

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO NA EFICIÊNCIA DE SOMBREAMENTO DOS BEIRAIS NAS FACHADAS LESTE/OESTE NO RIO DE JANEIRO

Castanheira, R.G. (1); Rodrigues, E.H.V. (2), Costa, C.E.S. (3)

(1) UFRuralRJ - Rua Domingos do Couto, 71 – Campo Grande – RJ

☎(21) 3402-1439

e-mail: rgcastanheira@uol.com.br

(2) e (3) UFRuralRJ - Rodovia BR 465 km 7 – Seropédica – RJ

☎(21) 2682-1220

RESUMO

Os altos valores da intensidade de radiação solar incidente nas fachadas podem ocasionar condições de desconforto térmico aos ocupantes das edificações, bem como incrementar gastos energéticos com sistemas artificiais de condicionamento térmico. Visando avaliar um novo programa simulador de sombras, denominado *Sombra2*, recentemente desenvolvido no DAU/UFRural, foi realizado um estudo com o objetivo de investigar a influência da inclinação dos beirais nas áreas sombreadas sobre as fachadas e as janelas, procurando estabelecer parâmetros que contribuam para a aumentar a eficiência na proteção destes elementos arquitetônicos contra a radiação solar. Foram analisadas, ao longo do ano, as fachadas situadas no Rio de Janeiro e orientadas para o leste, mas por simetria, os resultados obtidos podem ser utilizados para fachadas orientadas para o oeste. Simulou-se a distribuição horária percentual da radiação solar incidente e os valores das áreas sombreadas por um beiral de área unitária e altura fixa, considerando diversos horários e inclinações. Os resultados obtidos permitiram concluir que o programa avaliado tem condições de produzir bons resultados e que a inclinação ideal para estas proteções deve estar próxima aos 40°, não havendo perda considerável de eficiência, nos períodos mais quentes do ano, quando se utilizarem beirais com inclinações entre 20° e 40°.

ABSTRACT

The high values of the intensity of incident solar radiation in facades can cause conditions of thermal discomfort to the occupants of the constructions, as well as to increase energy expenses with artificial systems of thermal conditioning. In order to evaluate a new program simulator of shadows, denominated *Sombra2*, recently developed in DAU/UFRural, a study was accomplished with the objective of investigating the influence of the inclination of edges in the shaded areas on the facades and windows, trying to establish parameters to contribute for increasing the efficiency in the protection of these architectural elements against the solar radiation. Facades located in Rio de Janeiro and guided to the east were analyzed along the year. For symmetry, the obtained results can also be used for facades guided to the west. The percentile hourly distribution of the incident solar radiation was simulated. The values of the shaded areas covered by an edge of unitary area and height was also simulated and several schedules and inclinations were considered. The obtained results lead to the conclusion that the appraised program has adequate conditions to produce good results and that the ideal inclination for these protections should be close to 40°, not having considerable loss of

efficiency, in the hottest periods of the year, when edges with inclinations between 20° and 40° are used.

1. INTRODUÇÃO

Os valores elevados para a carga térmica no Rio de Janeiro, comprometem as condições de conforto térmico no interior dos edifícios. O uso de sistemas artificiais de climatização aumenta os gastos de energia, reduzindo a eficiência energética. A radiação solar incidente nas fachadas, nas janelas e nos telhados, é responsável, na maioria dos casos, pela maior parcela da carga térmica total de um edifício, tornando necessária a utilização de dispositivos para proteção solar, particularmente nas janelas e nas áreas envidraçadas. As janelas de vidro comum são elementos arquitetônicos que contribuem consideravelmente para os altos valores de carga térmica total dos edifícios e, portanto, devendo ser bem protegidas da radiação solar incidente. De acordo com KOENIGSBERGER et al. (1977), as características dominantes de um edifício são as sombras e as aberturas, o que induz à utilização de dispositivos de proteção solar nas aberturas. A solução plástica deve constituir-se em preocupação do arquiteto, tendo sempre em vista que as proteções solares, além de minimizar os efeitos da radiação solar incidente, não devem restringir a comunicação visual com o exterior e ainda comprometer as condições naturais de ventilação e iluminação. Estes elementos devem ser fundamentais da expressão exterior do volume (RIVERO, 1985).

