

CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DE VIDROS E PELÍCULAS DE PROTEÇÃO SOLAR UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO E SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO TÉRMICO

PEREIRA, Elza Glauce da S. Alves (1); FERREIRA, Regis de Castro (2)

(1) Escola de Engenharia Civil - UFG - Goiânia - Goiás, Rua R-18, Q-16, L-23, V. Itatiaia, CEP-74690-430, Goiânia, Goiás, fone: (62) 3205-1435. e-mail: elzaglauce@hotmail.com

(2) Escola de Agronomia e Eng. de Alimentos – UFG – Rodovia Goiânia/Nova Veneza km 0, Campus Samambaia, CEP 74.001-970 CP 131, Goiânia, Goiás, Brasil,

Fone:(55)(62)3521-1534, Fax: (55)(62)3521-1555. e-mail: rcaastro@agro.ufg.br

RESUMO

Superfícies transparentes merecem especial atenção quando se trata do conforto ambiental de edificações, pois são elementos vulneráveis a um ganho de calor, principalmente em locais de grande insolação, como é o caso do município de Goiânia. Foram analisadas as propriedades espectrais dos vidros e películas de proteção solar disponíveis no mercado da construção civil no município de Goiânia por meio da obtenção experimental dos valores de transmissão, reflexão e absorção da radiação solar pela técnica espectrofotométrica. A partir dos dados obtidos experimentalmente e de condições pré-estabelecidas de carga térmica por radiação solar (I_g) para as condições de Goiânia, foram determinados os parâmetros de controle de ganho de calor solar, pelas superfícies transparentes, a saber: fator solar (FS), ganho de calor solar (G.C.S.), razão visível / infravermelho e coeficiente de sombreamento. A partir da análise dos resultados, foram propostos indicativos para o emprego apropriado das superfícies transparentes analisadas para sua correta especificação, visando menor consumo energético e melhor conforto térmico.

ABSTRACT

Transparent surfaces deserve special attention when dealing with the environmental comfort of buildings, since they are vulnerable elements to gaining heat, especially in areas with great heatstroke, as is the case of the city of Goiânia. The spectral properties of glasses and films for solar protection available in the construction market in the municipality of Goiânia were analyzed by obtaining transmission, reflection and absorption values through the spectrophotometer technique. Based on the experimental results obtained and on pre-established values for thermal charge by solar radiation (I_g) for the local conditions, the control parameters of solar heat gain by the transparent surfaces were determined, namely: solar factor (SF), solar heating gains (SHG), visible and infra-red ratio, and shading rate. From the analysis of the results, indicators were proposed for the appropriate use of transparent surfaces analyzed for their correct specifications, aimed at achieving smaller energy consumption and better thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

Uma das características da arquitetura moderna é a utilização de grandes fachadas envidraçadas independentemente da tipologia climática local. A fachada composta por materiais transparentes traz apelo estético imposto pelos padrões internacionais como símbolo de beleza e requinte. Na maioria das vezes, esse uso em regiões de clima quente causa aquecimento das edificações devido ao ganho excessivo de carga térmica decorrente da incidência da radiação solar. Desse aquecimento duas conseqüências são imediatas: o desconforto dos usuários e a intensificação do consumo de energia elétrica para o condicionamento artificial do ambiente. A identificação de tais problemas gerou a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias de produção de vidros especiais e películas de proteção solar, que buscam o componente perfeito: alta transmissão luminosa; baixa transmissão de calor (infravermelho) e baixa transmissão de ultravioleta, cujo objetivo é buscar a melhoria da eficiência energética (ALUCCI, 2005).

Com o surgimento e desenvolvimento da indústria energética no final do século dezenove teve início uma significativa alteração das técnicas de projeto e construção das edificações, da postura frente à problemática da adaptação climática. Padrões arquitetônicos foram drasticamente alterados pela possibilidade do uso de energia elétrica para a climatização e iluminação (SHALDERS, 2003). E quando se fala em eficiência energética de uma edificação, a busca do conforto térmico é o fator que gera maior demanda do consumo energético e o vidro é o elemento construtivo responsável pelos maiores índices de transmissão de energia solar. As superfícies transparentes merecem especial atenção quando se trata do conforto térmico de edificações, pois são elementos vulneráveis a um ganho de calor, principalmente em locais de alta densidade de radiação solar incidente, como é o caso do município de Goiânia-GO.

Algumas variáveis de projeto, tais como a orientação geográfica e as características óticas dos materiais especificados (vidros) podem, quando mal implantadas, implicar significativo acúmulo de densidade de energia no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto térmico e/ou visual para os usuários. Considerado como elemento crítico por muitos pesquisadores (JORGE, 1996; LAMBERTS et al., 2004; GHISI et al., 2005), as aberturas com seus fechamentos transparentes contribuem para as trocas de energia entre o meio externo e interno da edificação. O ganho de calor ocorre por vários mecanismos: radiação direta, difusa e emitida pelo entorno.

