

## MEDIÇÕES DE SISTEMAS FENESTRAIS COMPLEXOS EM CAIXAS QUENTES

**F. C. Silva (1); V. A. Berte, M.Sc. (2)**

LCC-Laboratório de Conforto Ambiental e Conservação de Energia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila 2160 Bloco I, Campus Santa Monica, 38408-100, Uberlândia, M.G., tel.: +55 34 3239-4373, fax: +55 34 3239-4244  
E-mails: (1) [feracruz@triang.com.br](mailto:feracruz@triang.com.br), (2) [vaberte@ufu.br](mailto:vaberte@ufu.br)

### RESUMO

Este trabalho apresenta medições térmicas e lumínicas de vidros especiais de baixa transmitância com e sem dispositivos externos de proteção solar, feitas sob radiação solar real em Caixas Quentes de Pesquisa de Campo construídas pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Conservação de Energia (LCC). São apresentados os resultados por avaliações comparativas dos desempenhos destes sistemas fenestrais complexos em relação a um vidro comum de referência. Os resultados indicaram um bom potencial de desempenho dos vidros mas ainda inferior do que sob a proteção do sombreamento.

### ABSTRACT

This work presents measurements of special low thermal transmittance glazing with and without external shading devices under real solar radiation in Field Research Hot Boxes built by the Environmental Comfort and Energy Conservation Lab (LCC). The results are presented by comparative evaluations of the performance of these complex fenestration systems in relation to a common monolithic glass. The results show good potential for glazing performance, but still inferior to shaded systems.

### 1. INTRODUÇÃO

O emprego de fechamentos externos com grandes áreas envidraçadas sem elementos adequados de proteção, amplamente adotados pela arquitetura do setor terciário, tem sido questionado devido a problemas gerados pelos ganhos de calor, cuja fonte é geralmente a radiação solar. Dependendo da orientação geográfica e das características ópticas dos vidros utilizados, fazer uso de vidros na arquitetura sem critério implica diretamente num significativo acúmulo de densidade de energia térmica no interior da edificação, proporcionando desconforto para os usuários e grande consumo energético necessário para efetuar condicionamento térmico artificial. McCluney (5) diz que o efeito estufa é a forma mais comum de transformação da radiação solar em calor no interior de uma edificação.

Se o desenvolvimento da tecnologia de fabricação de vidros apresenta no mercado uma variedade de vidros de alto desempenho energético, por outro lado também os quebra-sóis produzidos industrialmente tem-se demonstrado eficientes na redução térmica. Uma avaliação dos efeitos da utilização conjunta destes elementos, necessária para constatar níveis térmicos e lumínicos, pode apresentar soluções bastante promissórias para regiões de insolação intensa.

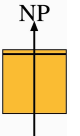

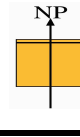

A intenção desta pesquisa é a de verificar o controle da incidência de radiação solar, utilizando Caixas Quentes de Pesquisa de Campo construídas no LCC – Laboratório de Conforto Ambiental e Conservação de Energia justamente para este fim.(7)

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas duas caixas Quentes, três tipos de vidros: vidro incolor monolítico 6 mm; vidro ACV 164 (vidro duplo com ar seco) e vidro metalizado Suncool BS 130AZII44 (vidro duplo com gás argônio) — e três tipos de brises: Termobrise; Brise Cell e Luxalon SL-4.

Uma seqüência de medições foi planejada a fim de organizar o andamento do trabalho. Foram assim realizados vinte e quatro ensaios, sendo que os dois primeiros foram repetidos para aferir os termohigrógrafos, conforme Tabela 1.

**Tabela 1. Bateria de ensaios realizada.**

CAIXA SIMULADA		Vidro 1 Incolor 6 mm	Vidro 2 ACV 164 (Ar seco)	Vidro 3 BS130AZII44 (Argônio)
	Sem proteção	1	13	18
	Luxalon SL-4	2	14	19
	Brise Cell	3	16	17
	Termobrise	4	15	20
	Termobrise	5	11	21
	Luxalon SL-4	6	10	23
	Sem proteção	7	12	22
	Brise Cell	8	9	24
CAIXA DE REFERENCIA				
	Vidro simples, sem proteção	1° ao 4° dias	13° ao 16° dias	17° ao 20° dias
	Vidro simples, sem proteção	5° ao 8° dias	9° ao 12° dias	21° ao 24° dias
	Vidro simples, sem proteção	5° ao 8° dias	9° ao 12° dias	21° ao 24° dias

