



VERIFICAÇÃO COMPARATIVA DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS A FACHADAS ENVIDRAÇADAS EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS

Leonardo Marques Monteiro (1); Anésia Barros Frota (2)

- (1) Departamento de Tecnologia – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: leo4mm@gmail.com
- (2) Departamento de Tecnologia – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: arfrota@uol.com.br

RESUMO

Esta pesquisa verifica alternativas a fachadas de vidro em edifícios de escritórios na região metropolitana da cidade de São Paulo, Brasil. Verificaram-se dois casos típicos, ambos com a mesma altura e número de pavimentos, mas um orientado norte-sul e o outro leste-oeste. As fachadas principais são todas de vidro, sem qualquer tipo de proteção solar. Considerando-se que fachadas envidraçadas são responsáveis pelo ganho de calor solar e da incidência de sol sobre as pessoas, plano de trabalho e equipamentos, a aplicação do presente método foi realizado a fim de obter o desenho de um sistema de proteção solar e verificar o seu significado em termos de redução de carga e seus possíveis efeitos no consumo de energia do sistema de ar condicionado. Diferentes soluções foram verificados e comparados, incluindo o brise-soleil, película e tela metálica perfurada. Para realizar simulações de energia térmica foi utilizado dados meteorológicos anuais em base horária. Os dados existentes, com base na sua viabilidade e proximidade do local de estudo, foram considerados: SWERA, estação do Aeroporto de Congonhas, na cidade de São Paulo (OMM 837800 S23°37', W46°39', GMT-3.0, 803M). Primeiro, foi determinada a necessidade de mascaramento do céu, para cada uma das fachadas a fim de se preservar a máxima visibilidade possível à luz natural, que determina a dimensão do brise soleil. Os próximos estudos visam verificar a penetração da radiação solar direta nas aberturas das fachadas, respectivamente, para o caso de inverno e de verão. O objetivo foi comparar a penetração da luz solar para a situação atual e a situação com o uso dos sistemas propostos de brise-soleil. Para a quantificação do sistema de iluminação natural foi considerada a disponibilidade de luz na ordem de 20.000 lux na freqüência de 67% das horas do dia do ano em São Paulo. Para calcular o Fator de Luz Diurna (FLD), considerou-se a componente celeste, o componente da reflexão externa e interna, sendo a soma desses ponderado pelo coeficiente de caixilho, manutenção e transmissão luminosa dos vidros. Simulações de energia térmica, com base no clima anual, foram realizadas com objetivo de comparar a redução da carga térmica e, portanto, o consumo de energia pelo sistema de climatização artificial para as diferentes intervenções nos edifícios. Foram considerados os resultados de temperatura operativa (27,2°C), permitido para o conforto térmico na situação específica avaliada, utilizando o método de acordo com a ASHRAE-55 (2004). Considerando os resultados encontrados, as soluções para o primeiro edifício apresentam pequenas reduções para consumo de energia com ar condicionado, respectivamente, 1,5%, 2,3% e 3,6% para soluções com o filme, tela e brise-soleil. As estimativas de redução de energia total neste edifício são, respectivamente, 0,5%, 0,8% e 1,2%. Ao considerar os resultados para o segundo edifício, os resultados mostram reduções mais significativas no consumo de energia para ar condicionado: 8,0%, 12,2% e 16,1% para as soluções de filme, tela e brise-soleil. As estimativas de redução de consumo de energia total para este edifício são, respectivamente, 2,7%, 4,1% e 5,4%.

Palavras-chave: fachadas envidraçadas; edifícios de escritórios; proteção solar.

1 INTRODUÇÃO

Trata-se de dois blocos (A e B) de edifícios de um complexo localizado em Cajamar, SP. O Bloco A tem quatro pavimentos e planta de dimensões 54m x 16m e área de cerca de 3.500 m², cujas fachadas mais extensas estão voltadas aproximadamente para o leste e para o oeste, havendo proteção solar nesta última. A fachada norte é toda envidraçada e sem proteção solar, enquanto a fachada sul é opaca. O Bloco B tem quatro pavimentos e planta de dimensões 16m x 54m e área de cerca de 3.500 m², cujas fachadas mais extensas e envidraçadas estão voltadas aproximadamente para o norte e para o sul.

Fachadas envidraçadas são responsáveis por considerável ganho de calor solar e permitem penetração de sol sobre pessoas, plano de trabalho e equipamentos. A solicitação deste estudo foi feita com o objetivo de obter o dimensionamento de um sistema de proteção solar com brise-soleil e de verificar o seu significado em termos de redução de carga térmica e seu possível rebatimento no consumo de energia do sistema de ar condicionado. Assim, conforme solicitação do cliente, serão verificadas especificamente a fachada Norte do Bloco A e as fachadas Norte e Sul do Bloco B. Por solicitação do cliente, serão verificadas também, comparativamente, soluções de película e tela como alternativas à utilização do sistema de brises.

Para a realização das simulações termo-energéticas, utilizou-se banco anual de dados climáticos em base horária. Dada a falta de dados específicos para o local em que se encontram as edificações em estudo, verificou-se a disponibilidade de dados existentes, focando-se na sua confiabilidade, na proximidade com o local de estudos e na atualidade dos mesmos. Assim, optou-se por utilizar o banco de dados do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), disponível no site do programa gratuito de simulação Energy Plus (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>). O banco de dados refere-se à estação meteorológica de Congonhas (Estação WMO 837800), S 23° 37', W 46° 39', GMT -3.0, 803m acima do nível do mar, pressão atmosférica padrão de 92043Pa. Os dados foram coletados de 1973 a 2002, tendo sido tratados estatisticamente para a criação de um ano a partir de meses típicos representativos das condições climáticas encontradas no período.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar comparativamente soluções de película, tela metálica e brise-soleil, aplicadas a fachadas envidraçadas em edifícios de escritórios, avaliando-se as alterações qualitativas e quantitativas em termos de desempenho ambiental e, ainda, o respectivo impacto energético.

