



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# MEDIÇÃO DA TRANSMITÂNCIA SOLAR EM SISTEMAS DE ABERTURAS SOB CONDIÇÕES CLIMÁTICAS REAIS<sup>1</sup>

GUTIERREZ, Grace C.R. (1); LABAKI, Lucila C. (2)

(1) UFMG, e-mail: gracegutierrez@ufmg.br; (2) UNICAMP, e-mail: llabaki@gmail.com

## RESUMO

A radiação solar atua diretamente sobre as superfícies externas da edificação e, portanto, os sistemas de aberturas que integram a envoltória são importantes para o controle da admissão dessa energia. O objetivo deste estudo foi comparar o comportamento de sistemas de aberturas, compostos por superfície vítreia e dispositivos externos de sombreamento, em relação à transmissão da radiação solar, a partir de dados obtidos em medições no campo experimental sob condições climáticas reais. A metodologia se baseia no método radiométrico aplicado a ensaios de campo em células teste com sistemas de aberturas e sombreamento distintos, voltados para a fachada norte. Foram coletados dados das variáveis ambientais e dos sensores (radiação solar e temperatura) nos sistemas em teste. Nas medições observou-se a influência do ângulo de incidência e a interação dos componentes do sistema de abertura em ensaio. No caso dos sistemas que contavam com dispositivos externos de proteção solar os resultados comprovaram o efeito combinado desses elementos, as diferenças de comportamento entre os vidros e tipologias dos brises, e da variação da temperatura interna ao longo do período.

**Palavras-chave:** Transmitância à radiação solar. Sistemas de aberturas. Campo experimental.

## ABSTRACT

*Solar radiation acts directly on the building envelope, therefore fenestration systems are essential to control the admission of that energy. The aim of this study was to compare the behavior of different fenestration systems with external shading devices in relation to the transmission of solar energy in experimental field under real weather conditions. The methodology is based on radiometric method applied to field trials in test cells with different glazing and shading systems, on north facade. Data were collected from environmental variables and sensors (solar radiation and temperature) on the tested samples. In the measurements, the influence of the incidence angle and interaction of components of system under test were observed. For systems that relied on external solar shading the results showed the combined effect of those elements, the differences of the glass and types of slats behavior, and the internal temperature varying over the period.*

**Keywords:** Solar energy transmittance. Fenestration system. Experimental field.

## 1 INTRODUÇÃO

A radiação solar atua diretamente sobre as superfícies externas da edificação e, portanto, os sistemas de aberturas que integram a envoltória

<sup>1</sup> GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. Medição da transmitância solar em sistemas de aberturas sob condições climáticas reais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

são importantes para o controle da admissão dessa energia. De acordo com a ASHRAE (2009) as aberturas ligam, física e visualmente, o exterior com o interior de uma edificação, recebendo radiação solar (calor e luz) e ventilação natural nos ambientes.

As funções de um sistema de abertura podem ser classificadas segundo alguns critérios: estrutural e segurança, funcional e psicológico, e estético e dimensional. Dentre as funções de controle, esta pesquisa tem seu foco na influência da radiação solar sobre a envoltória e, nesse sentido, as aberturas podem ser consideradas como o principal fator de projeto, pois influenciam diretamente o desempenho térmico e o consumo de energia na edificação.

Os sistemas de aberturas são compostos por caixilho, superfície transparente e podem contar ou não com dispositivos de proteção solar. Embora cada elemento que integre esse componente construtivo atue de maneira distinta, será a associação dos componentes, principalmente das superfícies transparente e opaca, que definirá o desempenho combinado do sistema.

O desempenho térmico desse componente construtivo depende das características dos materiais e camadas que os constituem, de acordo com suas propriedades óticas e termofísicas, espessuras, camadas e câmaras (ISO, 2003a, b; NFRC, 2010b), e de seu acabamento superficial. Kapur (2004) destaca que as propriedades físicas e superficiais do material dos brises afetam a transferência de calor pelo vidro.

Com relação a superfícies transparentes ou translúcidas, são as propriedades ópticas que mais influenciam seu desempenho. Dessa forma, os processos de reflexão, absorção, e transmissão da radiação solar por esses elementos depende do comprimento de onda, podendo sofrer variações em função da composição do material, da espessura, do índice de refração do vidro, e do ângulo de incidência. Essas propriedades interferem tanto no ganho devido à incidência da radiação solar, quanto na transferência de calor por diferença de temperatura.

As superfícies transparentes tem caracterização ótica realizada em ensaios de laboratório conforme procedimento normatizado (ISO, 2003a), e os resultados se encontram disponíveis no mercado, seja em catálogos, banco de dados ASHRAE e NFRC, ou pesquisas científicas (SANTOS, 2002). Já a caracterização dos demais materiais construtivos vem ocorrendo, ainda que de forma mais lenta. No entanto, o comportamento associado dessas superfícies num sistema de abertura ainda necessita aprofundamento, principalmente em relação aos dispositivos externos.

