



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

## **CÁLCULO DE RADIAÇÃO SOLAR SOBRE BRISE-SOLEIL E JANELA**

**Carlos Augusto Freitas de Oliveira Góes**

Av. Almirante Barroso, nº 63, sala 1415  
Centro - Rio de Janeiro - RJ  
CEP: 20031.003 Tele-Fax: 240.5674

### **Resumo**

Este Trabalho pretende, a partir da avaliação inicial da eficiência do sombreamento externo, da análise do desempenho térmico do sistema *brise-soleil* -janela e de uma visão geral dos métodos projetuais de sombreamento de fachada, introduzir uma ferramenta complementar: o programa **Radbrise**. Este consiste na rotina de cálculo de radiação solar incidente sobre *brise* e janela, em que se computam as áreas efetivamente insoladas e seus ganhos solares ao longo do dia, com flexibilidade na definição dos índices de refletividade dos planos envolvidos. Permite assim a análise do sistema de sombreamento também em função das cores para ele especificadas.

### **Abstract**

Based on a initial evaluation of external shadings efficiency, the thermal performance of sunbreaker-window system and a global view of façades shading methods, This work intends to introduct a complementar tool: the software **Radbrise**. Consisting on a calculation routine of the solar radiation on sunbreaker and window, the software computes their enlightened areas and solar gains along the day, allowing diferents refflectivity indexes of the involved plans, so that its possible to take into count the specified colors in the shading device analysys.

### **Palavras-Chave**

*brise-soleil*, sombreamento, radiação solar, eficiência térmica.

## **DESEMPENHO DO SISTEMA *BRISE* - JANELA**

Os elementos de **sombreamento externo**, tais como os *brise-soleils*, têm mais eficiência térmica que os de **sombreamento interno** (persianas, cortinas). Enquanto uma janela com proteção interna permite a passagem de 40% a 80% dos ganhos de calor relativo a uma janela com vidro comum desprotegida, dependendo do modelo e cor do sombreamento empregado, uma janela com sombreamento externo admite de 5% a 30% dos mesmos ganhos<sup>1</sup>. No sistema térmico *brise-soleil* - fachada, o comportamento da janela influencia o seu desempenho global. Se ela é fechada, não se dão as trocas por convecção entre o ambiente interno e o colchão de ar formado entre *brise* e fachada que ocorrem com a janela aberta. Assim, não apenas as características geométricas do *brise* são importantes, mas também outros aspectos, tais como as cores e materiais empregados. As janelas fechadas se beneficiam com cores escuras, quando a reflexão da porção visível da radiação solar para a fachada diminui e o vidro da janela, opaco à radiação I.V., não absorve a carga térmica irradiada pelas placas. Já as janelas abertas se beneficiam com os *brises* de cores claras, em que o ar de entrada no ambiente interno se ressenete menos das trocas por convecção com o *brise*. A influência dos materiais

no desempenho do *brise* implica na transmissão de calor por radiação e convecção de suas placas para o ambiente interno, e por condução para as paredes envolventes, através dos suportes.

## METODOLOGIAS USUAIS DE PROJETO DE BRISE

Entre os diversos métodos de projeto de *brises*, destaca-se o Método Olgyay<sup>ii</sup>, que se apóia na Carta Bioclimática concebida pelos autores definindo uma zona de conforto térmico baseada nos índices de temperatura efetiva (ET). O limite inferior da zona de conforto - a *shading line*, fixada entre 70F e 85F - divide as condições em que o sombreamento se faz necessário (período super-aquecido) e quando o aquecimento é conveniente (período sub-aquecido). Uma vez definido o valor da *shading line* para o local, sua ocorrência é pesquisada nos dados climáticos coletados e o regime anual dos períodos sub e super aquecidos é definido num diagrama solar, a partir do qual se estabelece a máscara de sombreamento necessária para a proteção solar e o conseqüente detalhamento do *brise-soleil*. Alguns aspectos do Método Olgyay sofreram posteriormente críticas quanto ao embasamento da Carta Bioclimática e ao valor adotado para a *shading line*:

- Givoni, conceptor de uma Carta Bioclimática para climas quentes fundamentada no *Index of Thermal Stress* e levando em consideração as influências de ambientes construídos, considera que a Carta de Olgyay, construída a partir de dados de umidade relativa, pode levar a conclusões precipitadas quanto à capacidade de evaporação do suor;

- Yannas<sup>iii</sup> discute a validade de um valor pré-estabelecido para a temperatura que define a *shading-line* em função da latitude, uma vez que dessa forma não se levam em conta os ganhos internos e demais trocas térmicas com a edificação e o meio externo, propondo esses parâmetros como base para o cálculo desta temperatura.

O software Casamo-Clim<sup>iv</sup> simula a evolução da temperatura do ar de um ambiente edificado para mês, local e condições climáticas dados, a partir do fornecimento das características geométricas, construtivas e de orientação deste ambiente. No seu Módulo I, podem-se estabelecer as condições geométricas de sombreamento externo das janelas, através da definição de seu *mascaramento* de forma semelhante ao do Método Olgyay, analisando-se as seguintes saídas: o diagrama solar com a plotagem do mascaramento, a evolução dos fluxos solares nos planos receptores (paredes e janelas) ao longo do dia e as condições de conforto do ar interno representada na Carta de Givoni simplificada. Entre as restrições ao Casamo-Clim como ferramenta auxiliar ao projeto de *brises* destacam-se: a limitação da data de simulação, arbitrada no dia 4 de cada mês para a definição da trajetória solar; e a não diferenciação das diferentes refletividades dos elementos de sombra (acarretados pelas cores das placas), que influenciam a eficiência do sombreamento.

## RADBRISE, UMA FERRAMENTA COMPLEMENTAR

Tendo em vista o exposto anteriormente, observa-se que os métodos e recursos projetuais discutidos os *brises* não são tratados como "entidades físicas", e sim como "entidades geométricas", não possuindo massa, densidade ou cor. A simulação desses dados - também determinantes na eficiência do sombreamento - fica vedada ao usuário. Uma iniciativa neste sentido consiste na elaboração de uma rotina de cálculo de radiação solar sobre *brise* e janela, traduzida no programa Radbrise, que efetua os cálculos horários de cargas solares nos planos envolvidos durante o período da jornada diária do sol, considerando as áreas efetivamente insoladas e as refletividades dos planos receptores. Seu arcabouço geral consiste nos seguintes passos:

### a) Leitura dos dados de entrada:

Data da simulação, geometria do *brise* e janela, refletividade do entorno, *brise* e fachada, radiação diária média no mês da simulação ( $H$ );

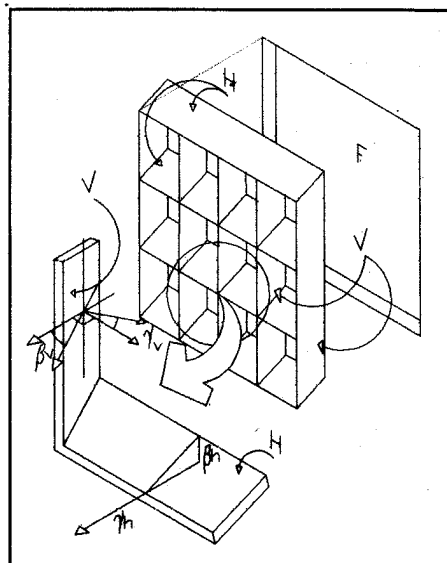


Figura 1. Dados Geométricos do Conjunto

## b) Determinação dos fatores geométricos horários no *brise* e janela:

Para cada hora da jornada solar, considerando-se seu instante médio, executam-se as etapas a seguir:

### - Interpretação dos dados geométricos do conjunto:

É considerado para efeito da simulação um sistema composto de **janela retangular** de dimensões variáveis (plano F) e **brise tipo *eggcrate*** de placas compondo modulação constante, com inclinações, cores, dimensões e distância da janela variáveis. O *brise* é tratado como uma matriz de módulos compostos por planos de sombreamento horizontal H e vertical V, podendo assumir as seguintes inclinações: O plano H, um caimento qualquer  $\beta_h$  relativo à fachada, o plano V, uma inclinação qualquer  $\beta_v$  para a direita ou para a esquerda. As orientações de H e F são iguais ( $\gamma_h$ ) e a de V ( $\gamma_v$ ) é função de  $\gamma_h$  e  $\beta_v$  (ver Figura 1).

Os planos H e V são subdivididos em H1 e V1 (sombreadáveis no momento pesquisado), H2 e V2 (situação contrária). A partir das condições de sombreamento de suas placas, os módulos são portanto diferenciados segundo sua posição no *brise*, classificando-se nos Módulos: Centrais (MC), Centrais Superiores (MCS), Flanco Direito (MD), Flanco Esquerdo (ME), Flanco Direito Superior (MDS), Flanco Esquerdo Superior (MDE). Essa classificação permite o reconhecimento das condições de sombreamento dos planos com o sol incidente pela esquerda ou pela direita do *brise* (ver Figura 2).

A leitura da diferença entre as orientações do plano vertical V ( $\gamma_v$ ) e da radiação solar ( $\gamma_s$ ), dada a condição variável de inclinação deste para a direita ou para a esquerda define um *status* relacionando estas orientações como normal (V perpendicular à fachada), de sentidos iguais ou sentidos diferentes.

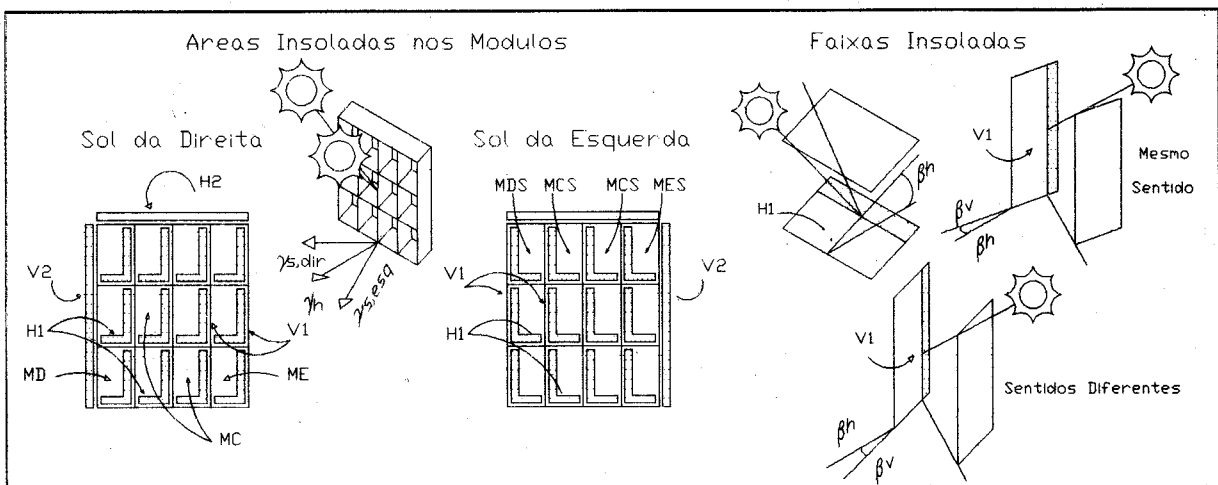


Figura 2. Áreas insoladas dos módulos e Faixas insoladas das placas

### - Cálculo das superfícies insoladas do *brise*:

Calculam-se para as placas H1 e V1 as projeções de sombra das arestas das demais placas. Assim, no âmbito de cada módulo, pode-se definir para cada placa o contorno da área insolada (Rh1 ou Rv1 - ver Figura 3). Consideram-se para as placas H2 e V2 suas superfícies totalmente insoladas se a radiação incide sobre elas, e totalmente sombreadas em caso contrário. Dessa forma, cada tipo de módulo tem calculada sua área insolada, além das projeções da radiação incidente na janela. A totalização dos resultados fornece as áreas totais insoladas das placas H e V do *brise*.