3 MÉTODOS

3.1 Verificação da insolação e mascaramento

Para verificação da insolação são realizados estudos geométrico, para cada uma das fachadas em avaliação, em função de sua orientação. No caso específico, tem-se fachadas Norte e Sul (em verdade, a fachada Norte possui azimute 16°, conforme pode-se depreender dos desenhos a serem apresentados). Utilizou-se carta solar para latitude 24° Sul. Em seguida, são determinadas as necessidades de mascaramento do céu, também para cada uma das fachadas em questão, visando preservar, o máximo possível, a visibilidade para o exterior e o aproveitamento da luz natural.

A seguir, apresentam-se as cartas solares e os mascaramentos do céu realizados. Conforme se pode depreender da leitura da carta solar, a máscara proposta para a fachada sul permite a entrada dos raios solares apenas nos dias próximos ao solstício de verão, na pior hipótese a partir das 18h30. Considerando as condições de entorno (as outras edificações), parte considerável do bloco B não receberá essa incidência. Além do mais, esse horário está fora do período de ocupação fornecido pelo cliente (segunda à sexta, das 8h00 às 18h00). Em termos geométricos, tem-se então um ângulo $\beta=55^\circ$ (ângulo de proteção do brise vertical em relação à normal da fachada) e aproximadamente um ângulo $\alpha=75^\circ$ (ângulo de proteção do brise horizontal em relação ao horizonte). Em verdade, na solução de proteção solar da fachada sul, conforme será visto, não há necessidade de placas horizontais, somente de uma grelha a cada pavimento, que serve de “fechamento” para o brise vertical e possibilita ainda a manutenção da fachada.

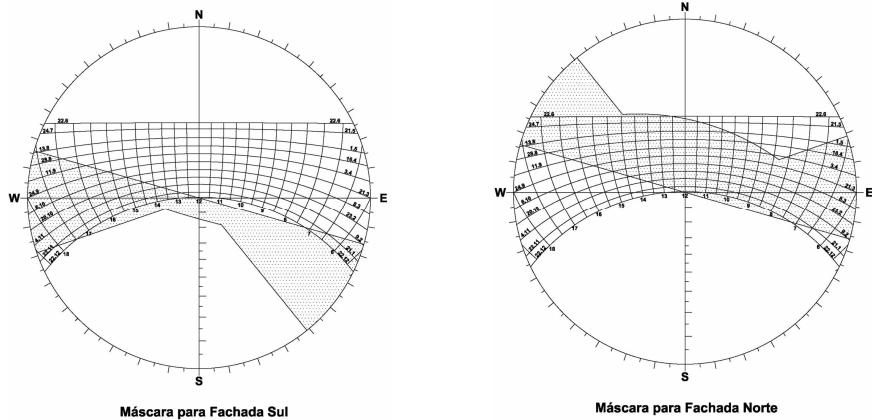


Figura 1 – Máscaras para Fachadas Sul e Norte

Conforme se pode depreender da leitura da carta solar, a máscara proposta para a fachada norte permite a entrada dos raios principalmente nos meses de outono e inverno. Na situação limite de solstício de inverno (22/06), tem-se a entrada de radiação solar direta das 6h45 até às 12h30. Nos meses anteriores e posteriores (de início de abril até meados de setembro) tem-se a diminuição do período que recebe insolação, até o limite em que se penetra apenas uma pequena fresta por um instante às 8h20. Considerando as condições de entorno, uma vez que não há outras edificações, a fachada Norte do Bloco B não sofrerá qualquer bloqueio externo. Já a fachada Norte do Bloco A, recebe influência da edificação a Leste e da projeção da tela da fachada a Oeste. A projeção da tela não interfere no mascaramento proposto. A edificação a Leste, barrará parte da radiação incidente nas primeiras horas da manhã, principalmente nos andares mais baixos. O impacto dessas questões será devidamente considerado nas simulações termo-energéticas. Em termos geométricos, manteve-se o mesmo ângulo $\beta=55^\circ$ (ângulo de proteção do brise vertical em relação à normal da fachada) para se poder padronizar as duas soluções de brises nas fachadas Norte e Sul, utilizando-se também a mesma solução em grelha para manutenção das fachadas. Contudo, devido à maior incidência solar, determinou-se um ângulo $\alpha=75^\circ$ (ângulo de proteção do brise horizontal em relação ao horizonte). Assim, se por um lado na fachada sul apenas as abas verticais são suficientes para a proteção solar, na fachada Norte dos Blocos A e B são necessárias também abas horizontais.

3.2 Dimensionamento de sistemas de brise-soleil

São aqui realizados os estudos geométricos de proteção solar com brise-soleil, buscando soluções que visem preservar, o máximo possível, a visibilidade para o exterior e o aproveitamento da luz natural. Propuseram-se duas possibilidades distintas de aplicação de sistemas de brises, que proporcionam o mesmo mascaramento do céu. Na primeira opção, tem-se a utilização de apenas uma placa horizontal por pavimento na fachada Norte dos Blocos A e B. Na segunda opção tem-se a utilização de duas placas horizontais por pavimento na fachada Norte dos Blocos A e B. Ressalta-se que os brises verticais foram dimensionados de modo a obedecer à modulação dos vidros existentes. Assim, na primeira solução proposta, cada brise vertical dista 1,25m do outro, apresentando dimensão de 0,90m (todo o sistema encontra-se pelo menos 0,30m recuado da fachada). No caso da adoção da segunda opção, com duas placas horizontais, tem-se a utilização de cada brise vertical distando 0,625 do outro, apresentando então dimensão de 0,45m (aqui também todo o sistema encontra-se pelo menos 0,30m recuado da fachada). Em ambas as soluções, na fachada norte, adotou-se como ponto crítico a altura de 0,80m, impedindo-se assim que haja incidência de radiação solar direta no plano de trabalho (salvo os períodos mencionados no item anterior acerca do mascaramento do céu). Com relação à fachada sul, toda ela foi protegida da radiação solar direta, tendo sido o ponto crítico adotado no piso, junto a fachada (novamente, ressalva-se os períodos mencionados no item anterior acerca do mascaramento do céu). Para as Figuras 2 a 4, tem-se que, na Fachada Norte: um brise horizontal de $h=0,9\text{m}$ (uma faixa preta, ilustrativa, por pavimento), brises verticais de $l=0,9\text{m}$, com modulação de 1,25m (linhas verticais); na Fachada Sul: brises verticais de $l=0,9\text{m}$, com modulação de 1,25m (linhas verticais).