Em diversos casos as fachadas e as janelas são protegidas por superfícies planas de forma retangular, horizontais ou inclinadas, tratadas neste trabalho como *beirais*. Estas superfícies normalmente são dispostas ao longo das fachadas ou apenas na parte superior das janelas, tendo como finalidade principal produzir sombra com conseqüente redução da intensidade da radiação solar incidente. O estudo foi realizado para as fachadas orientadas para o leste e, por conseqüente simetria, os resultados obtidos podem ser utilizados também em fachadas orientadas para o oeste. As fachadas orientadas para leste ou oeste no Rio de Janeiro podem ser consideradas críticas, em termos de radiação solar incidente nos meses mais quentes do ano, devendo portanto receber maiores cuidados da parte dos projetistas (CASTANHEIRA, 2001).

Este trabalho não tem por objetivo discutir se os beirais são ou não a melhor forma de proteção para os casos estudados, mas avaliar a eficiência de um programa, denominado *Sombra2*, recentemente desenvolvido no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFRuralRJ para a simulação das sombras projetadas por elementos protetores de forma retangular sobre as fachadas e as janelas. Para tal foi investigada a influência da inclinação destes elementos na quantidade e na qualidade da sombra produzida. É resultante de um estudo mais amplo, realizado em cinco etapas, onde foi estudada a influência da inclinação dos beirais sobre a sombra projetada nas fachadas e janelas nas diversas estações do ano, procurando-se, dentro do possível, determinar alguns parâmetros ideais para o projeto destes dispositivos de proteção solar, bem como avaliar as reduções que ocorrem nas áreas sombreadas, quando por outras razões, tem-se a necessidade de se utilizar beirais com inclinações diferentes daquela considerada ideal.

2. METODOLOGIA

Os dados necessários às análises realizadas, relativas ao período *anual*, foram obtidos a partir dos resultados encontrados em quatro fases iniciais desta pesquisa, denominadas de *verão*, *outono*, *inverno* e *primavera*, onde foram realizadas simulações para as sombras de beirais, utilizando os programas simuladores *RadHora* (CASTANHEIRA et al., 2002) e *Sombra2*.

O programa simulador *RadHora* foi utilizado para realizar estimativas da distribuição percentual horária da intensidade da radiação solar incidente nas fachadas no período de incidência de radiação solar direta, compreendido entre 7:00h e 11:59h. Todas as simulações consideraram um valor igual a 0,2 para o albedo do solo e valores para a radiação solar média diária mensal propostos por (CORBELLA, 1995). As simulações foram realizadas tendo em conta o *dia médio* de cada mês (DUFFIE e BECKMAN, 1980). Os valores percentuais horários obtidos para a radiação solar incidente no período estudado são tratados neste trabalho por R_7 , R_8 , R_9 , R_{10} , R_{11} e $R_{11:59}$, e representam os valores percentuais da radiação solar incidente nas fachadas às 7:00h, 8:00h, 9:00h, 10:00h, 11:00h e 11:59h.

O valor de 11:59h foi utilizado nas simulações, pois às 12:00h a fachada leste está iniciando o período de sombra e ocorre paralelismo entre o raio solar e o plano da fachada.

A figura 1 mostra a tela do programa *RadHora* para o mês de janeiro.



Figura 1 - Tela do programa *RadHora* para janeiro

O programa *Sombra2* foi utilizado para simular, em uma fachada orientada para o leste, as sombras de um beiral retangular de área unitária 1,00m x 1,00 m, localizado à altura de 3,00 m em relação ao piso. Nas simulações foram considerados beirais com inclinações iguais a 0°, 10°, 20°, 25°, 30°, 40° e 50°, em relação ao plano horizontal, conforme mostrado na figura 2.