O município de Goiânia, Goiás, se situa a 16° 40' de latitude Sul e 49°15' de longitude Oeste e a uma altitude de 730 metros. Pela classificação climática de Köppen, o clima local é classificado como Aw (quente e semi-úmido com estação seca bem definida, de maio a setembro, com temperatura média anual de 23,2°C, com médias máximas e mínimas de 29,8°C e 17,9°C, respectivamente). A precipitação pluvial média anual é de 1575,9 mm e o total anual de insolação é de 2588,1 horas (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992). Apresenta, ainda, temperaturas médias elevadas, em que as médias das temperaturas máximas estão em média 3°C acima dos índices de conforto proposto para a maioria dos climas tropicais, intervalo sugerido entre 22 e 27°C (FROTA; SCHIFFER, 2003). O clima apresenta uma situação desfavorável para o emprego de grandes áreas envidraçadas. A ABNT (2005a) traz recomendações e diretrizes construtivas para a cidade de Goiânia, onde é recomendado que as aberturas para ventilação sejam sombreadas e com áreas variando de 15 a 25% da área do piso. As paredes das vedações externas devem ser pesadas, ou seja, atraso térmico $\geq 6,5$ horas, a transmitância térmica (U) $\leq 2,2$ W/m²K e fator de calor solar $\leq 3,5\%$.

Mesmo com o clima pouco favorável ao emprego de fachadas de vidro, observa-se a sua aplicação em construções desde a década de setenta, onde os conceitos de conforto térmico eram pouco observados diante do modismo, até as construções recentes. Diante da utilização freqüente de grandes áreas de fachadas de vidros, torna-se pertinente o estudo das características óticas dos vidros e películas de proteção solar utilizados na construção civil, para o conhecimento dos produtos mais adequados para o clima de regiões de alta densidade energética como o do município de Goiânia. O objetivo deste trabalho foi o de estudar as características óticas dos vidros e películas de proteção solar disponíveis no mercado do município de Goiânia-GO usados na construção civil, e fornecer subsídios e

indicativos para o seu apropriado emprego quando se fizer necessária sua especificação, tendo como premissa o conforto ambiental e a eficiência energética do ambiente construído.

2. METODOLOGIA

2.1. Amostras

As amostras foram separadas em grupos por tipo de material. A Tabela 1 relaciona os dados dos vidros e películas de proteção solar analisados neste estudo.

Tabela 1 – Materiais estudados.

Tipo de material	Código da Amostra	Denominação Comercial	Cor	Espessura vidro (mm)
Vidro Incolor	VI 3 mm	Comum	Incolor	3
Vidro Laminado	LM-01	BS 108	Ouro	3 + 3
	LM-02	114 VI	Verde	3 + 3
	LM-03	114 AI	Verde	3 + 4
	LM-04	120 VI	Verde	4 + 4
	LM-05	Antélio	Bronze	4 + 4
Vidro Refletivo	RF-01	CEB 120	Azul	4
	RF-02	CEB 130	Bronze	4
	RF-03	CEB 140	Cobre	4
Película de Privacidade	PP-01	Intercontrol	G5 - Azul	4
	PP-02	Sun Tek	G5 - Fumê	4
	PP-03	Intercontrol	G20 - Azul	4
	PP-04	Sun Tek	G 20 - Fumê	4
	PP-05	Solar Gard	G20 - Fumê	4
Película Refletiva	PR-01	Intercontrol	Fumê	4
	PR-02	Sun Control	Fumê	4
	PR-03	Intercontrol	Prata	4
	PR-04	Sun Control	Prata	4
	PR-05	Solar Gard	Prata	4
	PR-06	Intercontrol	Bronze	4
	PR-07	Solar Gard	Bronze	4

Nota: As películas possuem espessura de 0,03mm, aplicadas em vidros incolores.

Os vidros laminados são comercializados com os termos 108, 114 e 120, valores estes especificados pelos fabricantes. Os números 8, 14 e 20 representam as porcentagens de luz (visível) que devem ser transmitidas por estes vidros, ou seja, espera-se que este vidro transmita 8%, 14% e 20% no espectro visível. Este termo é conhecido como Índice de Controle de Luz Solar.