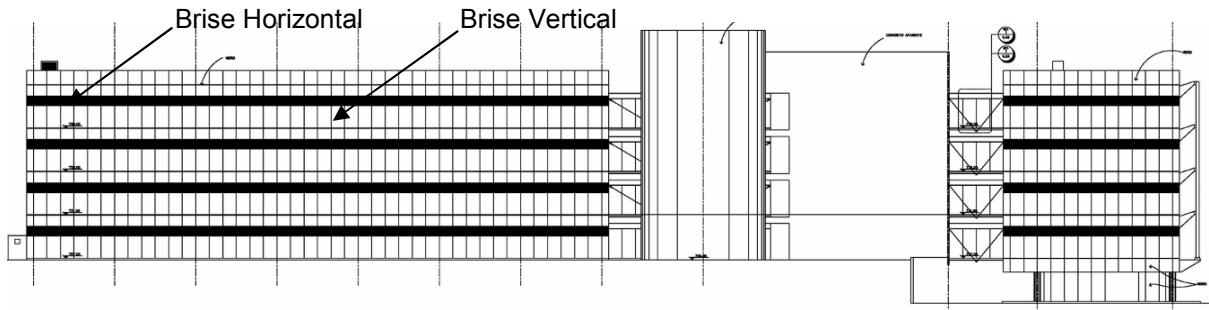


Figura 2 - Elevation da solução de sistema de brises

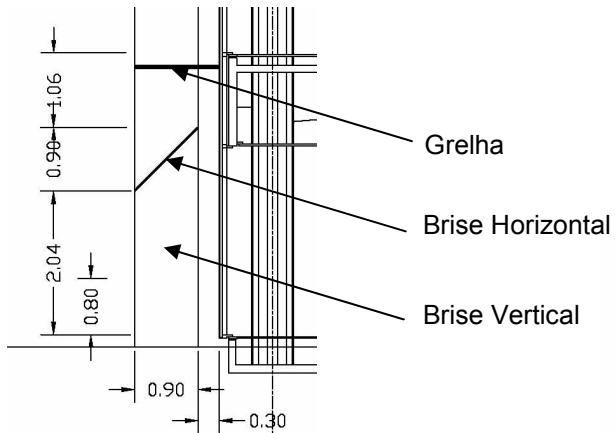


Figura 3 - Detalhe em corte da solução de brises

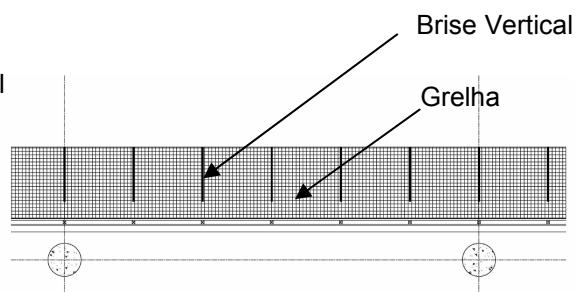


Figura 4 - Detalhe em planta da solução de brises

3.3 Estudos de penetração solar

Os estudos a seguir visam verificar a penetração da radiação solar direta nas aberturas, nas fachadas Norte e Sul, respectivamente para o caso de inverno e verão. Conforme já argumentado anteriormente, para a fachada Norte, para evitar-se a perda excessiva de visibilidade exterior e comprometimento da iluminação natural, adotou-se como ponto crítico o plano de trabalho. Já na fachada sul, adotou-se o plano do piso. O objetivo é comparar a penetração solar para a situação atual e para a situação com a utilização dos sistemas de brises propostos. Ressalta-se que a utilização de película ou tela mantém a mesma geometria da penetração solar no ambiente, contudo a intensidade é atenuada de acordo com as propriedades dos materiais. Assim, os estudos aqui realizados, quando especificados para a situação atual, valem também para a situação com emprego de película ou tela. A seguir apresenta-se, a título de ilustração, a comparação para o caso da fachada sul, com e sem brise, na situação de verão.

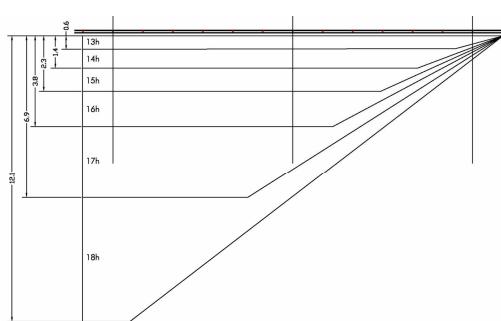


Figura 5 - Fachada Sul SEM brise (verão)
Penetração solar das 13h (faixa inteiriça de 0,6m) às 18h (faixa inteiriça de 12,1m)

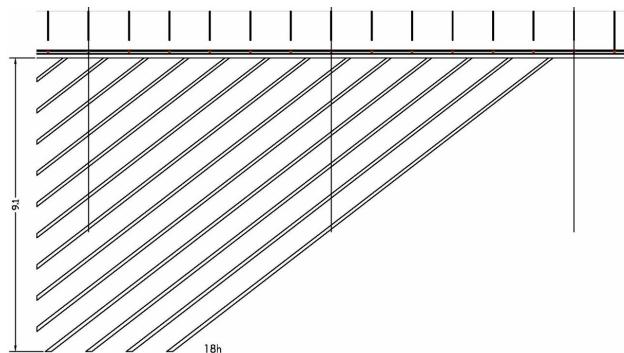


Figura 6 - Fachada Sul COM brises verticais $l=0,45$ (verão)
(verão) Penetração solar depois das 18h (frestas até 9,1m)
Ressalta-se que há penetração solar apenas nos dias próximos ao solstício de verão

3.4 Iluminação natural

Para a quantificação do sistema de iluminação natural adotou-se o seguinte procedimento. Considerou-se a disponibilidade de luz natural da ordem de 20.000 lux, relativa à freqüência de ocorrência de 67% das horas diurnas do ano na cidade de São Paulo (dados específicos para a cidade de Cajamar não estão disponíveis).