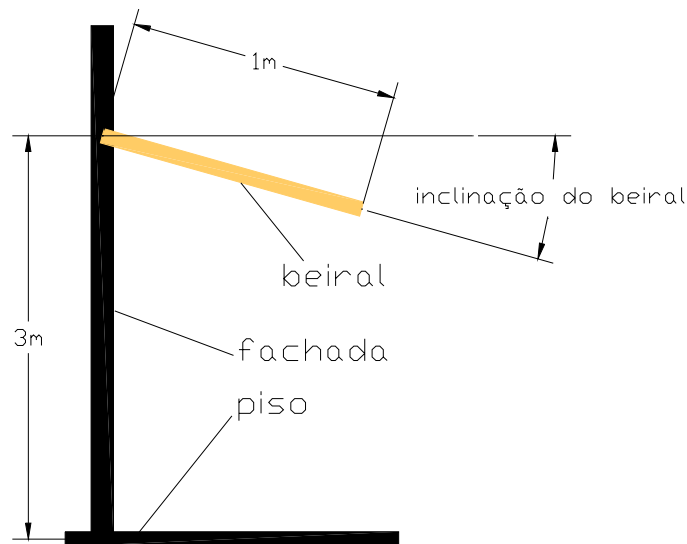


Figura 2 - Inclinação e posição dos beirais

As simulações também foram realizadas às 7:00h, 8:00h, 9:00h, 10:00h, 11:00h e 11:59h, sempre considerando o dia médio de cada mês. A figura 3 mostra a tela do programa *Sombra2* para um estudo realizado para um beiral inclinado de 25° no dia 17 de janeiro às 11:00h.