Período de medição: o início dos ensaios coincidiu não só com o início da estação de chuvas como com o período de transição do sol do quadrante norte para o sul. Visto que a insolação direta viria apenas do quadrante oeste, decidiu-se manter as caixas viradas para o norte em parte dos ensaios, como inicialmente planejado, e testar os vidros sob radiação em sua maior parte difusa, comparando-se este comportamento contra a radiação direta nos ensaios alternados orientados para o noroeste. Os ensaios não puderam ser realizados em dias contínuos durante todo o período. Houve dificuldade para conseguir-se que fossem feitas as leituras de iluminância e de temperaturas externas durante os fins de semana, que tinham de ser de duas em duas horas, e ocorreram vários feriados no período. Fortes chuvas pela manhã também impediram algumas vezes a troca do vidro ou do brise. Estes fatos estenderam o prazo inicialmente previsto de 24 para 40 dias, de 6 de novembro a 15 de dezembro.

### 2.1 AFERIÇÃO DAS CAIXAS

O primeiro ensaio foi realizado com o vidro incolor 6 mm sem proteção em ambas as caixas, viradas para o norte, isto é, recebendo insolação direta durante parte do dia (aproximadamente de 9:30 às 14:30) e difusa no restante. O mesmo vidro foi usado em ambas as caixas para confirmar que elas e seus aparelhos de medição se comportariam de forma semelhante, estando sujeitas às mesmas condições de clima e de orientação. Já era antecipado que não se obteriam exatamente os mesmos dados em ambas as caixas devido à imprecisão inerente aos medidores utilizados e, possivelmente, à diferenças de comportamento das caixas em si. Os resultados, no gráfico abaixo, demonstram claramente o comportamento quase idêntico nas duas caixas. O ensaio foi repetido mais uma vez com os mesmos resultados.

Tabela 2. Propriedades dos vidros.

Vidro	Luz (%)		Radiação (%)			FS	CS	U	RHG
	Trans.	Reflex.	Trans.	Reflex.	Absor.				
Incolor 6 mm	88,00	8,00	79,00	8,00	14,00	82,92	0,950	5,740	643
ACV	40,60	24,60	□6,79	□19,71	73,50	27	0,305	3,283	218
BS	26,40	22,10	□10,64	□29,86	59,50	27	0,308	3,094	218

A Tabela 3 calcula a margem de erro padrão entre resultados das duas caixas, para permitir o cálculo de aproximações nos outros testes. As especificações técnicas do termohigrógrafo (Ratona R-704) estabelecem uma margem de erro de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , e assim a tabela analisa se as diferenças são apreciáveis.

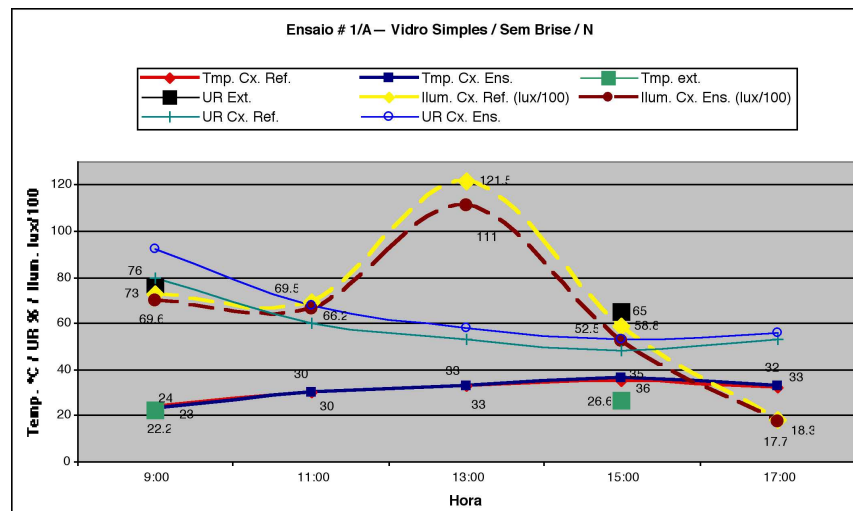


Figura 1. Ensaio 1/A, 6/nov

Tabela 3. Temperaturas médias internas e externas — avaliação da margem de erro nas medições dos primeiros dois testes e avaliação do comportamento nos outros ensaios.