Para o cálculo do Fator de Luz Diurno (FLD), considerou-se a componente celeste, a componente de reflexão externa e a componente de reflexão interna, sendo a somatória das mesmas ponderada pelos coeficientes de caixilho e de manutenção e pela transmissão luminosa do elemento de iluminação. Adotaram-se transmissão luminosa de 30% para o a fachada envirada da edificação (conforme dados fornecidos pela CEBRACE em produtos similares de catálogos), 20% considerando a aplicação da película PC70 (conforme catálogo da 3M), 15% para a utilização da tela (não foram disponibilizados dados nem foi identificado o fornecedor do produto, portanto o valor de 50% para transmissão solar e luminosa da tela foi solicitado pelo cliente apenas a título de verificação) e, para o caso do emprego do sistema de brises, considerou-se adequadamente a sua geometria, apresentada anteriormente neste relatório, para a realização dos cálculos. Com relação ao coeficiente de manutenção adotou-se o valor de 90%, considerando-se uma boa manutenção em termos de limpeza das fachadas verticais. Já para o coeficiente de caixilho, adotou-se o valor de 100%, dada a própria solução técnica empregada e uma vez que já se adotará valores referentes ao vão luz. Com relação às obstruções no entorno, serão consideradas as outras edificações do complexo e o conjunto de árvores localizado a leste do bloco B, para dimensionamento da fachada Sul deste bloco. Além dessas considerações, têm-se ainda as fachadas Norte dos blocos A e B, que não possuem obstruções e possuem piso gramado, assim para componente de reflexão externa será adotado valor zero. Para determinação da componente de reflexão interna, é considerada a relação entre área de vão livre (superfícies translúcidas) e área de superfícies opacas (soma da área de piso, forro e vedações verticais). Considerando essa relação e o coeficiente médio de reflexão do ambiente (considerando cada material e acabamento e ponderando pelas áreas), chega-se à componente de reflexão interna. Para ambos os blocos, a componente de reflexão interna é de 4%. Para a determinação da componente celeste, em ambos os casos, adotou-se plano de avaliação à altura de 0,7m do piso. Foram estudados os seguintes pontos de interesse para determinação dos respectivos valores de componente celeste e consequentes disponibilidades de luz natural: Bloco A: a 2m de distância (em direção ao sul) do ponto central da fachada Norte e a 8,2 m de distância (em direção ao sul) do ponto central da fachada Norte; Bloco B: a 2m de distância (em direção ao sul) do ponto central de três módulos da fachada Norte; a 8,2 m de distância do ponto central de três módulos da fachada Norte e Sul (ponto equidistante); e a 2m de distância (em direção ao norte) do ponto central de três módulos da fachada Sul. A tabela 1 apresenta os resultados.

Tabela 1 – Resultados em Fator de Luz Diurna (FLD) e iluminância (Ep) para as diferentes soluções verificadas

	BLOCO A				BLOCO B					
	Fachada Norte (afastado 2m)		Fachada Norte (afastado 8,2m)		Fachada Norte (afastado 2m)		Fachada N e S (afastado 8,2m)		Fachada Sul (afastado 2m)	
Solução	FLD	Ep	FLD	Ep	FLD	Ep	FLD	Ep	FLD	Ep
Atual	5,7%	1140 lx	3,3%	660 lx	5,2%	1040 lx	1,6%	320 lx	4,7%	940 lx
Película	3,8%	760 lx	2,2%	440 lx	3,5%	700 lx	1,1%	220 lx	3,1%	620 lx
Tela	3,0%	600 lx	1,7%	340 lx	2,6%	520 lx	0,8%	160 lx	2,3%	460 lx
Brise	2,8%	560 lx	2,0%	400 lx	1,5%	300 lx	1,1%	220 lx	1,9%	380 lx

Conforme se pode observar, no Bloco A, as três soluções verificadas propiciam intensidade de luz natural suficiente para a satisfação do quesito de iluminação do ambiente, considerando que para atividades de escritório, a norma NBR 5413 (ABNT, 1992) recomenda valores entre 300 e 700 lux, pode-se observar que as três soluções atendem esse quesito nas situações de céu estudadas. Com relação ao Bloco B, verifica-se que as três soluções verificadas também cumprem o referido quesito na faixa lindreira às fachadas, com valores entre 300 e 700 lux. Vale ressaltar que o dimensionamento da perfuração das placas horizontais dos brises foi realizado com base em atender o critério de 300 lux nesta situação. Com relação a situação mais interna do Bloco B, deve-se ressaltar, ainda que os valores tenham ficado entre 160 e 220 lux, eles se mostram bastante favoráveis, uma vez que, apesar de não

serem suficientes para prática de atividades de escritório, são suficientes para iluminação geral ou ainda para iluminação para circulação. Por fim, ressalta-se ainda que a adoção do valor de 20.000 lux refere-se a uma situação de céu encoberto ou parcialmente encoberto e que, quando houver exposição ao sol, a disponibilidade de luz natural será até superior a cinco vezes ao indicado no quadro de resultados. Desta forma, considera-se que a intensidade e a distribuição das soluções de sistema de iluminação natural propostas estão adequadas, podendo, contudo, atingir valores muito acima do necessário em dias de céu claro. Assim, a solução de brises mostra-se mais vantajosa, por minimizar as situações de ofuscamento ao bloquear a ação de grande parte da radiação direta solar.