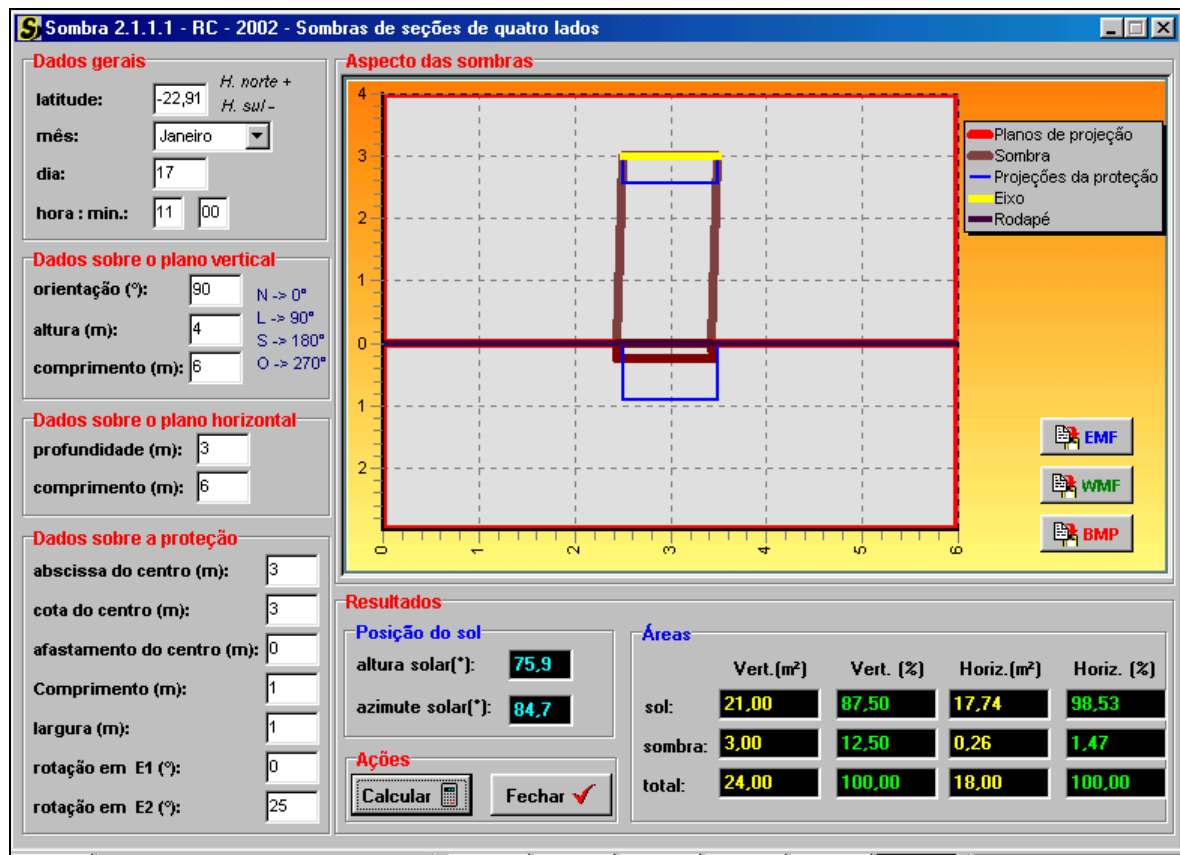


Figura 3 - Tela do programa *Sombra2* para o dia 17 de janeiro

Definiu-se a *área total de sombra* produzida por um beiral como sendo a soma das áreas sombreadas na fachada e no piso. A sombra no piso, apesar de pequena, foi considerada por ter influência no valor

da parcela refletida da radiação sobre a fachada. As áreas das sombras obtidas nos horários mencionados anteriormente são tratadas neste texto por $S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}$ e $S_{11:59}$.

Foi estabelecido um índice, definido por uma média horária ponderada da sombra produzida, considerando como pesos os valores percentuais da radiação solar incidente ao longo das horas do estudo, pois a eficiência de proteção contra a radiação solar direta de um beiral é produzir a maior quantidade de sombra nos horários em que os valores da radiação solar incidente são mais intensos. Este índice é tratado neste texto como *sombra média* (S_m) e calculado segundo a equação 1.

$$S_m = \frac{S_7 \times R_7 + S_8 \times R_8 + S_9 \times R_9 + S_{10} \times R_{10} + S_{11} \times R_{11} + S_{11:59} \times R_{11:59}}{R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{11:59}} \quad [\text{Eq.01}]$$

Os valores obtidos nas simulações realizadas foram inseridos em uma planilha elaborada no *Microsoft Excel*, denominada *análise de beirais*, onde são calculados os valores mensais para a *sombra média* ao longo do ano e a partir destes valores são obtidos valores médios para os períodos de *verão, outono, inverno e primavera*.

As figuras 4 e 5 mostram a planilha *análise dos beirais* para o mês de janeiro e um gráfico apresentando as variações horárias da área sombreada e dos valores percentuais para a radiação solar incidente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Área da sombra em função da hora (m²) - altura: Data: Latitude:-22,91°								
2	Inclinação(°)	Hora						S. média	
3	% de radiação:	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	11:59		
4		11,10	12,80	13,00	11,70	9,10	7,40	1,68	
5	0	Vertical	0,40	0,70	1,13	1,89	3,00		3,00
6		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25		0,99
7		Total	0,40	0,70	1,13	1,89	3,25		3,99
8	% B.Horiz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,80	
9	10	Vertical	0,57	0,87	1,29	2,04	3,00		3,00
10		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28		0,97
11		Total	0,57	0,87	1,29	2,04	3,28		3,97
12	% B.Horiz	42,5	24,3	14,2	7,9	0,9	-0,5	1,89	
13	20	Vertical	0,72	1,00	1,41	2,12	3,00		3,00
14		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28		0,93
15		Total	0,72	1,00	1,41	2,12	3,28		3,93
16	% B.Horiz	80,0	42,9	24,8	12,2	0,9	-1,5	1,92	
17	25	Vertical	0,79	1,06	1,45	2,14	3,00		3,00
18		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26		0,90
19		Total	0,79	1,06	1,45	2,14	3,26		3,90
20	% B.Horiz	97,5	51,4	28,3	13,2	0,3	-2,3	1,94	
21	30	Vertical	0,85	1,11	1,48	2,14	3,00		3,00
22		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24		0,86
23		Total	0,85	1,11	1,48	2,14	3,24		3,86
24	% B.Horiz	112,5	58,6	31,0	13,2	-0,3	-3,3	1,94	
25	40	Vertical	0,95	1,18	1,51	2,09	3,00		3,00
26		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18		0,76
27		Total	0,95	1,18	1,51	2,09	3,18		3,76
28	% B.Horiz	137,5	68,6	33,6	10,6	-2,2	-5,8	1,91	
29	50	Vertical	1,02	1,22	1,49	1,98	3,00		3,00
30		Horizontal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09		0,63
31		Total	1,02	1,22	1,49	1,98	3,09		3,63
32	% B.Horiz	155,0	74,3	31,9	4,8	-4,9	-9,0		
33	mazimo:	155,0	74,3	33,6	13,2	0,9	0,0		