Ensaio	Temperatura Média ( $^\circ\text{C}$ )			Diferença Temps. Aceitável ( $^\circ\text{C}$ )		FD
	Cx. Ref.	Cx. Ensaio	Exterior	Cx. Ref./ Exterior	Cx. Ensaio/ Exterior	
1/A (vid.)	31 $\pm$ 1	31 $\pm$ 1	24,4	5,6-7,6	5,6-7,6	0
1/B (vid.)	31 $\pm$ 1	30 $\pm$ 1	24,0	6,0-8,0	5,0-7,0	0
2/A (SL-4)	31 $\pm$ 1	24 $\pm$ 1	22,9	7,1-9,1	0,1-2,1	0,01-0,30
2/B (SL-4)	35 $\pm$ 1	31 $\pm$ 1	28,1	5,9-7,9	1,9-3,9	0,24-0,66
3 (B. Cell)	34 $\pm$ 1	29 $\pm$ 1	26,0	7,0-9,0	2,0-4,0	0,22-0,57
4 (Term.)	34 $\pm$ 1	—	25,4	7,6-9,6	—	—
7 (vidro)	38 $\pm$ 1	—	27,4	9,6-11,6	—	—
6 (SL-4)	34 $\pm$ 1	26 $\pm$ 1	24,1	8,9-10,9	0,9-2,9	0,08-0,32
8 (B.Cell)	32 $\pm$ 1	29 $\pm$ 1	24,8	6,2-8,2	3,2-5,2	0,39-0,84
5 (Term.)	30 $\pm$ 1	24 $\pm$ 1	24,3	4,7-6,7	(-1,3)-0,7	(-0,19)-0,15
13 (vid. 2)	32 $\pm$ 1	28 $\pm$ 1	24,8	6,2-8,2	2,2-4,2	0,27-0,68
14 (SL-4)	31 $\pm$ 1	24 $\pm$ 1	24,8	5,2-7,2	(-1,8)-0,2	(-0,25)-0,04
16 (B.Cell)	30 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1	26,2	2,8-4,8	(-0,2)-1,8	(-0,04)-0,64
15 (Term.)	33 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1	26,3	5,7-7,7	(-0,3)-1,7	(-0,04)-0,30
12 (vid. 2)	34 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1	25,7	7,3-9,3	0,3-2,3	0,03-0,31
10 (SL-4)	38 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1	26,7	10,3-12,3	(-0,7)-1,3	(-0,06)-0,13
9 (B.Cell)	35 $\pm$ 1	28 $\pm$ 1	27,1	6,9-8,9	(-0,1)-1,9	(-0,01)-0,27
11 (Term.)	31 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1	27,1	2,9-4,9	(-1,1)-0,9	(-0,22)-0,31
18 (vid. 3)	37 $\pm$ 1	30 $\pm$ 1	28,4	7,6-9,6	0,6-2,6	0,06-0,34
19 (SL-4)	37 $\pm$ 1	28 $\pm$ 1	26,7	8,3-10,3	0,3-2,3	0,03-0,28
17 (B.Cell)	37 $\pm$ 1	28 $\pm$ 1	27,4	8,6-10,6	(-0,4)-1,6	(-0,04)-0,19

Ensaio	Temperatura Média (°C)			Diferença Temps. Aceitável (°C)		FD
	Cx. Ref.	Cx. Ensaio	Exterior	Cx. Ref./ Exterior	Cx. Ensaio/ Exterior	
20 (Term.)	35±1	27±1	26,2	7,8-9,8	(-0,2)-1,8	(-0,02)-0,23
22 (vid. 3)	36±1	31±1	26,9	8,1-10,0	3,1-5,1	0,31-0,63
23 (SL-4)	36±1	26±1	25,1	9,9-11,9	(-0,1)-1,9	(-0,01)-0,19
24 (B.Cell)	32±1	25±1	24,0	7,0-9,0	0,0-2,0	0,00-0,29
21 (Term.)	37±1	28±1	27,6	8,4-10,4	(-0,6)-1,4	(-0,06)-0,17

Como as diferenças entre os resultados se encontram dentro das faixas aceitáveis, estas podem ser consideradas, portanto, como desprezíveis sobre as temperaturas medidas.

Os dados de iluminação interno infelizmente não puderam ser comparados aos externos, pois o posto meteorológico não dispunha deles. Os luxímetros digitais utilizados (Icel LD-500) apresentam uma imprecisão de  $\pm(5\%+2 \text{ dígitos})$  quando configurados na resolução de 100 lux. Entre as duas caixas, porém, as medidas não apresentaram diferenças significativas, como pode ser constatado na Tabela 4.