2.2. Análise Espectrofotométrica

Na análise espectrofotométrica o equipamento fornece como resultados as porcentagens de transmissão, reflexão e absorção. Os espectrofotômetros possuem microcomputador eletrônico embutido, que facilitam a operação, a obtenção dos resultados e troca automática das lâmpadas durante a operação de medição. Todas as amostras foram ensaiadas no intervalo de comprimento de onda entre 290 a 1.800 nm. Os comprimentos

de ondas superiores a estes valores atingem de forma bastante reduzida a superfície terrestre, pois são absorvidos pelos vapores de água e dióxidos de carbono presentes na atmosfera. Por outro lado, os comprimentos de ondas inferiores a 290 nm, são absorvidos pela camada de ozônio existente na atmosfera (CHEREMISINOFF, 1974 apud CARAM, 1998), foram feitas subdivisões, caracterizando as regiões do ultravioleta (290 a 380 nm), do visível (380 a 780 nm) e do infravermelho (780 a 1.800 nm). As análises espectrofotométricas desenvolveram-se em três etapas: primeira etapa - foi analisada a transmitância em espectrofotômetro pertencente ao Centro de Pesquisas em Alimentos (CPA) da Universidade Federal de Goiás, modelo Lambda 25, marca PerkinElmer. O espectro trabalhado foi de 290 a 1.100 nm; segunda etapa - foram feitas análises espectrofotométricas de transmitância, em espectrofotômetro no Laboratório Nacional do Ministério da Agricultura em Goiás – LANAGRO, modelo Nir 900 da Femto. O espectro trabalhado foi de 1.100 a 1.800 nm; e terceira etapa - foram realizadas as análises espectrofotométricas de reflectância no Instituto de Física "Gleb Wataghin" da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O aparelho utilizado foi o modelo Lambda 9, da PerkinElmer. O intervalo de leituras foi de 290 a 1800 nm.

Após a preparação das amostras (corte e polimento dos vidros, e aplicação das películas nos vidros transparentes) e regulagem do espectrofotômetro as leituras foram obtidas em porcentagem de transmissão e reflexão. As amostras foram ensaiadas a 0° com a normal, ou seja, o feixe da radiação incidiu perpendicular à amostra, posição em que ocorre maior transmissão dos raios solares, situação mais crítica para a análise dos parâmetros de desempenho térmico dos vidros.

2.3. Parâmetros Relacionados ao Controle Solar Através de Fachadas Transparentes

2.3.1. Coeficiente de Absorção

Quando a radiação solar (I_g) incide sobre uma superfície transparente, parte dela é transmitida diretamente para o interior do ambiente, parte é refletida e parte é absorvida. Parte da radiação absorvida é reirradiada para o exterior e parte é reirradiada para o interior.

Para controlar o ganho de calor através das superfícies transparentes, as porcentagens de transmissão (τ) e reflexão (ρ) são determinadas nos ensaios espectrofotométricos e a porcentagem de absorção (α) é definida pela equação matemática:

$$I_g = (\alpha \cdot I_g) + (\rho \cdot I_g) + (\tau \cdot I_g) \Rightarrow \alpha + \rho + \tau = 1 \quad [\text{Eq. 01}]$$

2.3.2. Razão Visível/Infravermelho

Segundo Caram (1998) existem parâmetros que devem ser considerados quando é estudada a adequação climática de um fechamento transparente. O vidro ideal para situações de elevada incidência de radiação solar deve possuir pouca transmissão no espectro do infravermelho (menor que 30%) e boa transmissão no espectro Visível (acima de 50%), assim, a autora, estabeleceu a razão visível/infravermelho para esta análise comparativa. Sob o ponto de vista de ganho e perda de calor devem ser levados em consideração os valores do Fator Solar, do Ganho de Calor Solar e do Coeficiente de Sombreamento.

A razão visível/infravermelho é uma relação entre a porcentagem de radiação transmitida na região do espectro visível (Vis) e na região espectro do infravermelho (IV).

$$\text{Razão Vis/IV} = \frac{\% \text{Vis}}{\% \text{IV}} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Quando as porcentagens de transmissão forem iguais, o coeficiente é igual a um. Se a transmissão do espectro visível for maior, este coeficiente será maior que um. E se a transmissão na região do Infravermelho for maior, o coeficiente será menor que um. Preconiza-se, portanto, materiais cujos índices sejam maiores que um, pois para as condições climáticas de regiões de alta incidência da radiação solar,

seria interessante admitir luz e refulgar o calor. Para completar esta análise deve-se procurar um material que possua boa transmissão no espectro visível, possibilitando, o aproveitamento da iluminação natural.