Figura 4 - A planilha *Análise de beirais* para janeiro

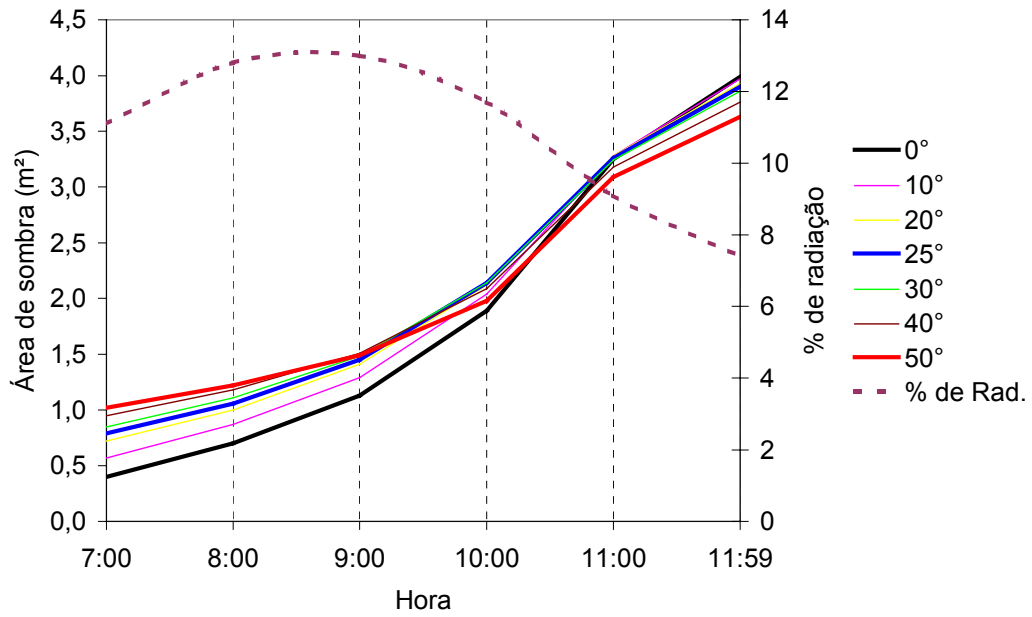


Figura 5 - Sombra do beiral em função da inclinação e da hora para o mês de janeiro

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os valores obtidos para a sombra média nos diversos períodos estudados anteriormente foi elaborado o gráfico de barras apresentado na figura 6, que mostra a variação da sombra média em função da inclinação do beiral ao longo do ano.