3.5 Visibilidade do ambiente externo

Dentre as três soluções em verificação, a aplicação de película é a que menos prejudica a visibilidade do exterior, alterando apenas o nível de luminosidade e, possivelmente, provocando alguma alteração em termos de tonalidade de cores. A utilização de tela mantém a visibilidade exterior, mas a qualidade da mesma é prejudicada, diminuindo, por exemplo, o reconhecimento de detalhes do ambiente externo. A opção pelos brises também altera significativamente a visibilidade externa, mas de outra forma. A mesma fica reduzida, verticalmente pelo limite inferior da aba horizontal dos brises (que se encontra acima do nível de visão das pessoas), ao mesmo tempo em que se segmenta a visual, pela presença dos elementos verticais. Essas consequências podem ser observadas nos desenhos apresentados anteriormente neste artigo, quando da consideração das soluções de brises.

3.6 Simulações termo-energéticas computacionais

As simulações termo-energéticas computacionais, com base climática anual, tem por objetivo comparar a redução na carga térmica, e consequentemente no consumo de energia pelo sistema de condicionamento artificial de ar, para diferentes intervenções realizadas em uma edificação. Neste estudo serão realizadas como base simulações das situações atuais para o Bloco A e B. Uma vez realizada a simulação de base para o Bloco A, são então realizadas simulações para as soluções da fachada Norte com película, com tela e com brises. Ressalta-se que, ainda que se tenha proposto duas soluções de brises, geometricamente o mascaramento do céu é o mesmo, portanto as simulações valem para ambas as propostas. Deve ser mencionado também que baseado na verificação das condições de iluminação natural, as placas horizontais dos sistemas de brises foram dimensionadas para uma perfuração de 30%. Assim, adotou-se esse valor para as simulações. Essa situação é válida para as fachadas Norte do Bloco A e do Bloco B. Para o Bloco B, após a realização da simulação de base, realizaram-se simulações para as soluções da fachada Norte com película, com tela e com brises. Realizaram-se então simulações para as soluções da fachada Sul, também com película, com tela e com brises. Finalmente, realizaram-se as simulações finais para as mesmas soluções aplicadas às fachadas Norte e Sul. Conforme se pode verificar, ao todo foram necessários 14 conjuntos de simulações para realizar as duas simulações de base e testar as três soluções (película, tela e brises) nas fachadas Norte do Bloco A e Norte e Sul do Bloco B. Para caracterização de materiais opacos da envoltória e pisos/forros, adotou-se Frota e Schiffer (2006). Para a caracterização de materiais translúcidos, o cliente não dispunha dos dados técnicos do vidro, nem seu fornecedor (CEBRACE). Comparando com modelos similares atualmente no mercado, para efeito das simulações, adotou-se absorção solar de 30%, reflexão solar de 35% e transmissão solar de 35%. Com relação à tela existente na fachada Oeste do Bloco A, o cliente não localizou qualquer tipo de dados nem seu fornecedor. Considerou-se assim um fator solar de 50%. Por fim, com relação à película azul aplicada na porção superior dos vidros da Fachada Norte do Bloco A, também não foram fornecidas qualquer especificações e as mesmas, após consideração de seu efeito na carga térmica, não foram consideradas nas simulações.

As fontes internas de calor consideradas foram: Ocupação: Segundo dados fornecidos pelo cliente, o Bloco A possui capacidade para 362 pessoas e o Bloco B para 370 pessoas. Desta forma, considerando-se atividade de escritório, em que se tem taxa metabólica de 130W, em que 65W são de calor sensível e 65W são de calor latente, calculou-se a carga interna de ocupação, resultando-se em 7W/m² de calor sensível e 7W/m² de calor latente. Equipamentos: Dados específicos referentes a

cargas térmicas de equipamentos foram fornecidos apenas para um laboratório do Pavimento 4 do Bloco A. Assim, para generalização dos ambientes, assumiu-se que cada usuário possuía equipamento computacional de uso próprio, estimando-se uma carga de sensível 120W por pessoa, resultando em 13W/m² de calor sensível. Iluminação: Considerando o projeto luminotécnico fornecido pelo cliente, foram consideradas todas as luminárias, lâmpadas e respectivas potências, resultando em 13,5W/m². Considerando todo o sistema de iluminação, ou seja, as potências das lâmpadas e respectivos equipamentos de controle (reator, ignitor, transformador, etc.), resultou em 21W/m². Os ganhos de calor solar foram dimensionados de acordo com as simulações computacionais para as situações atuais e para as soluções em verificação, com base no banco de dados climáticos apresentado inicialmente.

4 RESULTADOS

4.1 Carga térmica e economia de energia

Uma vez finalizadas todas as simulações computacionais, considerando todas as trocas higrotérmicas do balanço energético, a tabela 2 apresenta as cargas térmicas a serem removidas respectivamente do Bloco A e do Bloco B, considerando-se o sistema de condicionamento artificial de ar operando de forma a fornecer condições ambientais com temperatura do ar a 24°C e umidade relativa a 50%, de segunda a sexta-feira, das 8h às 18h, perfazendo um total de 2.600h anuais de condicionamento ambiental (aproximadamente 60% do total de horas diurnas do ano).