2.3.3. Fator Solar

Fator Solar (F.S.) é o quociente da taxa de radiação transmitida (τ) através de um componente transparente, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida (α) e posteriormente reirradiada para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa (ABNT, 2005b).

$$F.S. = \tau + (\alpha.U.Rs_e) \quad [Eq. 03]$$

O R_{se} é a Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação ou convecção ($m^2.K/W$, $R_{se} = 0,04 (m^2.K)/W$ (ABNT, 2005c). O R_{se} é também expresso como $1/h_e$, em que h_e é o coeficiente superficial externo de transmissão de calor. A transmitância térmica ou coeficiente global de transmissão de calor do material em estudo (U , em $W/(m^2.K)$), quantifica a capacidade de transferência de calor através do material.

Neste estudo, o valor assumido para a transmitância térmica foi de $5,89 W/(m^2.K)$. Segundo Santos (2002) no instante que a energia solar incide sobre a superfície de um material transparente, ele passa a absorvê-la e tem a possibilidade de trocá-la instantaneamente, tanto com o exterior como com o interior, através dos processos de radiação e convecção, sendo que a energia absorvida internamente no material migra rapidamente, devido à pequena espessura, para ambas as superfícies. E para que esses dois processos ocorram, as temperaturas nas superfícies dos vidros devem ser superiores às temperaturas internas e externas dos ambientes. Sendo o vidro um material homogêneo e com espessura constante, a transmitância térmica total (U) é dada pela equação (ABNT, 2005c):

$$U = \frac{1}{R} \quad [Eq. 04]$$

Em que, R é a resistência térmica total da lâmina, em ($m^2.K/W$), dada pela seguinte equação:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \quad [Eq. 05]$$

Em que, λ é a condutividade térmica do material ($W/m.K$); “ e ” corresponde à espessura do material (m); h_i é o coeficiente superficial interno de transmissão de calor, $h_i = 7,7 W/(m^2.K)$ (ABNT, 2005c); h_e é o coeficiente superficial externo de transmissão de calor, $h_e = 25,0 W/(m^2.K)$ (ABNT, 2005c).

Caram (1998) despreza o termo (e / λ) da Equação 05, devido à pequena espessura dos vidros utilizados nas janelas resultando em pequena resistência térmica.

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{(h_i + h_e)}{(h_i . h_e)}, \text{ substituindo “R” na Equação 04 tem-se:}$$

$$U = \frac{1}{R} \quad [Eq. 04] \quad \Rightarrow \quad U = \frac{(h_i . h_e)}{(h_i + h_e)} \quad \Rightarrow \quad U = \frac{(7,7 . 25)}{(7,7 + 25)}, \text{ portanto, } U = 5,89 W/(m^2.K)$$

2.3.4. Ganho de Calor Solar

Ganho de Calor Solar (G.C.S. ou “ q ” em W/m^2), ou seja, a transmissão total da radiação é definida como a soma do FS e a da transferência de calor devida à diferença de temperatura entre o ar do ambiente externo e o ar do ambiente interno. Depende da intensidade de radiação solar incidente, que

por sua vez depende da latitude do local e orientação da fachada. O Ganho de Calor Solar foi calculado mediante a equação 6.

$$G.C.S. = FS.(I_g) + U.(t_e - t_i) \quad [Eq. 06]$$

Para se calcular o G.C.S. é necessário fixar alguns parâmetros. Frota e Schiffer (2003) trazem dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais para diferentes latitudes e orientações de fachadas. O período do ano mais crítico em termos de desconforto térmico para a região do município de Goiânia-GO são as dos equinócios (22 de setembro e 22 de março). As orientações escolhidas para a obtenção do G.C.S. foram as leste e oeste por serem as que contribuem para uma maior carga térmica devido à radiação solar para as condições geográficas do município de Goiânia-GO. Foi adotado o valor de radiação solar incidente (I_g) de 692 W/m^2 correspondente às médias de radiação para planos verticais com orientação leste e oeste, respectivamente para os horários de 8:00h e 16:00h para a latitude de 17° Sul (FROTA; SHCIFFER, 2003). Estes valores se aplicam para as análises de todas as amostras. Para a determinação do Ganho de Calor Solar foram ainda simuladas situações onde a diferença entre as temperaturas externa e interna assumissem os valores de 0° , 5° , 10° e 15°C .