Considerando as edificações existentes e a multiplicidade de soluções de aberturas com dispositivos de sombreamento externos, buscou-se a aplicação de um método experimental que avalie os sistemas de abertura in loco, coletando dados para sua caracterização e comportamento do sistema.

## 2 OBJETIVOS

Comparar o comportamento de diferentes sistemas de aberturas com dispositivos externos de sombreamento em relação à transmissão da radiação solar, em campo experimental, sob condições climáticas reais.

## 3 METODOLOGIA

A metodologia se baseia no método radiométrico aplicado a ensaios de campo com a utilização de células teste com diferentes sistemas de aberturas e sombreamento.

A metodologia para o ensaio experimental fundamenta-se nas normas, procedimentos experimentais e modelos matemáticos abordados nas normas ISO 9050 (2003a), ISO15099(2003b), JIS A1422 (1982), NFRC series NFRC 200 (2010a), NFRC 201 (2010b) e NFRC 300 (2003c), ASHRAE fundamentals (2009), e pesquisas como o Mobile Windows Thermal Test - MoWiTT, descrito por Klems, Warner e Kelley (1995), e Kapur (2004).

Dessa forma, foram utilizadas técnicas de medição em campo para monitorar variáveis ambientais e construtivas em unidades experimentais (células teste) com diferentes sistemas de aberturas, para determinação da transmitância à radiação solar em campo, sob condições climáticas reais.

Nessa montagem experimental procurou-se verificar a interação dos elementos construtivos constituintes do sistema de abertura em ensaio. Dessa forma, foram utilizadas unidades experimentais (células teste), onde estavam instalados os diferentes sistemas de aberturas em estudo: três tipos de vidro associados a três situações distintas de sombreamento, voltados para a fachada norte.

### 3.1 Caracterização da área de ensaio

Os ensaios foram realizados no campo experimental localizado no terreno da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo FEC UNICAMP, no município de Campinas SP (Figura 1), classificado como ZB3. Os dados climáticos do local foram adquiridos da estação meteorológica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Embora os dados climáticos gerais tenham sido considerados para caracterização dessa região, a monitoração do microclima local no campo experimental foi de grande importância para estabelecer relações comparativas entre estes dados e as leituras obtidas por equipamentos instalados no campo experimental, que coletavam as variáveis ambientais e dos sensores das células teste com os sistemas em ensaio.

### 3.2 Caracterização das unidades experimentais

As unidades experimentais tinham dimensões internas de 2,50 x 2,20m, com pé direito de 2,40m, tendo sido construídas sobre radier de concreto, com paredes de tijolo maciço de 10 cm de espessura sem revestimento. A

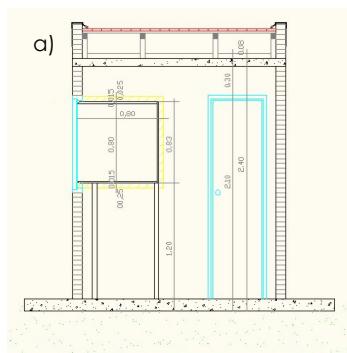
abertura foi definida com base em padrões de janela disponíveis no mercado, instalado no vão de 1,00 x 1,20 m na fachada norte. A cobertura era composta por laje, ático ventilado, e filme de alumínio polido (*foil*) junto ao caibramento da cobertura de telha fibro-vegetal. As superfícies das paredes, internas e externas, foram pintadas de branco visando reduzir o aporte de calor.

Para possibilitar a realização da leitura da radiação solar e temperaturas que considerasse apenas o sistema de abertura em ensaio, sem a influência das demais superfícies internas da unidade experimental, foi proposta a utilização de uma câmara protegida (Figura 2 a, b).

Figura 1 – As unidades em teste no campo experimental



Figura 2 – (a) Esquema e (b) foto da câmara interna.



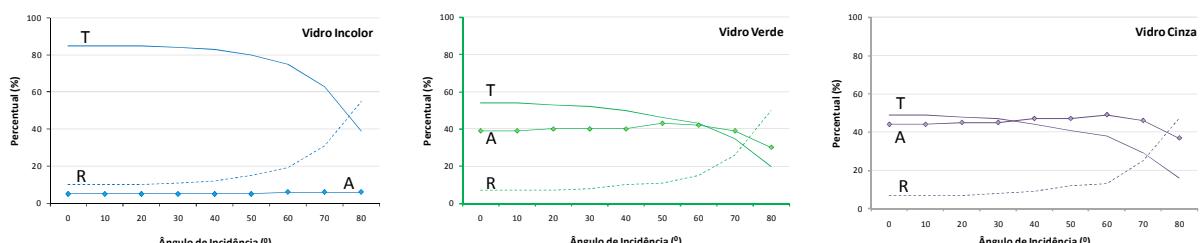
Fonte: Os autores.