**Tabela 4. Avaliação de margem de erro entre iluminamentos médios medidos nas duas caixas.**

Ensaio	Iluminamento Médio (lux)		Diferença Ilumin. Aceitável (lux)	FR
	Cx. Ref.	Cx. Ensaio		
1/A (vid. 6mm)	6822±343	6340±319	180-1144	0
1/B (vid. 6mm)	5812±292	5422±273	175-955	0
2/A (SL-4)	5872±145	790±42	4895-5269	0,81-0,92
2/B (SL-4)	3714±186	1408±70	2050-2562	0,52-0,72
3 (B. Cell)	5320±268	2520±126	2406-3194	0,43-0,57
4 (Term.)	6160±308	2418±121	3313-4171	0,51-0,71
7 (vidro)	7580±381	7400±372	189-1695	0,02-0,24
6 (SL-4)	7600±382	1280±66	5872-6768	0,74-0,93
8 (B.Cell)	5320±268	2520±128	2434-3226	0,43-0,63
5 (Term.)	5314±266	996±52	4000-4636	0,79-0,83
13 (vid. 2)	6020±303	1500±77	4140-4900	0,65-0,86
14 (SL-4)	4200±212	375±21	3592-4058	0,81-1,02
16 (B.Cell)	8020±403	820±43	6754-7646	0,80-1,00
15 (Term.)	7560±380	680±36	6464-7296	0,81-1,02
12 (vid. 2)	7440±374	1820±93	5153-6087	0,65-0,86
10 (SL-4)	10020±503	560±30	8927-9993	0,85-1,05
9 (B.Cell)	3980±201	540±29	3210-3670	0,77-0,97
11 (Term.)	4720±238	440±24	3998-4542	0,81-1,01
18 (vid. 3)	6380±321	1240±64	4755-5525	0,82-0,91
19 (SL-4)	5940±299	780±41	4820-5500	0,77-0,97
17 (B.Cell)	6520±328	780±41	5371-6109	0,78-0,99
20 (Term.)	4600±232	560±30	3778-4302	0,78-0,98
22 (vid. 3)	8320±418	2700±137	5065-6175	0,58-0,78
23 (SL-4)	8440±424	560±30	7426-8334	0,84-1,04
24 (B.Cell)	5140±259	540±29	4312-4888	0,80-1,00
21 (Term.)	7420±373	820±43	6004-6836	0,79-1,00

A margem de erro de iluminação entre os dois aparelhos, portanto, é também desprezível.

Consultando-se os dados vê-se que a transmitância nominal de luz  $T_V$  para este vidro, bastante conhecida, é de 88%, ou seja, é possível estimar-se um iluminamento externo teórico, se necessário, através dos resultados internos de iluminamento na Caixa de Referência. Em relação à transmitância térmica, mostra um gráfico adaptado para o vidro 6 mm a partir de dados originalmente de OLGAY para transmitância direta através de vidro monolítico incolor 3 mm, supondo-se um comportamento similar. Vê-se que o vidro simples não é fortemente ângulo-seletivo, mantendo uma transmissão bastante forte e uniforme para a maioria dos ângulos de incidência, caindo bruscamente, porém, a partir dos 60°. O gráfico limita-se a apresentar transmitância somente para incidências num plano normal ao

vidro, o que, neste caso, com a caixa orientada diretamente para o norte, implica que ao meio dia do dia do ensaio, com altura solar de  $85^\circ$ ,  $\alpha T_s$  será de aproximadamente 0,21, claramente demonstrando que a maior parte da radiação será predominantemente difusa e não direta. A transmitância solar de radiação difusa para o vidro simples é 0,82.(6)

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Segundo Ensaio: Vidro Monolítico com Brise Luxalon SL-4

O teste seguinte, com o vidro comum protegido pelo brise mais simples, o Luxalon SL-4, e as caixas ainda orientadas para o norte, também foi realizado duas vezes. Nota-se forte redução nas temperaturas da Caixa de Ensaio, ficando a temperatura média interna pouco acima da externa, enquanto que a da Caixa de Referência, sem proteção, supera consideravelmente a média externa. Nota-se também menor eficiência na redução propiciada pelo brise em proporção ao aumento da temperatura externa, como pode ver-se pelo “Fator de Diferença”, ou seja, a proporção de redução térmica pelo sombreamento do brise não é linear. O FD mínimo é calculado pela razão entre a menor diferença entre as temperaturas médias da Caixa de Ensaio e do exterior e a maior diferença entre a Caixa de Referência e o exterior; o FD máximo divide a máxima diferença entre as temperaturas da Caixa de Ensaio e o exterior e a mínima entre a Caixa de Referência e o exterior.

Quanto menor o FD, melhor o desempenho, pois o resultado de cada caixa está sendo avaliado contra a temperatura externa. Se o FD for igual a 1,0, as duas caixas têm comportamento igual. Sendo o FD igual a zero, manteve-se dentro da caixa a mesma temperatura média do exterior; e sendo o FD negativo, o sistema de esquadrias consegue manter a temperatura interna média abaixo da externa.