2.3.5. Coeficiente de Sombreamento

O Coeficiente de Sombreamento (CS) é definido como o quociente entre o Fator Solar do componente transparente estudado (FS_{ve}) e o Fator Solar de um vidro incolor (FS_{vi}) de 3 mm de espessura ($FS_{vi} = 0,87$) (CARAM, 1998).

$$CS = FS_{ve} / FS_{vi} \quad [Eq. 07]$$

Os vidros com baixo CS geram edifícios confortáveis termicamente e energeticamente mais eficientes. Cuidados devem ser tomados, no entanto, pois geralmente um baixo CS está associado a uma baixa transparência à luz natural. Quanto menor for o coeficiente de sombreamento maior proteção o vidro oferece (MIANA, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos que ilustram o comportamento espectrofotométrico das amostras analisadas, estes foram obtidos a partir dos dados fornecidos pelos espectrofotômetros nos ensaios de transmissão e reflexão para ângulo de incidência da radiação de 0° em relação à normal. Os dados obtidos nos ensaios, porcentagem de transmissão e reflexão para cada intervalo do espectro de radiação incidente, estão apresentados na Tabela 2. Na Tabela 2 é apresentada a transmissão da radiação solar para o vidro incolor de 3 mm. A Tabela 2 traz também os resultados dos parâmetros de controle solar através de fachadas transparentes para as amostras dos vidros e películas de proteção solar ensaiados.

A transmissão no espectro visível pode ser interpretada dentro do intervalo proposto por Caram (1998) onde a transmissão de luz (TL) é classificada em: $TL < 30\%$ - transmissão luminosa fraca; $30\% \leq TL \leq 50\%$ - transmissão luminosa média; e $TL > 50\%$ - transmissão luminosa forte.

Não foram realizados ensaios de reflexão para o vidro incolor de 3 mm. O valor adotado neste estudo para reflexão do vidro incolor de 3 mm foi de 5,00%, de acordo com Van Straaten (1997) apud Caram (1998).

O vidro laminado 01 (LM-01) tem fator 108, no entanto o resultado da análise encontrou um índice de 8,22%, agregando 2,75% a mais de luz no ambiente. As amostras LM-02 e LM-03 são de vidros 114 e obtiveram um resultado de 11,74% e 11,59% de transmissão no visível, valores estes que representa 83,85% e 82,78% respectivamente do que é proposto. O LM-04 tem fator 120, obteve nos ensaios resultado de 15,65%, este valor representa 78,25% da sua proposta. O LM-05 não é classificado com este fator. Constata-se que apenas o LM-01 atende ao Índice de controle de Luz Solar proposto pelo fabricante.

Na Tabela 2, pode-se observar que nenhum dos produtos estudados apresentou transmissão luminosa dentro do espectro visível considerada forte de acordo com Caram (1998). Apenas quatro das vinte amostras promoveram transmissão considerada média no espectro visível, ou seja 20% das amostras.

Tabela 2 – Desempenho óptico e parâmetros de desempenho térmico produtos estudados.

Código da Amostra ¹	Desempenho óptico dos produtos estudados									Parâmetros de desempenho térmico dos produtos estudados para radiação solar incidente de 692 W/m ²						
	Transmissão (%)					Reflexão (%)				Absorção Total (%)	FS	CS	G.C.S. (W/m ²)			
	UV (%) 290 a 380 nm	Vis (%) 380 a 780 nm	IV (%) 780 a 1800 nm	Total (%) 290 a 1800 nm	Razão Vis/IV	UV (%) 290 a 380 nm	Vis (%) 380 a 780 nm	IV (%) 780 a 1800 nm	Total (%) 290 a 1800 nm				(Δt = 0°)	(Δt = 5°)	(Δt = 10°)	(Δt = 15°)
VI 3 mm	50,35	89,45	86,76	85,31	1,03	-	-	-	5,00	9,69	0,87	1,00	609,0	638,4	667,9	697,3
LM-01	0,05	8,22	6,30	6,43	1,31	26,53	50,03	41,99	43,20	50,37	0,18	0,21	124,6	154,0	183,5	212,9
LM-02	0,02	11,74	7,40	8,11	1,59	6,30	26,42	11,39	15,07	76,82	0,26	0,30	179,9	209,4	238,8	268,3
LM-03	0,02	11,59	7,04	7,83	1,65	6,23	26,22	12,91	16,04	76,13	0,26	0,30	179,9	209,4	238,8	268,3
LM-04	0,02	15,65	8,17	9,67	1,92	5,74	17,07	10,42	11,90	78,43	0,28	0,32	193,8	223,2	252,7	282,1
LM-05	0,05	33,49	45,28	39,46	0,74	7,17	14,16	8,03	9,60	50,94	0,51	0,59	352,9	382,4	411,8	441,3
RF-01	6,14	15,37	17,53	16,28	0,88	11,91	40,40	48,44	44,13	39,59	0,26	0,30	179,9	209,4	238,8	268,3
RF-02	8,31	30,33	22,18	23,51	1,37	17,26	20,94	16,50	17,72	58,77	0,37	0,43	256,0	285,5	314,9	344,4
RF-03	11,58	38,81	30,14	31,33	1,29	17,28	20,33	18,94	19,23	49,44	0,43	0,49	297,6	327,0	356,5	385,9
PP-01	0,39	18,43	82,54	60,66	0,22	6,24	6,39	8,58	7,86	31,48	0,68	0,78	470,6	500,0	529,5	558,9
PP-02	0,67	19,00	82,85	61,04	0,23	6,55	6,42	8,30	7,70	31,26	0,68	0,78	470,6	500,0	529,5	558,9
PP-03	0,45	32,53	80,83	63,25	0,40	6,58	6,50	8,51	7,86	28,89	0,70	0,80	484,4	513,9	543,3	572,8
PP-04	0,14	20,86	83,44	61,90	0,25	6,32	6,97	8,41	7,90	30,20	0,69	0,79	477,5	506,9	536,4	565,8
PP-05	0,26	20,08	82,50	61,06	0,24	4,73	5,44	7,64	6,88	32,06	0,69	0,79	477,5	506,9	536,4	565,8
PR-01	0,06	12,40	15,38	13,68	0,81	5,18	17,62	51,48	39,75	46,57	0,25	0,29	173,0	202,5	231,9	261,4
PR-02	0,03	8,33	13,26	11,16	0,63	5,20	15,64	55,28	41,80	47,04	0,22	0,25	152,2	181,7	211,1	240,6
PR-03	0,48	18,31	11,07	12,36	1,65	6,55	55,40	57,63	53,99	33,65	0,20	0,23	138,4	167,9	197,3	226,8
PR-04	0,37	17,34	11,05	12,08	1,57	6,07	55,42	55,57	52,58	35,34	0,20	0,23	138,4	167,9	197,3	226,8
PR-05	0,72	14,80	6,40	8,29	2,31	34,68	63,88	72,34	67,85	23,86	0,14	0,16	96,9	126,3	155,8	185,2
PR-06	0,09	9,44	16,18	13,44	0,58	4,93	13,71	49,56	37,41	49,15	0,25	0,29	173,0	202,5	231,9	261,4
PR-07	0,03	9,65	12,53	11,02	0,77	4,79	19,75	55,62	43,09	45,89	0,22	0,25	152,2	181,7	211,1	240,6