Tabela 2 – Cargas Térmicas e Percentuais de Redução em função da solução adotada

Mês	Bloco A				Bloco B							
	Atual	Pelíc.			Atual	Película			Tela	Brise		
		N	N	N		N	S	N+S		N	S	N+S
jan	97,0	96,0	95,5	95,0	94,9	91,5	91,8	88,6	90,0	90,2	85,3	88,0
fev	125,2	123,9	123,2	122,2	122,7	117,9	119,1	114,5	115,7	117,2	110,2	112,4
mar	93,7	92,4	91,7	90,5	93,9	89,1	91,6	87,1	87,0	90,4	83,6	82,8
abr	76,8	75,4	74,6	73,3	80,1	74,7	78,3	73,3	72,3	77,4	69,7	67,9
mai	64,9	63,6	62,8	61,6	68,7	63,7	67,3	62,6	61,4	66,5	59,3	57,5
jun	54,6	53,1	52,2	51,0	59,8	54,2	58,6	53,3	51,6	58,0	49,9	47,3
jul	52,8	51,3	50,5	49,1	57,1	51,8	55,8	50,8	49,4	55,2	47,5	44,9
ago	63,6	62,2	61,5	60,2	65,3	60,4	63,8	59,2	58,2	63,0	56,0	53,8
set	58,0	57,1	56,6	55,8	57,8	54,5	55,9	52,7	52,9	54,9	50,1	50,2
out	76,9	76,1	75,6	75,0	74,7	71,7	72,2	69,3	70,3	70,9	66,5	68,3
nov	79,8	79,1	78,7	78,3	77,7	75,0	75,0	72,4	73,7	73,6	69,7	72,3
dez	85,2	84,3	83,9	83,4	83,6	80,5	80,5	77,6	79,1	78,9	74,5	77,6
ANO	928,4	914,3	906,8	895,3	9363	885,0	910,0	861,4	861,7	896,1	822,4	823,1
Redução	-	1,5%	2,3%	3,6%	-	5,5%	2,8%	8,0%	8,0%	4,3%	12,2%	12,1%
											4,1%	16,1%

Para verificação da redução no consumo de ar condicionado, são necessários o coeficiente de performance (COP) do sistema de ar condicionado e a tarifação adotada pela fornecedora de energia. Segundo dados fornecidos pelo cliente, o valor contratado da tarifa é de R\$0,256/ kWh. O sistema de ar condicionado no bloco A e B é composto de uma central de água gelada de 360 TRs, fornecidos por 4 unidades de refrigeração (chillers) com condensadores a ar e compressores tipo scroll. O sistema de expansão é indireto, por água gelada e fancoils. Não há torre de resfriamento. Os chillers são Trane, modelo CGAD090-90TR. A água gelada, a 5°C é bombeada aos prédios por bombas com controle de rotação para manter a pressão em 6 kgf/cm². Cada andar possui dois fancoils, com exceção do térreo do bloco A e do 1º piso do bloco B que possuem somente um cada. O ajuste de temperatura dos ambientes é feito por meio de controle do volume de ar insuflado por válvulas controladoras de vazão instaladas nos dutos de distribuição. O retorno de ar é pleno pelo entre forro, ou seja, sem dutos até o fancoil. Considerando a descrição fornecida pelo cliente, adotou-se coeficiente de performance do sistema COP=3,0. Considerando uma área de 3500m² por Bloco, a tabela 3 traz previsão de consumo de energia elétrica considerando o período das 8h às 18h de segunda à sexta-feira ao longo do ano.

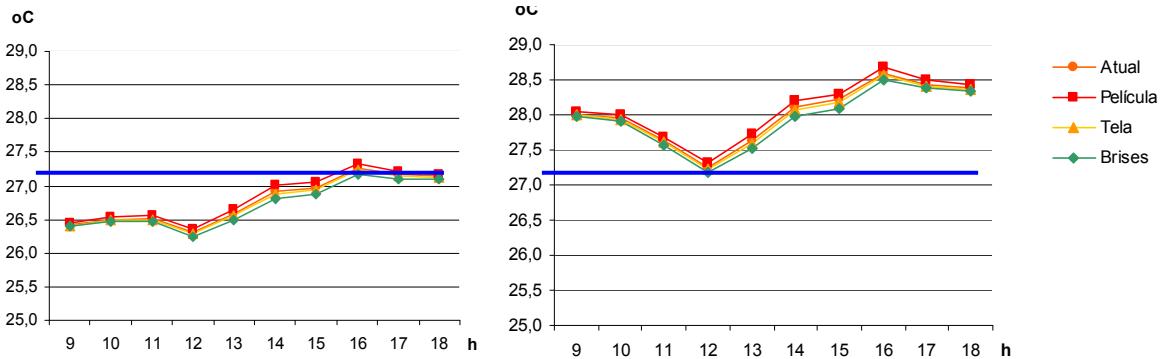
Tabela 3 – Simulação de Gastos Totais Anuais com Energia para o Bloco A e o Bloco B

BLOCO A	Atual	Película		Tela		Brises		
Ar-condicionado	R\$ 79.226	33,3%	R\$ 78.020	33,0%	R\$ 77.381	32,8%	R\$ 76.403	32,5%
Iluminação	R\$ 97.844	41,2%	R\$ 97.844	41,4%	R\$ 97.844	41,5%	R\$ 97.844	41,7%
Equipamentos	R\$ 60.570	25,5%	R\$ 60.570	25,6%	R\$ 60.570	25,7%	R\$ 60.570	25,8%
TOTAL	R\$ 237.640		R\$ 236.434		R\$ 235.795		R\$ 234.817	
Redução	-		0,5%		0,8%		1,2%	
Economia Anual			R\$ 1.205		R\$ 1.845		R\$ 2.823	
BLOCO B								
Ar-condicionado	R\$ 79.894	33,5%	R\$ 73.508	31,7%	R\$ 70.181	30,7%	R\$ 67.038	29,7%
Iluminação	R\$ 97.844	41,1%	R\$ 97.844	42,2%	R\$ 97.844	42,8%	R\$ 97.844	43,4%
Equipamentos	R\$ 60.570	25,4%	R\$ 60.570	26,1%	R\$ 60.570	26,5%	R\$ 60.570	26,9%
TOTAL	R\$ 238.308		R\$ 231.922		R\$ 228.595		R\$ 225.452	
Redução	-		2,7%		4,1%		5,4%	
Economia Anual			R\$ 6.386		R\$ 9.714		R\$ 12.856	