Considerando os resultados máximos e mínimos possíveis, a redução média de temperaturas que pode ser esperada pela presença do brise é de  $FD=0,30$ , ou seja, 70% melhor do que o vidro sem proteção. Por exemplo, se a diferença de temperatura da caixa com o vidro 6 mm fosse de  $10^\circ\text{C}$  acima da externa, a caixa com o brise estaria apenas  $3^\circ\text{C}$  em média acima da externa.

No iluminamento, ocorreu redução considerável devido ao sombreamento projetado pelo brise. Considerando máximas e mínimas, a redução média de iluminamento pelo sombreamento do brise é de 74% acima da conseguida pelo vidro simples sem proteção. Dado que o vidro simples já obtém por si uma redução de 12%, a redução proporcionada unicamente pelo brise como elemento isolado foi de 86%.

No caso do iluminamento, quanto maior o “Fator de Redução”, maior a redução de luz, uma vez que o FR está sendo comparado diretamente entre uma caixa e outra. Um FR próximo a zero significaria pouca diferença entre as duas caixas, e com FR próximo de 1,0 estaria quase escuro dentro de uma das caixas. Devido às aproximações às vezes o FR será superior a 1,0, mas o limite na realidade é 1,0. Vê-se neste caso que o iluminamento exterior menor (Ensaio 2/B) diminui a redução global propiciada pelo conjunto vidro/brise. Lembrando que o vidro está recebendo apenas radiação difusa, isto pode ser devido ao fato de que o iluminamento menor exterior advém do céu claro desse dia (11,5 horas de insolação contra somente 0,3 horas no dia do Ensaio 2/A, ou seja, céu encoberto, resultando em abóboda mais esbranquiçada e maior nível de iluminamento difuso). Porém mesmo as poucas horas de insolação direta sobre o brise, refletida sobre suas lâminas e outras superfícies nas proximidades das caixas, foram capazes de provocar maior emissão de radiação infravermelha longa sobre o vidro e sobre a caixa, aquecendo-os e reirradiando para o interior, resultando em maiores temperaturas internas no dia de maior insolação.

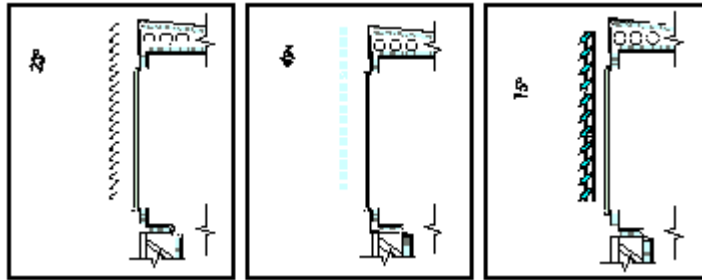
Uma característica notável que se deve claramente à presença do brise é a homogeneização do iluminamento no interior.

#### 3.2 Ensaio 3 e 4: Vidro monolítico com Outros Brises

Os ensaios a seguir irão comparar o desempenho dos outros dois brises, ainda sobre o vidro 6 mm e na mesma orientação norte.

No Ensaio 3, vê-se que a redução térmica provocada pelo Brise Cell foi próxima à do brise do Ensaio

2/B, o Luxalon SL-4. Consta-se que até as condições climáticas foram semelhantes nos dois testes, registrando-se 11,1 horas de insolação no dia do Ensaio 3. A redução média de temperaturas pelo Brise Cell foi, portanto, de 60%.



**Figura 2. Cortes pelo brise Luxalon SL-4 (alto à esq.), Brise Cell (alto à dir.) e Termobrise, mostrando ângulos verticais de penetração da insolação direta**

Os dados de iluminação puderam ser captados para os dois ensaios. A redução média de iluminação propiciada pelo Brise Cell foi de 50%, e pelo Termobrise de 61%. Além da redução de luz do Brise Cell ter sido menor do que a dos outros dois brises, a variação do iluminamento interno com este brise foi maior, acompanhando as flutuações do iluminamento na Caixa de Referência. O Termobrise consegue manter os níveis de iluminamento bastante estáveis, face à grande amplitude ocorrida na Caixa de Referência durante a realização do Ensaio 4

### 3.2.1 Ensaios 5 a 8: sistemas de vidro monolítico, orientação Noroeste

O primeiro ensaio se referirá sempre ao vidro sem proteção (neste caso, o vidro 6 mm em ambas as caixas), e os três ensaios sucessivos aos brises Luxalon SL-4, Brise Cell e Termobrise, respectivamente. Todos foram realizados com as caixas agora orientadas para o noroeste, região de forte insolação à tarde, com a incidência tendendo a ângulos mais baixos. Analisando-se em mais detalhe as diferenças entre os brises, porém, constata-se que os ângulos em que é permitida a penetração de insolação direta são bastante baixos. A Carta Solar mostra que a altura angular do sol às 17:00 horas está ainda em  $63^\circ$ , alto demais para penetrar diretamente, ou seja, não ocorrerá insolação direta para o interior da Caixa de Ensaio no período de medição quando esta estiver protegida por qualquer dos brises, mais uma vez restringindo-se o ganho térmico à radiação difusa.