¹ LM-01 – Laminado ouro, 8% transmissão 6 mm; LM-02 – Laminado VI verde, 14% transmissão 6 mm; LM-03 – Laminado AI verde, 14% transmissão 7 mm; LM-04 – Laminado VI verde, 20% transmissão 8 mm; LM-05 – Laminado bronze (antélio) 8 mm; RF-01 – Refletivo azul, 20% transmissão 4 mm; RF-02 – Refletivo cobre, 30% transmissão 3 mm; RF-03 – Refletivo cobre, 40% transmissão 4 mm. PP-01– Película de Privacidade G5, azul, Intercontrol; PP-02– Película de Privacidade G5, fumê, Sun Tek; PP-03 – Película de Privacidade G20, azul, Intercontrol; PP-04– Película de Privacidade G20, fumê, Sun Tek; PP-05 – Película de Privacidade G20, fumê, Solar Gard; PR-01 – Película Refletiva, fumê, Intercontrol; PR-02 – Película Refletiva, fumê, Sun Control; PR-03 – Película Refletiva, prata, Intercontrol; PR-04 – Película Refletiva, prata, Sun Control; PR-05 – Película Refletiva, prata, Solar Gard; PR-06 – Película Refletiva, bronze, Intercontrol; PR-07 – Película Refletiva, bronze, Solar Gard.

Para que um produto transparente possa ser considerado ideal para regiões de alta incidência de radiação solar, deve-se associar um alto coeficiente de reflexão nos espectros ultravioleta e infravermelho com uma baixa reflexão no espectro visível, ou seja, refletir o calor e admitir luz. Partindo-se dessa premissa, as películas refletivas foram os únicos produtos que atenderam à esta condição excetuando-se as películas prata.

As Figuras 1 a 4 apresentam os gráficos para as curvas de transmissão (comportamento espectrofotométrico) dos vidros laminados, dos vidros refletivos, das películas de privacidade e das películas refletivas, comparando seus respectivos desempenhos com o do vidro incolor de 3 mm.

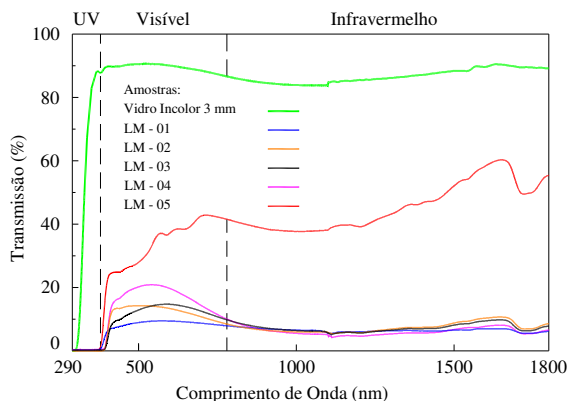


Figura 1 – Comparação de desempenho do vidro Incolor com vidros laminados.