### 3.3 Caracterização dos sistemas em ensaio

A seleção dos sistemas de abertura em estudo foi realizada considerando os vidros e soluções de brises mais comumente utilizados nas edificações, bem como a viabilidade e custo de aquisição de 3 amostras de cada tipo para ensaios simultâneos.

Dessa forma, os vidros em ensaio foram: vidro plano *float*; de 4 mm de espessura; nas cores incolor (Fator Solar FS 0,78), verde (FS 0,48) e cinza (FS 0,54). Propriedades térmicas: condutividade térmica  $\lambda = 0,8 \text{ W/mK}$  e transmitância térmica  $U = 5,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; e óticas conforme Figura 3.

Figura 3 – Propriedades óticas dos vidros em ensaio, em função do ângulo de incidência.



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2002.

Com relação aos brises a tipologia foi definida com base nas soluções mais usuais nas edificações existentes: placas paralelas, horizontais ou verticais, externas à abertura. Assim, as placas dos brises foram confeccionadas em concreto de pedrisco (condutividade térmica  $\lambda = 1,15 \text{ W/mK}$ ), acabamento superficial liso, na cor do concreto ( $a = 0,72$ ); com dimensões de  $1,35 \times 0,35\text{m}$ , e espessura de 15mm, posicionadas a 50mm de distância da abertura, na fachada norte, conforme apresentado na Figura 5.

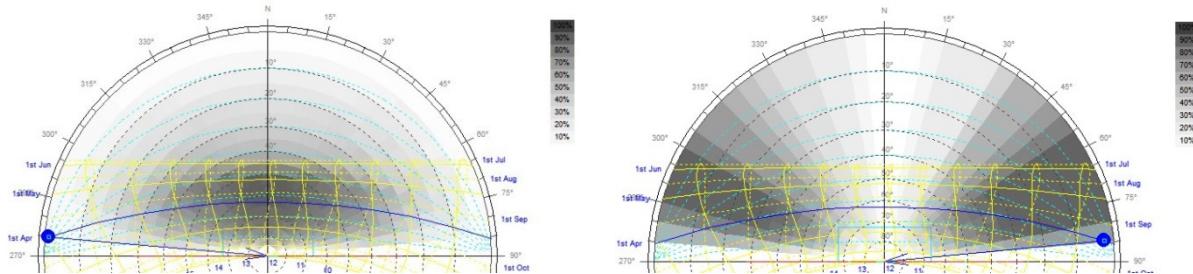
Figura 5 – Vistas externas e internas das placas horizontais e verticais.



Fonte: Os autores.

Os sistemas de abertura em teste associavam três tipos de vidros – incolor (referência), verde e cinza; e três condições de sombreamento (ver Figura 6): brise horizontal, brise vertical e sem brise (referência).

Figura 6 – Máscara de sombreamento dos brises em ensaio: a) horizontal, b) vertical.



Fonte: Os autores.

Ao todo, eram nove situações em ensaio:

- vidro incolor: sem brise (VI); brise horizontal (BHVI); brise vertical (BVVI);
- vidro verde: sem brise (VV); brise horizontal (BHVV); brise vertical (BVVV);
- vidro cinza: sem brise (VC); brise horizontal (BHVC); brise vertical (BVVC).

### 3.4 Equipamentos

No decorrer do ensaio experimental, as condições climáticas foram registradas por um sistema automático de monitoramento de dados obtidos por sensores de temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, radiação solar e pluviosidade.

Nas unidades experimentais, foram instalados sensores nos sistemas de aberturas em ensaio, para monitoramento da radiação solar e temperatura. As variáveis monitoradas pelos sensores foram definidas de acordo com o

método radiométrico. Para monitorar a radiação solar no sistema em ensaio, os piranômetros (Figura 7) foram posicionados da seguinte forma:

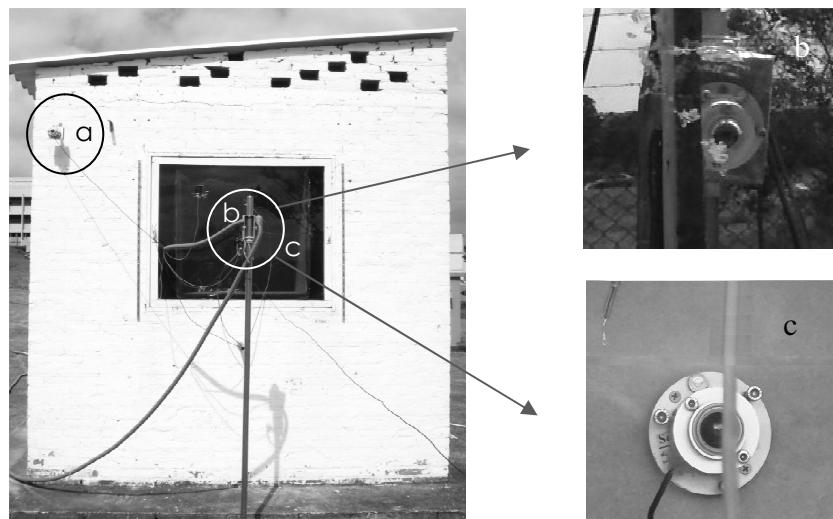
- um piranômetro externo medindo a incidência da radiação solar total no plano vertical (Figura 8a);
- piranômetro externo, porém voltado para o sistema de abertura em ensaio monitorando a radiação refletida por esse elemento (Figura 8b);
- piranômetro interno, voltado para o sistema de abertura para medir a radiação transmitida através do sistema (Figura 8c).

Figura 7 –  
Piranômetro.



Figura 8 – Posicionamento dos piranômetros.

- externo à célula, voltado para exterior;
- externo à célula, voltado para a abertura;
- interno a câmara, voltado para o exterior.



Fonte: Os autores.

No interior da câmara dentro da unidade experimental um termopar tipo "J" registrava as temperaturas do ar.

### 3.5 Período de medição

Cada sistema de abertura foi testado durante uma semana, sendo considerados para análise os dias com condição de céu claro. Os dados coletados foram compilados a cada 30 minutos.

As medições ocorreram em dezembro, março e abril. Os dados apresentados neste artigo correspondem ao período de 24 de março à 15 de abril de 2009<sup>2</sup>, sendo uma semana para cada tipo de vidro em ensaio com suas respectivas variações de sombreamento (sem brise, brise horizontal e brise vertical): vidro incolor: período de 24 a 30/03; vidro verde: período de 01 a 04/04; e vidro cinza: período de 09 a 12/04.

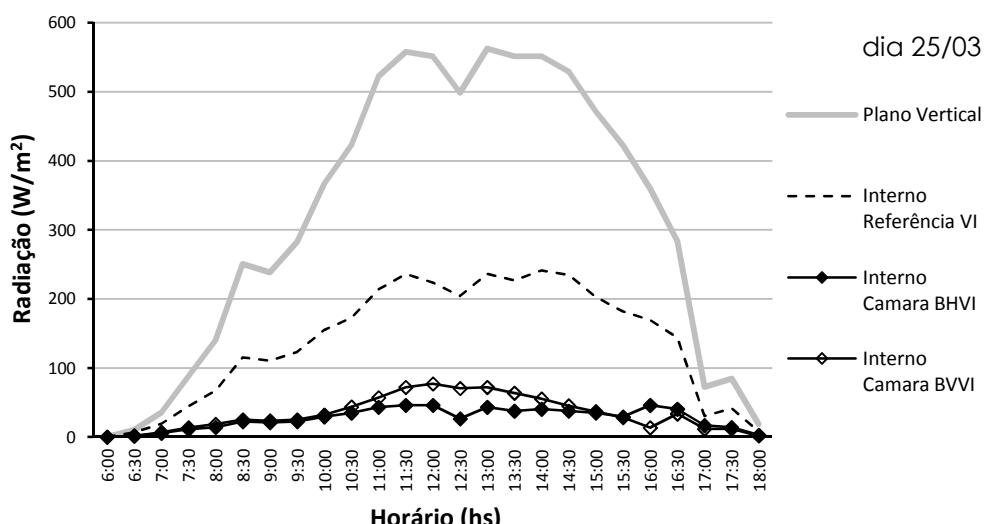
<sup>2</sup> Esta pesquisa monitorou dados em campo experimental no período de 2007 a 2009, quando foi interrompida, sendo retomada em 2015.

## 4 RESULTADOS

Os resultados das medições são apresentados a seguir. Os gráficos de radiação solar no plano vertical apresentam os dados de radiação solar transmitida através do sistema de abertura, bem como dados de correlação entre a radiação incidente no plano vertical e a transmitida nas diferentes tipologias em ensaio.

A Figura 9 mostra os resultados para o vidro incolor, com três situações de ensaio: VI – vidro incolor sem proteção; BHVI – brise horizontal e vidro incolor; e BVVI – brise vertical e vidro incolor. Observa-se a redução significativa do aporte de radiação solar nos sistemas que contam com dispositivos de sombreamento, mesmo nos horários em que a proteção não é total.