Os efeitos da orientação noroeste podem ser vistos já neste ensaio, pois uma diferença a mais de  $3^\circ\text{C}$  e a menos de 4% de umidade relativa no exterior para as condições do Ensaio 1 provocaram um aumento da temperatura interna na caixa de 60% além do que seria esperado se o acréscimo ocorresse de forma linear. Usando a carta solar vê-se que o período dos testes (17 a 22/nov) coincide com o sol no zênite ao meio dia. A insolação direta ocorrerá de meio dia ao final da tarde.

O brise Luxalon SL-4 propiciou uma redução média das temperaturas de aproximadamente 80%, maior ainda do que havia sido conseguido na orientação norte. O Brise Cell teve uma eficiência de apenas 38%, talvez devido à maior abertura angular de sua grade, e o Termobrise demonstrou o melhor desempenho, com 102%, atuando dentro de uma margem bastante estreita que possibilitaria manter-se a temperatura média interna até abaixo da externa sob condições favoráveis.

No iluminamento, calculou-se desta vez o Fator de Redução também para o teste dos vidros sem proteção, não buscando a margem de erro entre os aparelhos de medição mas as próprias diferenças de transmissão de luz visível entre os dois vidros que, por serem iguais, teoricamente deveriam ter o mesmo comportamento. O que se constata, porém, é que pode ocorrer uma diferença média de até 13% entre os resultados de transmissão dos vidros “gêmeos”. Esta diferença média é confirmada fazendo-se o cálculo do FR também para os Ensaios 1/A e 1/B (Tabela 4), com resposta de 11% em ambos, permitindo-se concluir que, na prática, diferenças de transmitância de aproximadamente 11 a 13% podem ser encontradas mesmo entre vidros iguais.

O comportamento dos brises SL-4 e Termobrise são semelhantes também na redução lumínica (respectivamente, 83% e 81% em média), sendo de 53% no Brise Cell. Da mesma forma, o SL-4 e o Termobrise estabilizam os níveis de iluminamento interno, enquanto o Brise Cell acompanha a variação da luz externa.

### 3.3 Ensaios 13 a 16: sistemas de vidro duplo com câmara de ar seco, orientação norte

Os oito ensaios seguintes foram realizados com o segundo vidro selecionado, duplo 10-12-6, com a face externa formada por um painel Antélio esmeralda, laminado, com capeamento pirolítico protegido na face 2, câmara de ar seco e pano interno de vidro incolor, com espessura total de 28 mm. Descrevem-se aqui os quatro ensaios que foram realizados com as caixas orientadas para o norte.

Para os quatro ensaios com as caixas viradas para o norte e mantendo-se a mesma seqüência das tabelas anteriores, os dados levantados de temperaturas médias foram os da

A redução proporcionada pelo vidro duplo sem proteção foi em média 52% melhor do que o vidro incolor 6 mm de referência, comportamento próximo do Brise Cell no Ensaio 3, para a mesma orientação, porém sem a interferência do brise no campo visual. Sem dúvida isto representa um grande feito. Mas os testes posteriores com os brises demonstram claramente que o sombreamento externo contribui sensivelmente para a melhor eficiência térmica do sistema.

O Luxalon SL-4 elevou o desempenho médio para 110%, muito próximo do que seria de se esperar somando-se a eficiência do vidro duplo com a redução média estabelecida pelo SL-4 no Ensaio 2/A. Isto significa que as temperaturas internas poderiam ser mantidas abaixo das externas com a utilização deste sistema. O sistema usando o Brise Cell mais uma vez teve o menor desempenho entre os três brises — 70%, e o do Termobrise, 87%. O problema do brise surge quando se examinam os resultados lumínicos. Este vidro duplo por si só consegue reduzir a transmissão lumínica em comparação ao vidro simples (75% em média) para níveis equivalentes aos propiciados pelo brise Luxalon SL-4 sobre o vidro 6 mm no Ensaio 2, e ainda menores dos que os proporcionados pelos Brise Cell e Termobrise nos Ensaios 3 e 4. Estes resultados apontam para uma redução na transmissão de luz muito maior do que a indicada pelos dados básicos do vidro, com  $T_V$  de 40,6%. Deve ser lembrado, porém, que o iluminamento nestes ensaios orientados para o norte é puramente difuso, tendo o caminho do sol já ultrapassado o zênite à época de sua realização (30/11 a 5/12), e que esta classificação citada se aplica somente a um feixe de radiação visível perpendicular ao centro do vidro. Considerando-se que os níveis indicados para o vidro 6 mm já sofreram a redução própria deste, com fator de transmissão luminosa nominal de 0,88, o  $T_V$  proporcionado pelo vidro duplo sem proteção poderá chegar a até 22% do iluminamento externo incidente.