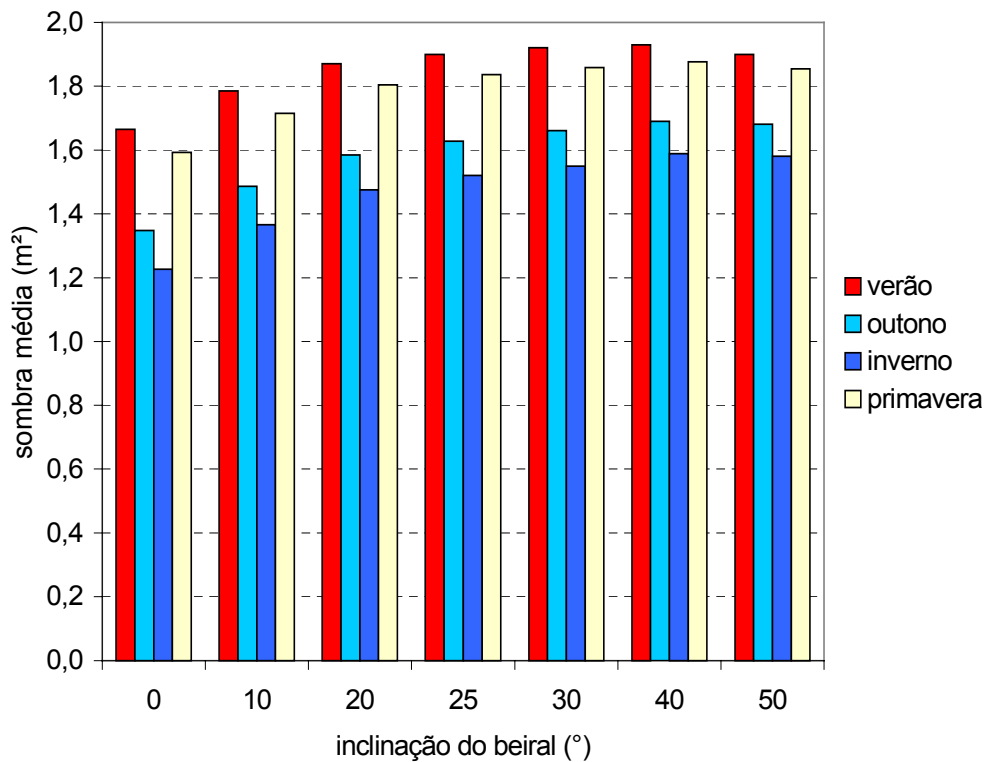


Figura 6 - Sombra média ao longo do ano

Observa-se no gráfico mostrado na figura 6 que, nos períodos considerados mais quentes do ano (*primavera* e *verão*), os beirais oferecem áreas sombreadas maiores, enquanto nos períodos mais amenos, *outono* e *inverno*, ocorre uma redução acentuada nas áreas sombreadas.

Para avaliar a influência da altura solar no sombreamento produzido pelos beirais, foi definida a *Altura média solar*, que é a média das alturas do sol no período compreendido entre 7:00h e 10:00h, considerado como crítico em termos de radiação solar incidente nas fachadas orientadas para o leste. Foram calculados valores médios para a *Altura solar* em cada período do ano e representados no gráfico de barras apresentado na figura 7.