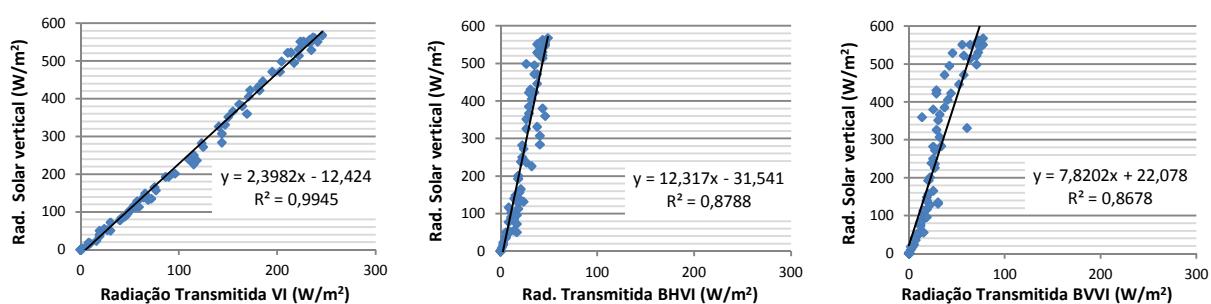
Figura 9 – Gráfico dos dados de radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais, com vidro incolor.



VI – vidro incolor; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 10 – Gráficos de correlação entre radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais.



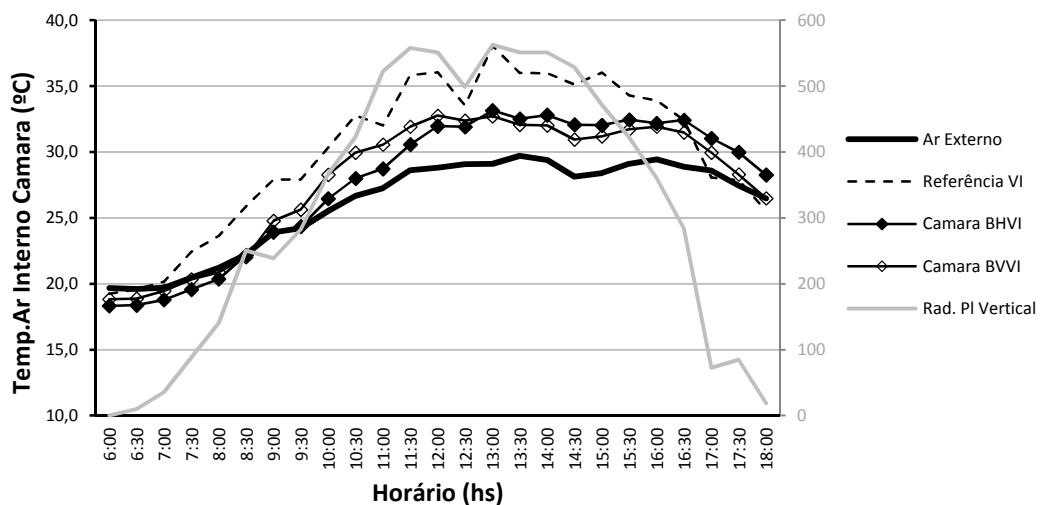
Fonte: Os autores.

Destaca-se também a diferença registrada entre os diferentes dispositivos: no caso do horizontal, os pontos são bastante próximos da curva, já para o

brise vertical, há um distanciamento da reta, que quando observado em conjunto com a eficiência da proteção, configuram os períodos de (sombreamento ou ângulo de incidência elevado). Nas três situações de ensaio com vidro incolor, observam-se os bons resultados de correlação (Figura 10), seja o sistema sem proteção ou com proteção solar.

A Figura 11 mostra os resultados para o vidro incolor, nas três situações de ensaio, em relação às temperaturas internas. A relação entre radiação transmitida e temperatura interna da câmara para o período de insolação não apresenta uma correlação boa, apenas 0,45 (Figura 12).