A contribuição dos brises na redução do iluminamento é bastante grande (91%, 90% e 91%, respectivamente), tendo proporcionado uma redução adicional de aproximadamente 80% isoladamente, suficiente para diminuir a luz natural a níveis muito baixos, surgindo então a probabilidade de se ter de complementar o ambiente interno com iluminação artificial. mostra como foram feitas as considerações para chegar-se à transmitância isolada do brise.

Fortes chuvas durante o Ensaio 14 impediram a leitura de iluminamento às 13:00 horas, mas o que conseguiu ser anotado mantém a continuidade das observações. Outra falha no termohigrógrafo impediu uma das leituras de temperatura seca na Caixa de Referência no Ensaio 16, mas também não invalida a observação. Observe-se que tanto o vidro duplo sem proteção como os sistemas com brises estabilizaram consideravelmente os níveis internos de iluminação natural.

### 3.4 Ensaios 9 a 12: vidro duplo com ar seco, orientação noroeste

O vidro duplo sem proteção apresenta uma redução térmica de aproximadamente 83%; com os brises, de 96%, 87% e 91%, respectivamente. Especial atenção deve ser dada ao Luxalon SL-4, que conseguiu manter a temperatura interna da Caixa de Ensaio muito próxima da média externa, enquanto a diferença de temperaturas entre a Caixa de Referência e o exterior manteve-se bem alta. De acordo com estes dados, as médias de redução seriam: para o vidro nú, 75%; para os sistemas com brises: 95%, 87% e 91%, respectivamente. Suspeitou-se que estes altos valores poderiam ser distorções provocadas por estarem as caixas orientadas para o noroeste, mais expostas ao sol da tarde, e assim refizeram-se os cálculos desconsiderando os dados levantados antes das 11:00. Os resultados, porém, confirmam o comportamento com resultados idênticos. Um exame mais detalhado revela que no final da tarde dos Ensaios 9 e 11 ocorreu forte queda na iluminância externa, quase escurecendo totalmente as caixas, e esta situação sim deve ter influenciado os resultados. De qualquer forma, fica a dedução de que a presença dos brises sobre este vidro duplo reduz exageradamente o iluminamento.

### 3.5 Ensaios 17 a 20: sistemas de vidro com câmara de argônio, orientação norte

Os próximos oito ensaios foram realizados com o terceiro vidro selecionado, um Suncool duplo 8-12-6, formado por um painel externo laminado composto de dois vidros-base Planilux de 4 mm, um azul e outro incolor, capeamento metálico aplicado por sputtering na face 2, câmara de argônio e pano interno incolor, com espessura total de 26 mm. Os primeiros quatro ensaios se referem à orientação norte. As temperaturas médias levantadas foram:

O vidro desprotegido conseguiu uma redução de 80% em média melhor do que o vidro 6 mm. Comparando-o com o vidro 2 para a mesma orientação, pode-se constatar que o desempenho térmico do vidro 3 foi muito superior. Algum desconto deve ser feito para as temperaturas pouco mais amenas predominantes nos testes com o vidro 2, fato que, como já foi dito para os Ensaios 2/A e 2/B, aparentemente reduz a proporção de redução da transmissão térmica. Os sistemas com proteção dos brises também demonstraram boa eficiência, sendo que as reduções médias propiciadas ficaram em 85%, 92% e 90%, respectivamente. Num desvio do que tinha sido a norma, o Brise Cell desta vez superou os outros dois sistemas. Todos os sistemas, inclusive o vidro nú, demonstram ser capazes de manter as temperaturas internas abaixo das externas sob condições favoráveis.