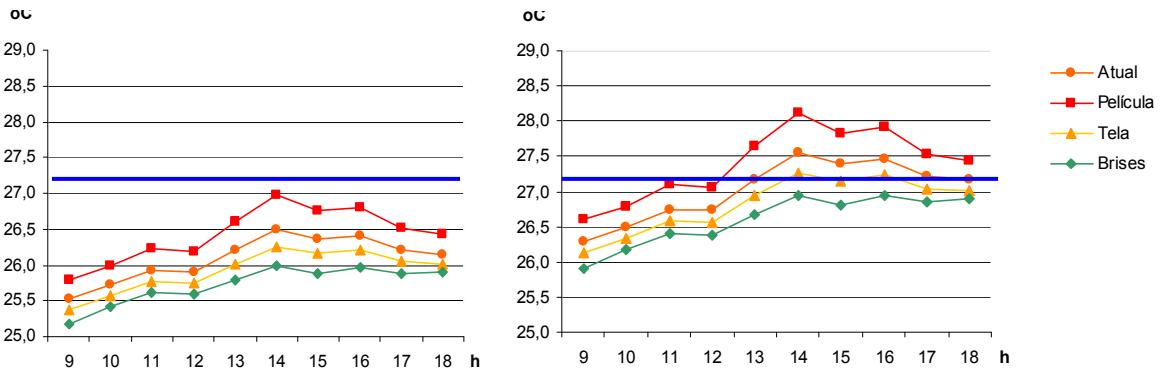
Considerando os resultados apresentados, as soluções verificadas para a fachada Norte do Bloco A apresentaram resultados com pequenas reduções no gasto com energia para ar condicionado, respectivamente 1,5%; 2,3%; e 3,6% para soluções de película, tela e brise. Considerando a previsão de gastos totais com energia para o Bloco A, esses porcentuais são respectivamente de 0,5%; 0,8% e 1,2%. Já considerando os resultados para as fachadas Norte e Sul do Bloco B, os resultados são mais significativos: as reduções no gasto com energia para ar condicionado são respectivamente de 8,0%; 12,2%; e 16,1% para soluções de película, tela e brise. Considerando a previsão de gastos totais com energia para o Bloco B, esses porcentuais são respectivamente de 2,7%; 4,1% e 5,4%. No próximo item serão avaliadas as condições de conforto térmico para cada uma das soluções avaliadas, a fim de verificar possíveis comprometimentos no grau de conforto dos usuários dos Blocos em avaliação, caso se faça opção por alguma das soluções avaliadas.

4.2 Conforto térmico

Para a avaliação das condições de conforto térmico, utilizou-se a norma ASHRAE 55 (2004). Assim, considerando-se ambientes climatizados artificialmente, adotou-se o modelo de voto médio estimado (PMV), que considera a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar, a temperatura relativa média, a atividade do usuário e tipo de vestimenta. Desta forma, vale ressaltar que não é suficiente apenas conhecer a temperatura de *set-point* do ar condicionado para determinar as condições de conforto térmico. O valor a ser considerado para a temperatura do ar é só uma das inúmeras variáveis que vão determinar se os ocupantes estão ou não em conforto térmico. Considerando os estudos que foram realizados, as observações feitas in loco e as informações que foram obtidas junto ao cliente, as seguintes variáveis foram consideradas para a verificação das condições de conforto térmico: Temperatura do ar = 24°C (mantida constante pelo sistema de condicionamento artificial de ar); Umidade relativa = 50% (mantida constante pelo sistema de condicionamento artificial de ar); Velocidade do ar < 0,2m/s (no nível do usuário, dadas as condições de insulflamento do sistema); Taxa metabólica = 1,3 Met (taxa de calor metabólico referente à atividade cotidiana de escritório); Isolamento da roupa = 0,5 clo (vestimentas de verão: calça social e camisa). Resta, pois, determinar a temperatura radiante média para verificar se as condições ambientais estão proporcionando ou não condições de conforto. Nas figuras a seguir, são apresentados os resultados de simulações computacionais realizadas para o Bloco A e o Bloco B, considerando-se um dia quente (mínima de 20,6°C às 6h e máxima de 32,4°C às 15h). Para as condições apresentadas, foi então calculada a temperatura operativa para cada um dos casos estudados. A temperatura operativa, para a tipicidade da situação em questão, foi estimada a partir da média aritmética da temperatura do ar e da temperatura radiante média, conforme recomendação da referida norma. Efetuando-se os procedimentos prescritos pela norma, observa-se que para as condições acima listadas, a temperatura operativa que proporciona boas condições de conforto (porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente em geral inferior a 10%) é $t_o \leq 27,2^{\circ}\text{C}$ (reta azul nos gráficos de temperatura operativa). Apresentam-se os resultados de conforto térmico, comparando-se a situação atual e as três soluções em estudo para os blocos A e B.