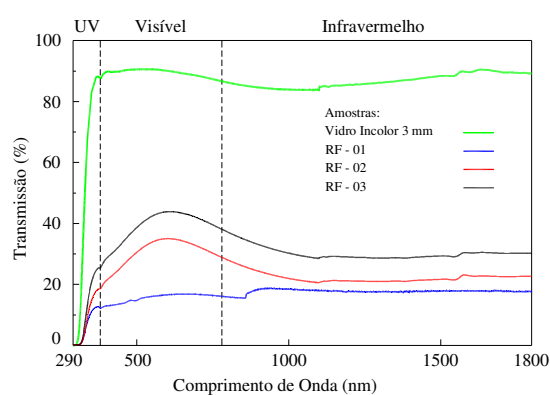


Figura 2 – Comparação de desempenho do vidro Incolor com vidros refletivos.

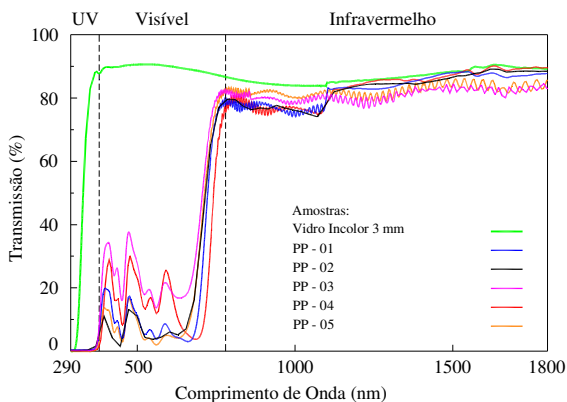


Figura 3 – Comparação de desempenho do vidro Incolor com as películas de (privacidade).

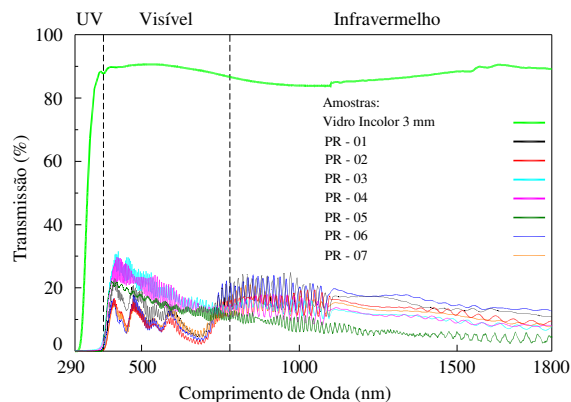


Figura 4 – Comparação de desempenho do vidro Incolor com as películas refletivas (conforto).

Observa-se que o melhor resultado dentre os vidros laminados foi atingido pela amostra LM-04. A amostra LM-04 apresentou a maior razão Vis/IV, 1,92. Bloqueou a transmissão do espectro UV e apresentou uma baixa transmissão no espectro infravermelho (8,17%), configurando-se em uma situação ideal sob o ponto de vista do conforto térmico. Contudo, apresentou uma baixa porcentagem de transmissão no espectro visível (15,65%).

O melhor resultado dentre os vidros refletivos foi atingido pela amostra RF-02, permitindo luminosidade satisfatória (30,33%), contudo não bloqueia o UV (8,31%) e possui uma razoável transmissão no infravermelho (22,18%), alcançando uma razão Vis/IV de 1,37.

Constata-se que o uso das películas de privacidade como películas de controle solar é equivocado, pois estas são inadequadas devido à alta transmissão no espectro infravermelho. As películas de privacidade alcançaram os menores valores para a razão Vis/IV.

Dentre as películas refletivas, o melhor resultado foi alcançado pela amostra PR-03, ou seja, praticamente bloqueou o UV (0,48%) e proporcionou baixa transmissão no infravermelho (11,07%), contudo apresentou uma transmissão no espectro visível abaixo do satisfatório (18,31%).

As películas refletivas (conforto) e não refletivas (privacidade) apresentaram comportamento bastante diferenciado na transmissão dentro do espectro do Infravermelho. A transmissão no espectro visível da película G5 é de 18,4%, e da refletiva é de 12,4%. No espectro do infravermelho a transmissão da G5 é de 82,5% e a transmissão da refletiva é de 15,38%.