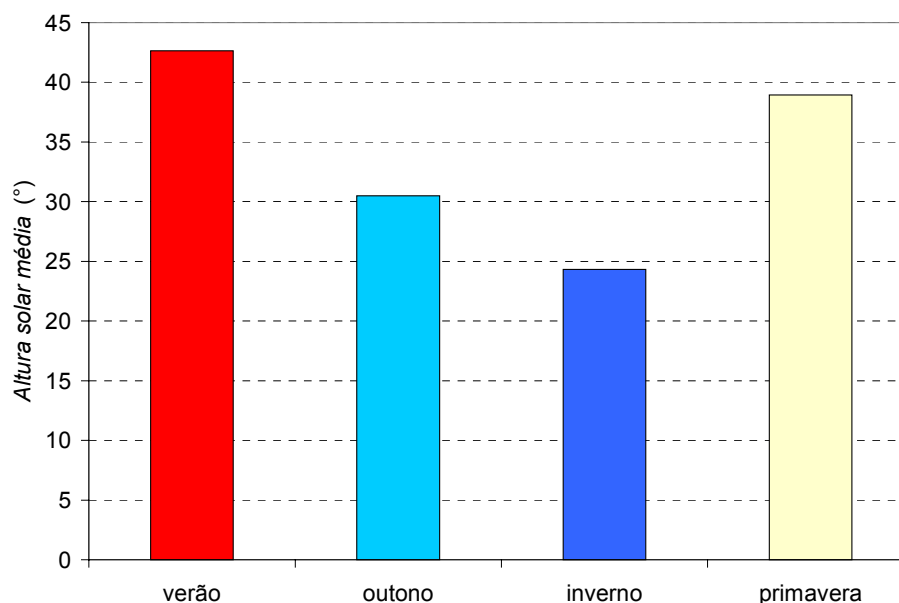


Figura 7 - Altura solar média ao longo do ano

Observando-se simultaneamente os gráficos das figuras 6 e 7, verifica-se de forma clara e já esperada a relação direta existente entre a área sombreada pelo beiral e o valor da altura solar, ou seja, para valores maiores da altura solar tem-se sempre as maiores áreas sombreadas, justificando a maior eficiência dos beirais nos períodos mais quentes do ano, quando a altura solar média é maior.

Analisando-se o gráfico mostrado na figura 6, verifica-se que independente do período analisado (*verão*, *outono*, *inverno* e *primavera*), beirais com menores inclinações sempre oferecem as menores áreas sombreadas e também que o tamanho destas áreas sombreadas aumenta até atingir um valor máximo para beirais com inclinações próximas a 40°, declinando logo a seguir. Isto mostra que a diferença entre os valores da altura solar média nos períodos críticos de radiação solar incidente, entre o *inverno* e o *verão*, apresentada no gráfico da figura 7, não é suficientemente grande para alterar o perfil de comportamento das sombras produzidas pelos beirais nas diversas estações do ano.

Podem ocorrer situações em que o projetista é obrigado a reduzir a inclinação do beiral, tais como, redução na comunicação visual com o exterior, problemas relativos à ventilação e à iluminação, ao não atendimento das condições de higiene e saúde ou, até mesmo, problemas de estética. Com o objetivo de se avaliar as perdas na quantidade de área sombreada, elaborou-se o gráfico apresentado na figura 8, que mostra as perdas percentuais médias ocorridas na área sombreada, quando se reduz a inclinação dos beirais de 40°, considerando que esta seja a ideal nos meses mais quentes do ano, para valores iguais a 30°, 25°, 20°, 10° e 0°.