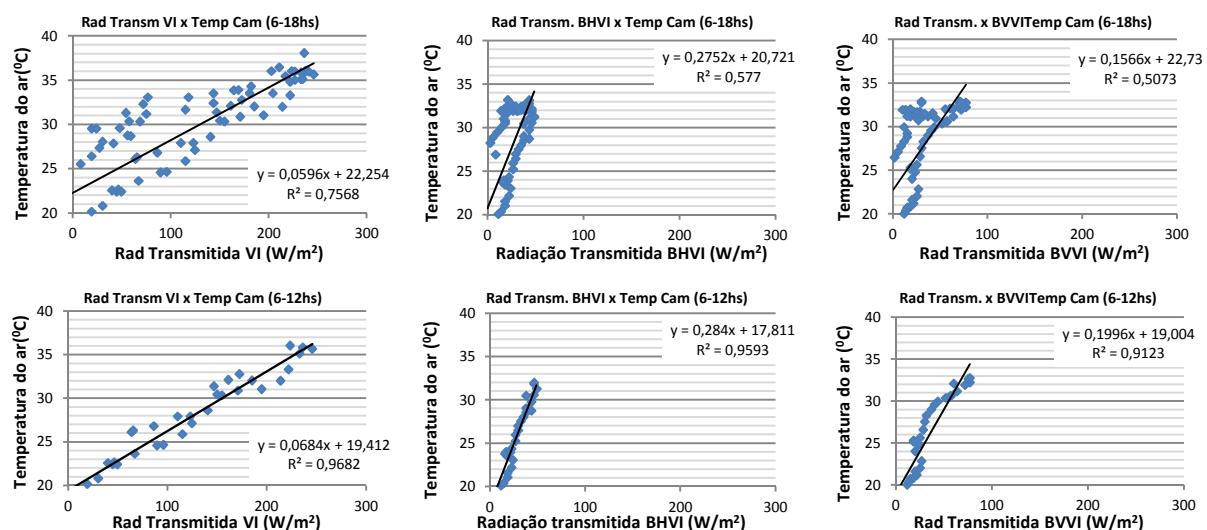
Figura 11 – Gráfico dos dados de temperatura no interior das unidades experimentais, com vidro incolor.

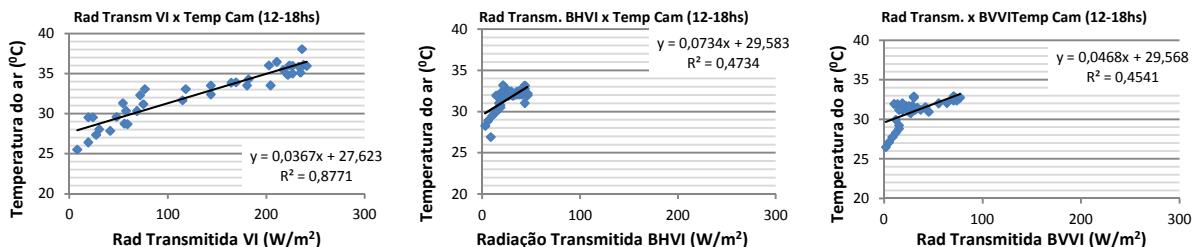


VI – vidro incolor; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 12 – Gráficos de correlação entre transmitida x temperatura no interior das unidades experimentais.



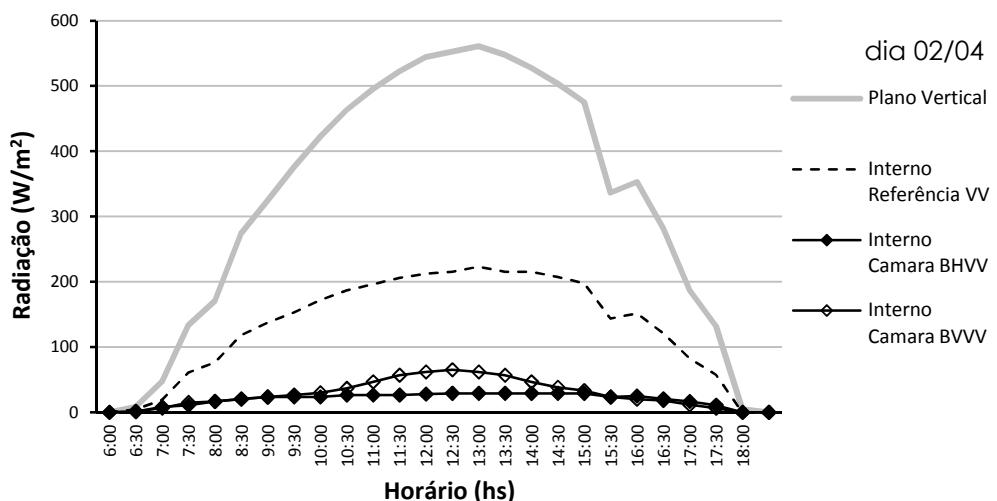


Fonte: Os autores.

No entanto, quando se separa os períodos por horário – manhã e tarde (Figura 12, 6-12hs), pode-se obter para o período da manhã a correlação acima de 0,9, representando diretamente a proporção entre radiação transmitida e elevação da temperatura interna. Para o período da tarde (Figura 12, 12-18hs) são observadas as maiores diferenças entre esses sistemas: as temperaturas já elevadas com o aporte de radiação. Nota-se a diferença entre os sistemas com e sem proteção, no caso do vidro não há inércia térmica e as temperaturas caem mais rapidamente que os sistemas com brises.