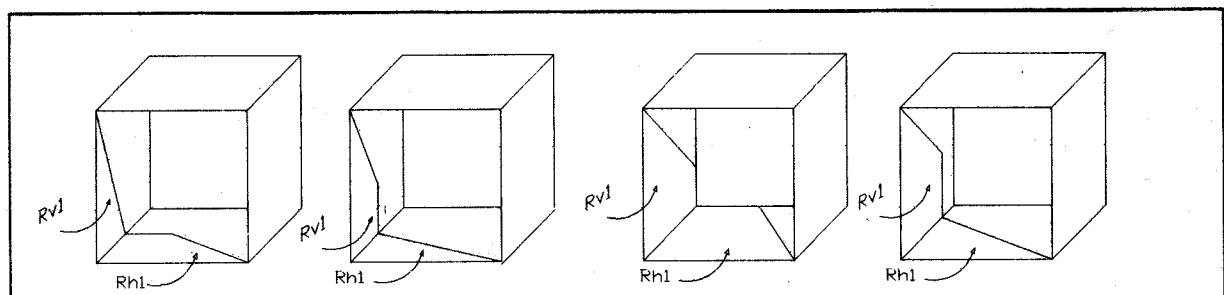


Figura 3. Áreas insoladas das placas

### - Cálculo das superfícies insoladas da janela:

O programa interpreta, a partir das projeções dos pontos extremos do perímetro do brise sobre a fachada, a projeção de sua área global dentro dos limites da janela, da qual são subtraídas as áreas de projeção da radiação solar incidente na janela não obstruídas pelo brise definidas na etapa anterior (ver Figura 4).

### c) Determinação da carga solar horária no brise e janela e totalização dos resultados horários:

Os fluxos solares incidentes sobre os diversos planos são calculados a partir do método exposto em **Duffie & Beckman**<sup>7</sup>, que estima o padrão da radiação solar incidente ao longo do dia a partir da radiação média diária  $H$  fornecida. Diferentemente do método original, em que a única superfície refletora considerada é o chão, a situação em estudo apresenta mais 3 planos: a fachada ( $F$ ) e as placas do brise ( $H$  e  $V$ ). Para a simulação das componentes refletidas nestes planos, determinaram-se fatores de visão do céu, das placas e da fachada para cada situação, localizando o ponto de referência para determinação dos ângulos sólidos que determinam estes fatores a partir de sombras equivalentes ( $S1_{heq}$ ,  $S1_{veq}$  e  $SFeq$ ) para placas e janela, de mesmas áreas dos sombreamentos reais (ver Figura 5).