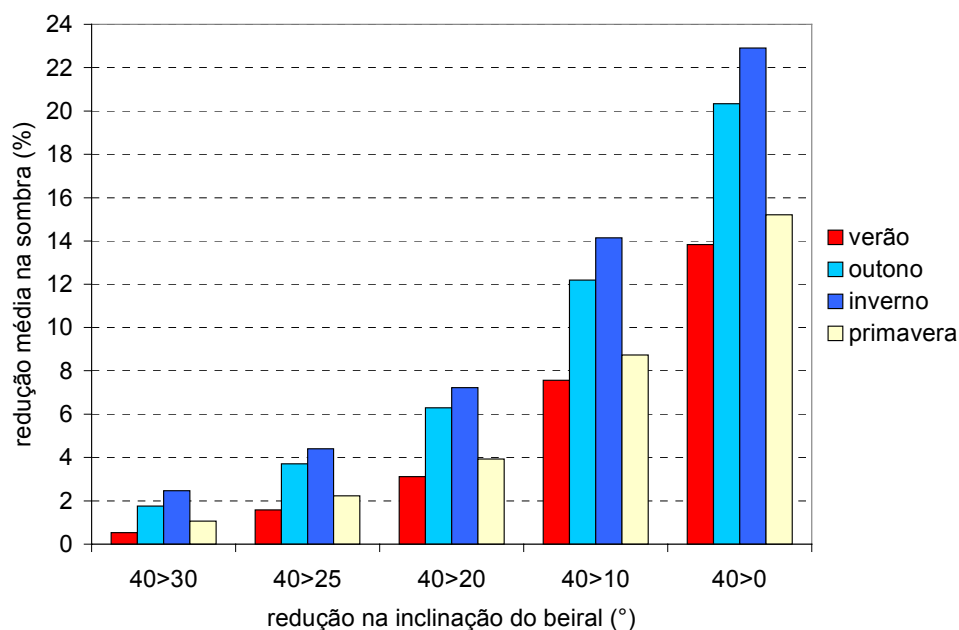


Figura 8 - Redução na área sombreada com a redução da inclinação do beiral

O gráfico apresentado na figura 8 mostra que, nos períodos mais quentes do ano, estas perdas são inferiores a 4%, para beirais com inclinações variando entre 20° e 40°. Observa-se na mesma figura, que uma redução na inclinação do beiral de 40° para 0° (beirais horizontais), pode causar uma redução de até 15% na área sombreada, nos meses mais quentes do ano e aumentar a área ensolarada em até 23% no inverno.

4. CONCLUSÕES FINAIS

Após todas as análises e simulações realizadas, concluiu-se que:

- os resultados qualitativos obtidos foram os esperados e descritos na literatura especializada no assunto, indicando que o programa *Sombra2* pode conduzir a bons resultados e ser bastante útil em problemas envolvendo a proteção de fachadas e janelas da incidência de radiação solar;
- a metodologia aplicada, apesar de requerer melhorias, atendeu às necessidades básicas para a realização desta pesquisa;
- a inclinação ideal para os beirais deve estar próxima aos 40°, mas as perdas não são grandes, nos períodos mais quentes do ano, quando se utilizam beirais com inclinações situadas entre 20° e 40°. Devem-se evitar beirais (toldos) com inclinações superiores a 40°, pois não propiciam uma área maior de sombra e ainda podem comprometer as outras variáveis de projeto (comunicação visual, ventilação, iluminação e higiene);
- a menos que seja necessário, não se devem utilizar beirais horizontais, pois são os menos efetivos em termos de proteção solar, sendo que um beiral, mesmo com uma inclinação pequena, apresenta proteção melhor do que um beiral horizontal;
- quanto às proteções móveis, elas não são necessárias durante os períodos mais quentes, pois os valores considerados como satisfatórios para a quantidade de sombra produzida ocorrem em uma faixa de inclinações que varia em torno dos 20°, não justificando a mobilidade do beiral. Para o período mais frio do ano, é possível se cogitar a utilização de beirais móveis, pois poderia se aumentar em até cerca de 23% a área ensolarada em uma janela, reduzindo-se a inclinação do beiral para 0°. É importante ressaltar que estas proteções são caras e ainda exigem manutenção e operação correta;

- considerando a simetria em relação ao meio dia solar, os resultados obtidos podem ser utilizados para as fachadas orientadas para o oeste, levando em conta que, nas primeiras horas do dia, a radiação solar sofre um processo de atenuação na atmosfera maior do que à tarde, devido às condições de umidade do ar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTANHEIRA, R.G. **Radiação Solar Incidente em Planos Inclinados, Fachadas e Telhados no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2001. 153p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – PROARQ-Universidade Federal do Rio de Janeiro

CASTANHEIRA, R.G.; ADEGAS, M.G.; KRAUSE, C.B. RadHora – Programa computacional para estimar o fluxo horário da radiação solar incidente em superfícies planas inclinadas. In: CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Asbrav: Associação Sul Brasileira de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação, 2002, CD – A3205.

CORBELLA, O.D.. Dados Consolidados de Energia Solar Global Diária em Plano Horizontal, para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Geociências do IBGE*, v1, n.16, p.131-168, 1995.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A.. **Solar Engineering of Thermal Processes**. New York. John Wiley & Sons, 1980. 761p.

KOENIGSBERGER et al. **Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales**. Madrid. Paraninfo, 1977. 327p.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre. D.C. Luzatto Editores Ltda, 1985. 239p.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos as Professoras Jaqueline Pires e Ana Paula Araújo e aos alunos do segundo semestre de 2002, da disciplina Conforto Ambiental I, do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRuralRJ, a imensa colaboração na realização das simulações e no processamento e sistematização dos dados que foram utilizados neste trabalho.