A Figura 13 mostra os resultados para o vidro verde, com três situações de ensaio: VV – vidro verde sem proteção; BHVV – brise horizontal e vidro verde; e BVVV – brise vertical e vidro verde.

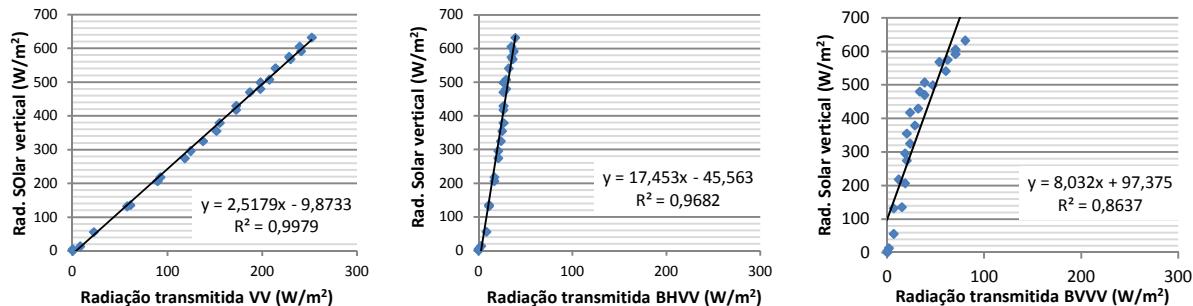
Figura 13 – Gráfico dos dados de radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais, com vidro verde.



VV – vidro verde; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 14 – Gráficos de correlação entre radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais.

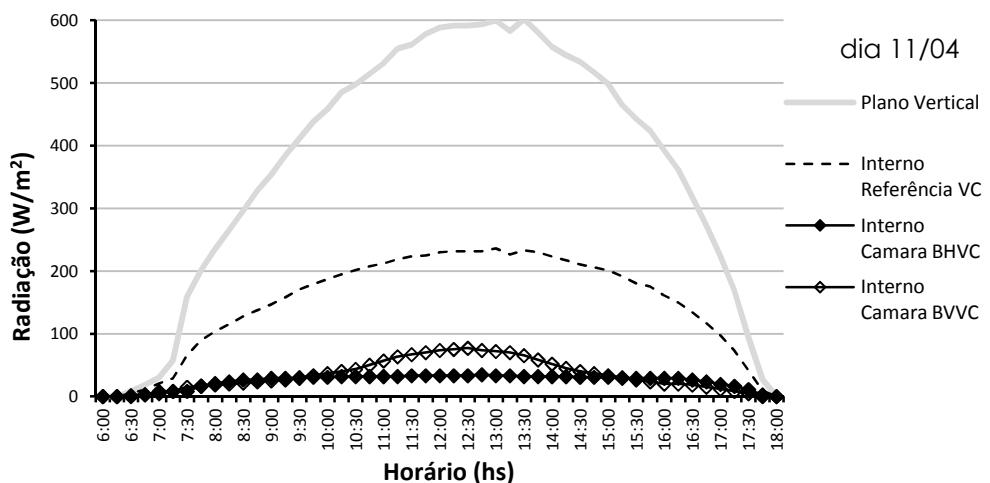


Fonte: Os autores.

Observa-se que entre os diferentes tipos de vidros, o vidro verde registrou os menores valores de radiação transmitida entre as amostras analisadas, ainda que essas diferenças sejam discretas, menores que 50W/m<sup>2</sup>, o que destaca que a influência do ângulo de incidência foi superior ao tipo de vidro para essas condições de ensaio.

A Figura 15 mostra os resultados para o vidro cinza, com três situações de ensaio: VC – vidro cinza sem proteção; BHVC – brise horizontal e vidro cinza; e BVVC – brise vertical e vidro cinza.

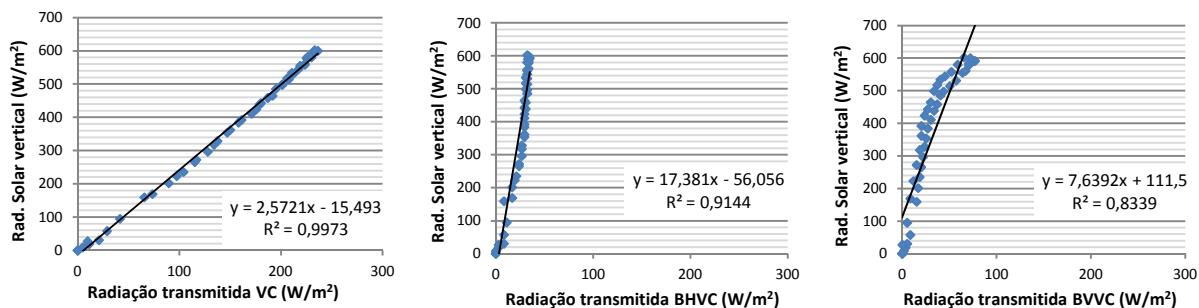
Figura 15 – Gráfico dos dados de radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais, com vidro incolor.