Os levantamentos de iluminamento deram os seguintes resultados: a redução propiciada pelo vidro sem proteção é bastante alta: 86% além daquela proporcionada pelo vidro 6 mm, equivalente a um  $T_v$  teórico de 0,12, bem inferior à transmitância nominal. O interessante é que o uso dos brises evidentemente contribui para maior redução da luz, mas a contribuição adicional é quase nula, muito menor do que sobre os outros vidros: aproximadamente 2 a 3% contra 20 a 21% para o vidro duplo com ar seco, e de 50 a 74% sobre a eficiência do vidro monolítico. A redução total chega a 87% para o Luxalon SL-4 e, para o Brise Cell e o Termobrise, 88%, pouco acima da eficiência inicial do vidro sem proteção. Mais uma vez, o Brise Cell supera ou se iguala ao desempenho dos outros brises. Da mesma forma que nos Ensaios 13 a 16, com o vidro duplo de ar seco, porém, a redução lumínica é forte o suficiente para suspeitar-se de que em ambientes reais precisaria-se complementar a iluminação natural com artificial para atingir níveis de conforto visual. Independente disto, os brises conseguem homogeneizar os níveis lumínicos, enquanto que o vidro desprotegido tende a oscilar mais, acompanhando a variação externa.

### 3.6 Ensaios 21 a 24: vidro duplo de argônio, orientação noroeste

Os últimos ensaios da bateria planejada foram realizados com o vidro duplo com câmara de argônio nas caixas orientadas para o noroeste. As temperaturas médias foram as seguintes:

As reduções adicionais sobre o vidro simples propiciadas pelo vidro de argônio e pelos sistemas com brise são 53%, 91%, 85% e 95%, respectivamente. Observe-se que a proporção de redução do vidro de argônio orientado para o noroeste, exposto neste ensaio a somente 3,7 horas de insolação direta e temperatura média de 26,9°, é bem menor do que o mesmo vidro na orientação norte (80%), quando esteve exposto à radiação difusa num dia de forte insolação (7,9 horas) e temperatura média mais alta (28,4°), e também menor do que o vidro duplo com câmara de ar seco orientado para o noroeste no Ensaio 12 (83%), exposto somente a 1,2 horas de insolação e temperatura média de 25,7°. Calculando-se o *LSG* para os três vidros, vê-se que nenhum é especialmente ângulo-seletivo, caindo todos na *zona neutra*. O comportamento dos dois vidros duplos parece bastante irregular, demandando a realização de mais testes específicos para descobrir-se um padrão inteligível.

Quanto aos sistemas protegidos por brises, vê-se uma contribuição maior destes na orientação noroeste, ficando os níveis de redução próximos aos que ocorreram na orientação norte para o mesmo vidro. A redução lumínica proporcionada pelo vidro de argônio desprotegido sobre a do vidro 6 mm foi de 68%; a dos brises foi de 94%, 90% e 89%, respectivamente. Utilizando o esquema de cálculo representado na a redução atribuível aos brises isoladamente chega aos 72% em média. Os sistemas de brise apresentam forte tendência à escurecer exageradamente o ambiente, da mesma forma que ocorreu nos ensaios anteriores com os vidros duplos.

Em todos os ensaios houve forte oscilação do iluminamento na Caixa de Referência, enquanto na Caixa de Ensaio, somente o vidro duplo desprotegido refletiu em parte esta variação. Os brises sempre mantiveram os níveis de iluminamento interno homogêneos.



#### 4. CONCLUSÃO

Apesar dos vidros especiais apresentarem excepcional redução térmica, ainda são inferiores ao sistema composto pelo vidro sombreado com um dispositivo externo.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTE, V.A. (2000) ACONDICIONAMENTO TÉRMICO NATURAL: ANÁLISE DE CASO NA CIDADE DE UBERLÂNDIA, Dissertação FAU-USP.
2. CARAM, R. M. (1998): CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DE MATERIAIS TRANSPARENTES E SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, Tese de doutorado, UNICAMP, pp. 86-88.
3. FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. (1995): MANUAL DE CONFORTO TÉRMICO, Studio Nobel, 2ª ed., São Paulo.
4. LABAKI, L. C, CARAM, R. M.e SICHIERI, E.P., (1995): Os vidros e o conforto ambiental. In: ANAIS III ENCONTRO NACIONAL/ I ENCONTRO LATINO AMERICANO- CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. - Gramado/RS, 1995. São Paulo. p. 215-220.
5. McCLUNEY, W.R.; MILLS, L.R. (1993) THE BENEFITS OF USING WINDOW SHADES. ASHRAE Journal, November/93, pp. 20-27.
6. OLGYAY, V. (1963) DESIGN WITH CLIMATE. Princenton University Press, Princenton, New Jersey, USA.
7. SILVA, F.C.; BERTE, V.A. (2000): Caixas Quentes de Pesquisa de Campo para Testes com Vidros e Dispositivos de Proteção Solar. In: ANAIS, SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU'2000/SP, 2000. São Paulo. p. 1122-1131.