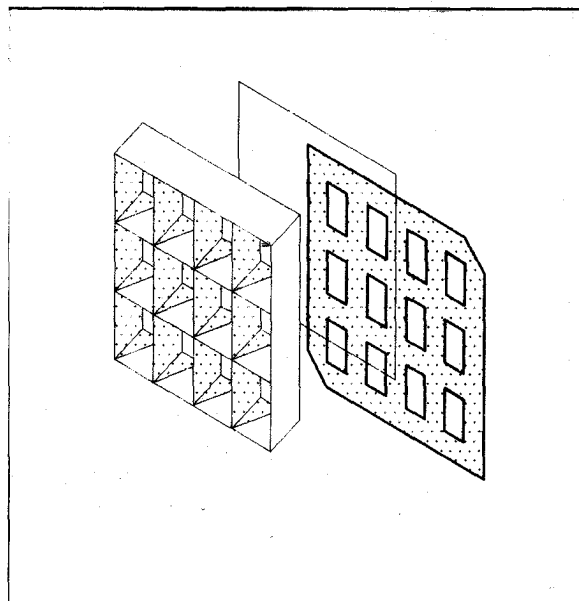


Figura 4. Perímetro sombreado da janela

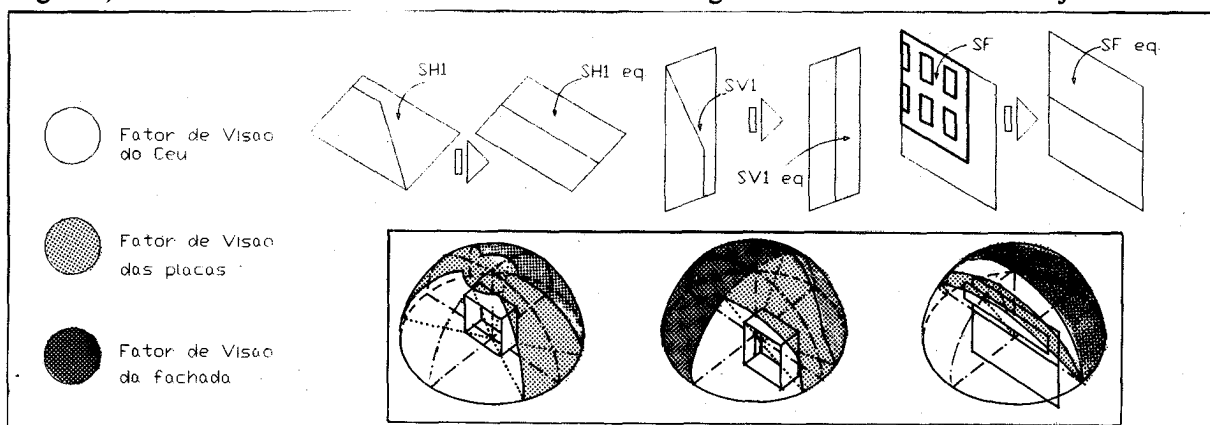


Figura 5. Sombras Equivalentes e fatores de visão

Determinados os fatores de visão das placas do brise, são feitos os cálculos da carga solar incidente sobre suas superfícies insoladas, a subtotalização das cargas nos módulos e a totalização da carga sobre o brise. Do mesmo modo é calculada a carga incidente sobre a janela (com e sem sombreamento), sendo a seguir determinado seu **Fator de Insolação** (= carga na janela sombreada ÷ carga na janela sem sombreamento). É feita em seguida a soma das cargas horárias computadas e a determinação do Fator de Insolação Médio para o dia pesquisado;

### e) Edição das Saídas do Programa:

- **Relatório de Informações Geométricas:** Fornece os resultados das variáveis horárias de grandezas angulares relativas aos planos receptores e a incidência de insolação, áreas e outros dados geométricos de sombreamento;

- **Relatório de Fluxos Solares:** Com a evolução horária e totalização da quantidade de radiação solar no plano horizontal, na janela (com e sem proteção) e no brise, fornecendo o FI horário e médio ao longo da jornada.

## CONTROLE DE QUALIDADE DO RADBRISE

A implementação do programa Radbrise teve a sua qualidade controlada através da comparação dos registros de cargas térmicas acumuladas nas placas e janela e do Fator de Insolação com os respectivos resultados do Casamo-Clim, consideradas as diferenças estruturais de cada programa. Tomou-se tal referência face a validação comprovada do Casamo relativamente a outros modelos de simulação térmica. Para tal, considerou-se uma mesma situação a ser simulada: uma janela de 1.70m x 1.70m e um brise de 3x3 módulos de 0,50m x 0,50m x 0,50 (profundidade) encostado na fachada, com placas com inclinações  $\beta_h$  e  $\beta_v = 0$ , espessura = 0,05m. Todos os módulos do brise são centrais (MC). As refletâncias consideradas são:  $\rho_{vidro} = 0,08$ ,  $\rho_{placas} = 0,6$  e  $\rho_{tecto} = 0,2$ . Considerou-se a latitude do Rio de Janeiro (-22.9°), e a data escolhida foi 4 de Julho, com radiação diária média de 13,69MJ<sup>vi</sup>. A evolução da potência solar ao longo da jornada foi determinada no Casamo-Clim conforme a evolução apresentada no Radbrise. Extratos dos resultados da comparação são resumidos nas Tabelas 1, 2 e 3 a seguir:

- Tabela 1. Orientação Norte:

	Fluxo jan. s/ brise (MJ/m <sup>2</sup> )	Fluxo jan. c/ brise (MJ/m <sup>2</sup> )	F. I.
Radbrise	9,12	4,74	0,52
Casamo	8,00	4,66	0,58

- Tabela 2. Orientação Sul:

	Fluxo jan. s/ brise (MJ/m <sup>2</sup> )	Fluxo jan. c/ brise (MJ/m <sup>2</sup> )	F. I.
Radbrise	4,54	3,25	0,72
Casamo	6,69	4,48	0,67

- Tabela 3. Orientação Leste:

	Fluxo jan. s/ brise (MJ/m <sup>2</sup> )	Fluxo jan. c/ brise (MJ/m <sup>2</sup> )	F. I.
Radbrise	7,56	4,75	0,63
Casamo	6,69	4,93	0,65

As diferenças ocorrentes entre os fluxos solares resultantes dos 2 programas, mais acentuadas na orientação Sul, sugerem uma influência importante nas metodologias de modelagem das componentes difusa e refletidas da radiação solar - o Casamo-Clim utiliza os modelos de Orgill & Hollands (para a reconstituição da componente difusa sobre o plano horizontal) e de Kasten (para as condições de céu claro)<sup>vii</sup>. Já os fatores de insolação confrontantes apresentam resultados aproximados.

## EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A fim de se testar a sensibilidade e a consistência da ferramenta criada, foram simuladas diversas situações, com os resultados resumidos a seguir. O conjunto brise-janela de referência foi definido como na situação anterior, sendo a data de simulação o equinócio de setembro.

### a) Variação da localização do brise na fachada:

O brise é posicionado nas seguintes situações, com os resultados tomados a partir da referência tomada no meio da fachada (ver Figura 6) resumidos na Tabela 4:

- Tabela 4. Localização do brise:

Localização	Carga no brise (MJ)	Referência	F. I.
(a)	19,99	1,0	0,62
(b) e (f)	25,43	1,27	0,62
(c) e (e)	35,64	1,78	0,62
(d)	31,00	1,55	0,62

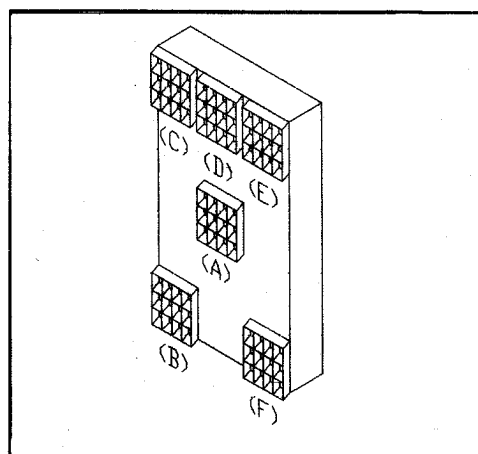


Figura 6. Localizações na Fachada

Embora o FI não se altere, dadas as condições de insolação constantes, percebe-se o aumento da carga solar no *brise* na medida em que aumenta a extensão das superfícies expostas à insolação, alertando para a importância dos materiais componentes do *brise* na sua maior ou menor capacidade de acumulação de carga térmica;

## b) Mudança da Refletância ( $\rho$ ) das placas:

Testadas as seguintes refletâncias nas placas:  $\rho = 0,6$  (cor cinza claro),  $\rho = 0,85$  (cor de alumínio oxidado) e  $\rho = 0,3$  (cor cinza escuro), resultados obtidos são resumidos na Tabela 5:

- Tabela 5: Variação da Refletância das Placas:

Varição de $\rho_H$ e $\rho_V$	Carga na janela sem <i>brise</i> (MJ)	Carga na janela com <i>brise</i> (MJ)	Carga no <i>brise</i> (MJ)	Fator de Insolação
0,6	21,97	13,56	20,00	0,62
0,85	21,97	17,18	21,05	0,78
0,3	21,97	9,2	18,38	0,42

Como se pode observar, os parâmetros da variação de eficiência do *brise* em função das mudanças de cor de suas placas são confirmados pelas simulações: dá-se um aumento de carga na janela em função das placas mais claras, diminuindo esse valor quando as placas têm a refletância diminuída.

## c) Mudança das Dimensões do Brise:

A partir de uma condição fixa de mascaramento), podemos configurar 3 alternativas de *brise*: **3x3 Módulos** de 0,50m x 0,50m x 0,20m (profundidade), com espessura das placas de 0,05m; **1 Módulo** de 1,50m x 1,50m x 0,60m (profundidade), com espessura das placas de 0,10m; **9x9 Módulos** de 0,167 x 0,167m x 0,067m (profundidade), com espessura das placas de 0,02m. Os *brises* estão encostados na fachada, protegendo uma janela de 1,70m x 1,70m,  $\beta_h = 6,25^\circ$ ,  $\beta_v = 0$  e as refletividades são as mesmas da simulação de referência. Os resultados das simulações estão na Tabela 6:

- Tabela 6: Variação das dimensões dos módulos do *Brise*:

Varição	Carga na janela sem <i>brise</i> (MJ)	Carga na janela com <i>brise</i> (MJ)	Carga no <i>brise</i> (MJ)	Fator de Insolação
c.1	21,20	13,72	12,94	0,62
c.2	21,20	8,08	10,87	0,37
c.3	21,20	16,12	10,87	0,73

Os resultados acima expostos sugerem que a diminuição do tamanho dos módulos associada ao aumento da quantidade destes interfere negativamente na eficiência do sombreamento. A afirmativa desta indicação só se pode consolidar a partir de estudos mais objetivos, com comprovação experimental.

## CONCLUSÃO

A ferramenta exposta neste trabalho se propõe a servir de auxílio complementar aos recursos tradicionais, uma vez que permite a modelagem de situações envolvendo variação de refletâncias, além das características geométricas e geográficas já abordadas usualmente. Espera-se que esse modelo seja desenvolvido e depurado, sendo avaliadas com maior precisão as aproximações envolvendo fatores de forma e fenômenos de reflexão envolvidos. Devemos ressaltar no entanto que o *Radbrise* atende às expectativas básicas quanto às respostas relativas aos problemas de radiação no conjunto *brise*-janela.

## Referências:

- <sup>i</sup>GIVONI, B. - *Man, Climate and Architecture*. London, Applied Sciences Publishers, 1976.
- <sup>ii</sup>OIGYAY, Victor & Aladar - *Solar Control and Shading Devices*. New Jersey, Princeton University Press, 1957.
- <sup>iii</sup>YANNAS, Simos - *Solar Control Techniques*. Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities, 1990.
- <sup>iv</sup>CAMPANA, D.; WATREMEZ, G et alii - *CASAMO-CLIM: Manuel d'Utilisation*. Paris, Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, 1990.
- <sup>v</sup>DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. - *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York. John Willey & Sons, 1980.
- <sup>vi</sup>CORBELLA, O. - *Disciplina de Energia Solar no Mestrado em Arquitetura FAU-UFRJ*, 1993. <sup>vi</sup>ABDESSELAM, M., et alii - *CASAMO-CLIM: Cahier Scientifique*. Paris, Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, 1990.
- <sup>vii</sup>ABDESSELAM, M., et alii - *CASAMO-CLIM: Cahier Scientifique*. Paris, Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, 1990.