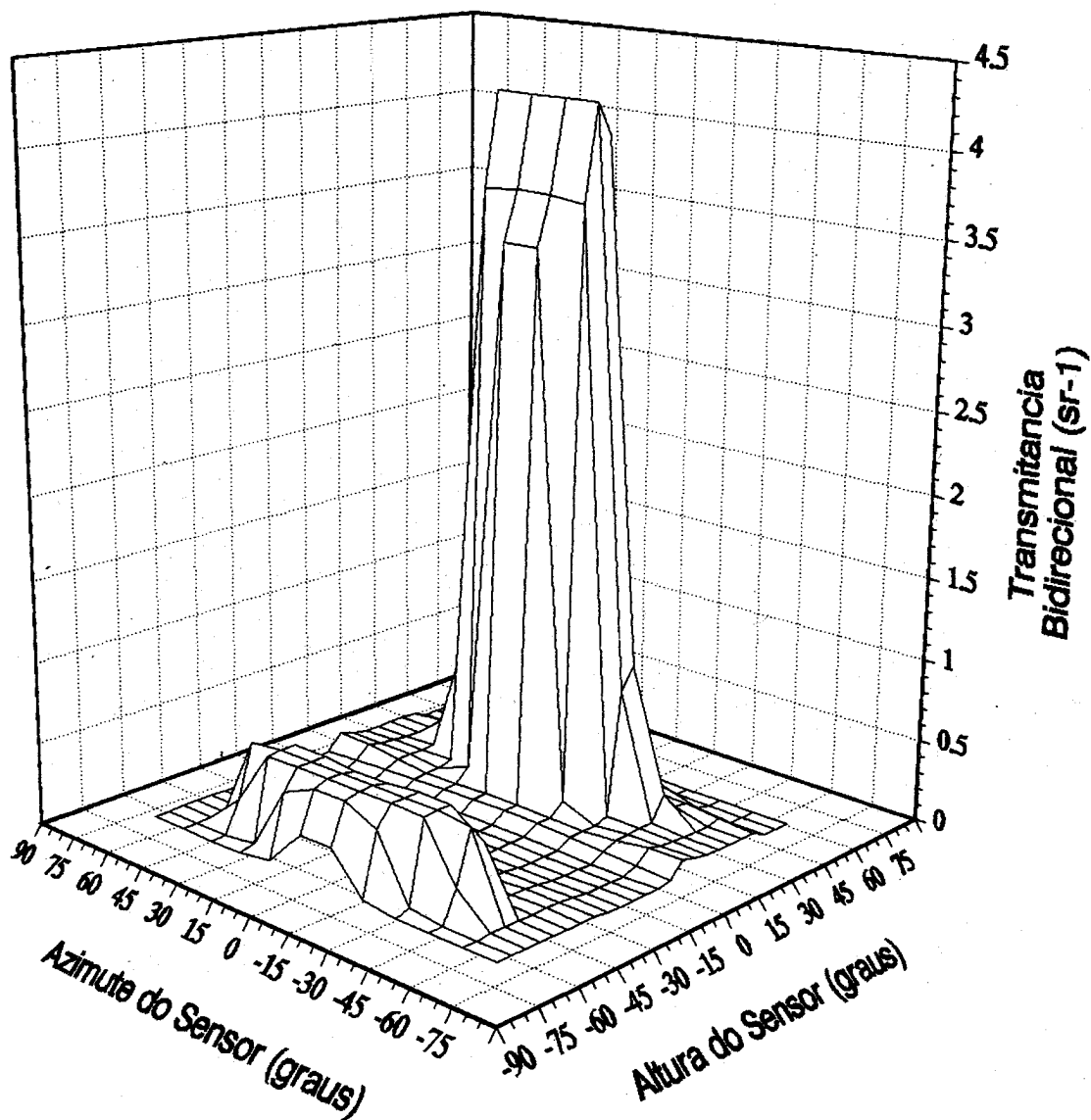


Figura 7: Distribuição da transmitância bidirecional da persiana refletora (porções difusa + especular) para uma luz incidente com 58° de altura e 0° de diferença azimutal.

Cabe salientar que a transmitância bidirecional não é adimensional como a transmissividade normal. Ela é obtida pela divisão de um valor de luminância por um valor de iluminância, o que resulta no inverso do ângulo sólido (estéreo-radiano) dentro do qual a luz é considerada. Assim, em casos de luminâncias elevadas, ela pode assumir valores maiores do que 1 (lm).