Figuras 9 e 10 – Temperatura Operativa – Bloco A – 1º. e 4º. Pavimentos



Figuras 11 e 12 – Temperatura Operativa – Bloco B – 1º. e 4º. Pavimentos

Conforme pode se observar nos gráficos de temperatura operativa do Bloco A, a utilização de diferentes soluções de proteção solar não implicam significativamente nos resultados, com variações de apenas $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Este fato se deve a verificação ter sido feita para um dia quente de verão, e não há ocorrência de radiação solar direta na fachada Norte do Bloco A. Com relação ao Bloco B, os gráficos de temperatura operativa mostram resultados mais díspares. Isso se deve ao fato de as fachadas envidraçadas Norte e Sul apresentarem áreas mais consideráveis e, principalmente, devido aos diferentes desempenhos obtidos com relação ao bloqueio da radiação solar direta na Fachada Sul, uma vez que se trata de um dia de verão. Em resumo, observa-se que a situação atual não provê condições de conforto em todas as situações e a adoção de película acarreta piora nas condições de conforto térmico. Com relação ao Pavimento 4 do Bloco A, seriam necessárias medidas de tratamento para as áreas envidraçadas expostas à radiação solar direta que hoje não possuem proteção ou obstrução do entorno. Outra alternativa é trabalhar com temperatura de *set-point* ligeiramente mais baixa, para compensar o efeito da temperatura radiante média e obterem-se temperaturas operativas dentro da zona de conforto (ressaltando-se que essa medida não é a mais indicada, uma vez que assimetrias de radiação térmica geram desconforto). Feita essa ressalva para o Pavimento 4 do Bloco A, pode-se recomendar as soluções viáveis. A solução de tela apresenta-se como favorável do ponto de vista do conforto térmico, pois o único período fora da zona de conforto (14h) apresentava temperatura operativa de $27,3^{\circ}\text{C}$. Por fim, a solução de brises apresenta-se como a de melhor desempenho, com as temperaturas operativas mais baixas e dentro da zona de conforto.

5 CONCLUSÕES

Como fechamento desta verificação, apresenta-se na tabela 4 os principais resultados encontrados, em termos qualitativos e quantitativos, considerando as questões de iluminação, visibilidade do exterior, economia de energia e conforto térmico. Observando os resultados, tem-se que a película oferece por vezes iluminação natural excessiva, ainda que proporcione visibilidade do exterior praticamente sem alteração. Quanto à economia de energia, varia de muito pequena a pequena, levando a condições de conforto térmico piores do que as atuais, em que não há qualquer intervenção para mitigar o desconforto.

Tabela 4 – Resultados de Iluminação, Visibilidade do Exterior, Economia de Energia e Conforto Térmico

Especificações	Película	Tela	Brises
	Linha Prestige Modelo P70 Marca 3M	Não identificada Adotada transmissão solar e luminosa de 50%	Conforme especificado nos desenhos das soluções propostas neste relatório
Iluminação	Satisfatória a excessiva Distribuição razoável Fach: Norte, Centro, Sul BlocoA: 760, 440, - lux BlocoB: 700, 220, 620 lux	Satisfatória Distribuição razoável Fach: Norte, Centro, Sul BlocoA: 600, 340, - lux BlocoB: 520, 160, 460 lux	Limite do satisfatório Distribuição adequada Fach: Norte, Centro, Sul BlocoA: 560, 400, - lux BlocoB: 300, 220, 380 lux
Visibilidade do exterior	Praticamente sem alteração	Alteração na qualidade	Alteração na quantidade
Economia de Energia	Bloco A: Muito Pequena Bloco B: Pequena Redução na energia p/ AC Bl.A: 1,5% Bl.B: 8,0% Redução na energia total Bl.A: 0,5% Bl.B: 2,7% Economia anual: Bl.A:R\$1.205 Bl.B:R\$6.386	Bloco A: Muito Pequena Bloco B: Considerável Redução na energia p/ AC Bl.A: 2,3% Bl.B: 12,2% Redução na energia total Bl.A: 0,8% Bl.B: 4,1% Economia anual: Bl.A:R\$1.845 Bl.B:R\$9.714	Bloco A: Muito Pequena Bloco B: Considerável Redução na energia p/ AC Bl.A: 3,6% Bl.B: 16,1% Redução na energia total Bl.A: 1,2% Bl.B: 5,4% Economia anual: Bl.A:R\$2.823 Bl.B:R\$12.856
Conforto térmico	Condições piores que atuais (aquecimento dos vidros devido a maior absorção de radiação solar pela película) Desconforto (verão quente): BlocoA Pav1: 16h BlocoB Pav4: 13h às 18h	Condições melhores que atuais (resfriamento dos vidros devido a sombreamento pela tela) Desconforto (verão quente): BlocoA Pav1: Nenhum BlocoB Pav4: 14h	Condições bem melhores que atuais (maior resfriamento dos vidros devido a maior sombreamento pelos brises) Desconforto (verão quente): BlocoA Pav1: Nenhum BlocoB Pav4: Nenhum

Já a solução de tela metálica proporciona níveis de iluminância satisfatórios, com distribuição razoável, ainda que com alguma alteração na qualidade da visibilidade do exterior. Com relação à economia de energia, varia de muito pequena à considerável, proporcionando condições de conforto térmico melhores do que as atuais. Finalmente, a solução de brise-soleil mostrou-se como a melhor opção na relação energia e ambiente. A solução proporciona níveis de iluminância satisfatórios com homogeneidade adequada, ainda que com redução na visibilidade do exterior. Economia de energia, assim como na solução de tela, varia de pequena à considerável, mas com valores mais significativos. Considerando o conforto térmico, entre as três soluções estudadas, apresenta os melhores resultados, sem períodos de desconforto mesmo na situação de verão quente. Concluindo, baseando-se nos resultados específicos encontrados para os casos estudados, apesar da diferença da quantidade de economia de energia verificadas em cada edificação, em ambas as situações os resultados gerais apontam para a película como solução mais desfavorável, para a tela metálica como uma solução viável e para o brise-soleil como a mais adequada entre elas.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 5413**. Interior lighting Specification. ABNT, Assoc. Bras. de Normas Técnicas, 1992.
- ALUCCI, M. P. **Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura**. 1. ed. São Paulo: FAUUSP, 2007.
- ASHRAE. **ASHRAE 55-2004** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Ed. Nobel, 2006.
- IAG-USP. **Lab. de Micrometeorologia**. São Paulo: IAGUSP, 2007. Available at: www.iag.usp.br.
- SWERA. **Solar and Wind Energy Assessment Resource**. 2004. Available at: <http://swera.unep.net>.