VC – vidro cinza; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 16 – Gráficos de correlação entre radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais.



Fonte: Os autores.

Nos três tipos de vidro ensaiados quando não protegidos por brises, registraram a radiação transmitida acima de 200W/m<sup>2</sup>, nos horários próximos ao meio dia, com o sol mais próximo ao zênite, registrando uma redução significativa em relação aos valores de radiação solar registrados para o plano vertical (entre 500 e 600 W/m<sup>2</sup>). Essa diferença ocorre em função do ângulo de incidência da radiação sobre o plano vertical da fachada norte, superior a 60° para as condições de insolação nesse período do dia. Assim, embora entre 12 e 13:00hs ocorra o maior valor de radiação solar, o ângulo de incidência reduz significativamente a transmissão para o ambiente interno.

No caso do brise vertical os maiores valores registrados nos horários entre 11 e 13:00hs correspondem ao período de menor eficiência da proteção solar, mas como os ângulos de incidência estão elevados nesse horário, a quantidade de radiação transmitida não chegou a representar uma diferença expressiva, embora difira do comportamento do brise horizontal que registrou para esse período sua maior eficiência. Nesse caso, é a influência da proteção solar que reduz o aporte de radiação e não o ângulo de incidência.

Da mesma forma, os ângulos de incidência são elevados nos horários de início e final do dia, quando os raios solares estão mais próximos do horizonte, e incidem de forma rasante sobre a fachada com orientação norte, além da intensidade da radiação solar ser menor, o que se refletiu nos resultados com valores próximos a zero. Os menores ângulos de incidências registrados, para as situações de ensaios, ocorreram nos horários das 9 e 15hs com ângulos em torno de 50°.

Para os sistemas com proteção solar, independente do tipo de vidro, foram registrados dados de radiação transmitida abaixo de 100W/m<sup>2</sup>, sendo que para o brise horizontal os houve uma constância nos valores registrados ao longo do dia, demonstrando uma uniformidade de comportamento do sistema. Outro aspecto é que para essa tipologia observou-se maior influência da radiação difusa nos resultados obtidos, em função do sombreamento proporcionado.

## 5 CONCLUSÕES

Na montagem experimental foi verificada a influência da variação do ângulo de incidência da radiação solar e a interação dos elementos construtivos constituintes do sistema de abertura em ensaio.

Os resultados para os sistemas que contavam com dispositivos externos de proteção solar comprovam o efeito combinado dos elementos, bem como as diferenças de comportamento das tipologias dos brises e vidro. Destaca-se que ocorreram situações em que um aspecto se sobrepõe aos demais: em algumas situações o ângulo de incidência exerce maior influência sobre os resultados, em outras o sombreamento é o fator mais significativo.

Dessa forma, este trabalho contribui para a compreensão e avaliação de sistemas de abertura in loco, com a possibilidade de aplicação do método em edificações existentes, visando obtenção dados reais para uma multiplicidade de dispositivos de sombreamento externos, nas mais diversas orientações.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE handbook of fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 2009.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO9050**: Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. Geneva, 2003a.

\_\_\_\_\_. **ISO15099**: Thermal performance of windows, doors and shading devices – detailed calculations. Geneva, 2003b.

JIS JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. **JIS A 1422**: Simplified test method for determining shading coefficient of shading devices. Tokyo, 1982.

KAPUR, N.K. **A comparative analysis of the radiant effect of external sunshades on glass surface temperatures**. In Solar Energy 77, pp. 407-419. London: Elsevier, 2004.

KLEMS, J. H.; WARNER, J. L.; KELLEY, G. O. **A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration systems**. (report). Berkeley: LBL, 1995.

NFRC NATIONAL FRENESTRATION RATING COUNSIL. **NFRC 200**: Procedure for Determining Fenestration Product Solar Heat Gain Coefficient and Visible Transmittance at Normal Incidence. Greenbelt, 2010a. Disponível em: <http://www.nfrc.org/>, Acesso em: 26 ago. 2011.

\_\_\_\_\_. **NFRC 201:** Procedure for Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods. Greenbelt, 2010b. Disponível em: <http://www.nfrc.org/>, Acesso em: 26 ago. 2011.

\_\_\_\_\_. **NFRC 300:** Test Method for Determining the Solar Optical Properties of Glazing Materials and Systems. Greenbelt, 2010c. Disponível em: <http://www.nfrc.org/>, Acesso em: 26 ago. 2011.

SANTOS, J.C.P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** São Carlos SP, 2002. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.