Embora os resultados apresentem-se promissores, ainda restam alguns aspectos a serem verificados quanto à completa validação do método, especialmente no caso de sistemas de aberturas que apresentem uma distribuição de luminâncias altamente não uniforme.

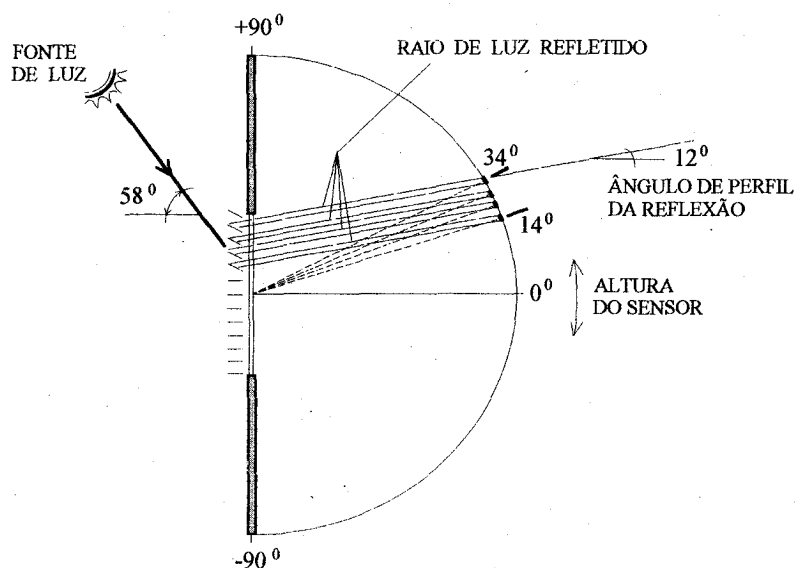


Figura 8: Corte esquemático mostrando a diferença entre os ângulos de perfil da reflexão e da altura do sensor.

CONCLUSÕES

Este trabalho descreve e discute uma técnica promissora para a avaliação do comportamento radiante de aberturas, o que é essencial para o cálculo preciso da distribuição dos níveis de iluminação internos. Embora os resultados obtidos com aberturas simples sejam encorajadores, o presente estudo sugere ainda algumas limitações no uso do radiômetro de varredura para a determinação da transmitância bidirecional para sistemas geometricamente mais complexos. Apesar destas limitações, o método proporciona meios para uma modelagem bastante razoável da distribuição das iluminâncias internas, o que é essencial para a avaliação do potencial de redução de energia elétrica através do aproveitamento da luz natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KESSEL, J. & SELKOWITZ, S. Integrating sphere measurements of directional-hemispherical transmittance of window systems. *Journal of IES*, Oct/84, p. 136-150, 1984.
2. KROCHMANN, E.; KROCHMANN, J. & AYDINLI, S. Luminous and Radiant Characteristics of Glazings and Its Measurements. *Proc. European Conference on Architecture*, Munich, p. 479-482, 1987.
3. PAPAMICHAEL, K.M. & WINKELMANN, F.C. Solar-Optical Properties of Multilayer Fenestration Systems. *Proc. International Daylighting Conference*, Long Beach, p. 300-305, 1986.
4. PAPAMICHAEL, K.M.; KLEMS, J. & SELKOWITZ, S. Determination and Application of Bidirectional Solar-Optical Properties of Fenestration Systems. *Lawrence Berkeley Laboratory*, Applied Science Division, LBL-25124, 1988.
5. PEREIRA, Fernando O.R. *Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices*. Tese de Doutorado. School of Architectural Studies. The University of Sheffield, UK, 1992.
6. SCAMONI, F.; FLISI, U. & MONACO, U. Use in passive solar architecture of sunlight douers with seasonal effect. *Proc 1st E.C. Conference on Solar Heating*, D. Reidel Publishing Co., Amsterdam, p. 283-291, 1984.
7. SIEGEL, R. & HOWELL, J.R. *Thermal Radiation Heat Transfer*. Hemisphere Pub., Washington DC, 1984.
8. VANCINI, C.; PASERO, I. & FLISI, U. High insulation transparent walls. *Proc. ISES International Conference on "Evolution of External Perimetral Components in Bioclimatic Architecture"*, Milan, p. 43-46, 1990.