A transmissão total deve ser analisada em conjunto com a reflexão, pois baixos valores de transmissão associados a baixos valores de reflexão geram elevados valores de absorção, que contribuem no aumento do ganho de calor solar na edificação por reirradiação. De forma geral, esse comportamento foi constatado nos vidros laminados.

Altos valores de reflexão proporcionam menores valores de ganho de calor solar. Na situação ideal, com vistas ao conforto térmico e lumínico, deve-se associar o alto índice de reflexão no espectro do IV com uma baixa reflexão no espectro do visível.

Baixos índices de absorção não podem ser considerados como satisfatórios isoladamente, exemplo são as películas de privacidade, que apresentam baixos índices de absorção e altos de transmissão. As películas de privacidade, dentre os produtos estudados alcançaram os maiores valores de ganho de calor solar (Tabela 2).

Na Tabela 2, os parâmetros absorção (a) e fator solar (FS) foram usados para a determinação do ganho de calor solar (G.C.S) para as condições fixadas na metodologia (latitude, orientação da fachada, época do ano e horários). Por meio do G.C.S. é possível quantificar a carga por radiação solar que a superfície transparente agrega por metro quadrado de esquadria em uma edificação.

De acordo com os resultados obtidos a escolha e especificação de um vidro ou película pode ser subsidiada pela análise do ganho de calor solar. Pela Tabela 2, observa-se que os menores valores do G.C.S., foram alcançados pelos vidros laminados e pelas películas refletivas. A película Refletiva prata da Solar Gard e o vidro laminado 108 ouro alcançaram os menores ganhos de calor solar com 96,9 e 124,0 W/m² respectivamente, enquanto o G.C.S. do vidro incolor de 3 mm é de 609,0 W/m². Os valores dos G.C.S. da película refletiva prata e do vidro laminado corresponderam a 15,9 % e 20,4% do G.C.S. do vidro incolor de 3 mm.

4. CONCLUSÕES

Os vidros laminados atenderam a proposta quanto ao desempenho do Índice de Controle de Luz Solar fornecido pelos fabricantes de transmissão de luz visível. A baixa transmissão de infravermelho (calor) não garante um desempenho ideal do ponto de vista do conforto térmico, pois, eles alcançaram elevados índices de absorção, esta energia ao ser reirradiada para o interior causa desconforto.

O uso das películas de privacidade com vistas ao controle de ganho de calor solar é equivocado, pois estas apresentam alta transmissão no espectro infravermelho. É comum estas serem vendidas para controlar o ganho de calor. Estas películas alcançaram uma atenuação satisfatória da radiação solar incidente apenas em comparação com os dados dos vidros incolores.

As películas refletivas estudadas alcançaram baixa transmissão nos espectros visível e infravermelho (calor), bloquearam os raios UV, e sua forte característica foi o elevado valor de reflexão, diminuindo a absorção e o ganho de calor. São boas opções para serem empregadas em locais de clima quente, em recuperação de fachadas envidraçadas em que se deseja a melhora do desempenho térmico com agilidade, e custo relativamente menor quando comparado ao emprego de um vidro laminado e sem o inconveniente da eventual troca da esquadria.

Enfim, os resultados mostraram que para a correta escolha e especificação de um vidro ou película de proteção solar, com vistas ao conforto térmico e eficiência energética deve ser analisado o parâmetro de ganho de calor solar (G.C.S.). Sugere-se associar a esta análise valores de transmissão no espectro visível acima de 30%.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUCCI, M. P. (2005). *Banco de Dados: Características Térmicas, Luminosas e Acústicas de vidros, Plásticos e Translúcidos*. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros.pdf/> Acesso em: 29 out. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15220-3 (2005a). Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: *Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro, 30p.
- _____. NBR 15220-1 (2005b). Desempenho Térmico de Edificações Parte 1: *Definições, símbolos e unidades*. Rio de Janeiro, 8p.
- _____. NBR 15220-2 (2005c). Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: *Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*. Rio de Janeiro, 34p.
- CARAM de Assis, R. M. (1998). *Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental*. 165p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. (2003). *Manual de Conforto Térmico*. 6ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 243p.
- GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. (2005). Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out / dez.
- JORGE, J. A. (1996). Daylight criterion on solar controls for comparing sky radiance models. *Building and Environment*, v. 31, p. 225-232, maio.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. (2004). *Eficiência energética na Arquitetura*. 2ª ed. São Paulo: PW Editores, 188p.
- MIANA, A. C. (2005). *Avaliação de desempenho térmico de brises transparentes: ensaio em células-teste*. 200p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. (1992). Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. *Normais climatológicas: 1961-1990*. Brasília, 84p.
- SHALDERS, A. (2003). *Regulamentação de Desempenho Térmico e Energético de Edificações*. 198p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Eletrotécnica e Energia / USP, São Paulo.