

COMPORTAMENTO ÓTICO DE VIDROS TRANSLÚCIDOS FRENTE À RADIAÇÃO SOLAR

Joaquim C.P. dos Santos(1), Mauro R. Fernandes (2)

(1) Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Santa Maria (RS) Brasil.

e-mail: joaquim@smail.ufsm.br

(2) Universidade de São Paulo. Instituto de Química. São Carlos (SP) Brasil.

e-mail: mauro@iqsc.usp.br

RESUMO

No processo de especificação de materiais transparentes ou translúcidos é muito importante o conhecimento dos valores do Fator de Calor Solar (FCS) e da Transmitância da Luz Visível (T_v), características destes materiais que estão associadas, respectivamente, ao cálculo dos ganhos de calor e luz solar. Valores destas variáveis estão disponíveis para os materiais transparentes, mas dados a respeito dos vidros translúcidos são de difícil obtenção na literatura, sendo uma lacuna importante a ser preenchida. Este trabalho apresenta o resultado de ensaios espectrofotométricos para incidência normal realizados para dezesseis (16) tipos de vidros translúcidos utilizados no Brasil, resultando curvas de transmissão e reflexão para uma faixa espectral variando de 300 a 2000 nm. A partir destas curvas, ponderadas em função do espectro solar padrão, foram obtidos valores de transmitância, refletância e absorptância, tanto para o espectro total como separadamente para as regiões do ultravioleta, do visível e do infravermelho. Os resultados referentes ao espectro total foram utilizados no cálculo do Fator de Calor Solar, e os dados da região do visível na obtenção da Transmitância da Luz Visível. Estes valores, juntamente com a análise das curvas espectrofotométricas resultantes, são importantes ferramentas disponibilizadas, que permitem a consideração do comportamento ótico destes vidros em relação à radiação solar no processo de especificação dos mesmos.

Palavras-chave: vidros translúcidos, fator de calor solar, transmitância da luz visível

ABSTRACT

In specification process of transparent or translucent materials is very important knowledge of the values of the Solar Heat Factor (SHF) and Visible Light Transmittance (T_v). These materials characteristics are associated, respectively, to the calculation of solar heat and sunlight gains. Values of these variables are available for transparent materials, but data about the translucent glasses are difficult to obtain in the literature, being an important gap to be filled. This paper presents the results of spectrophotometric tests for normal incidence to sixteen (16) types of translucent glasses used in Brazil, resulting transmission and reflection curves for a spectral range from 300 to 2000 nm. From these curves, weighted according to the standard solar spectrum, were obtained values of transmittance, reflectance and absorptance, for the total spectrum and separately for ultraviolet, visible and infrared regions. The results concerning the full spectrum were used to calculate the Solar Heat Factor, and data in visible region to obtain the Visible Light Transmittance. These values, together with the analysis of spectrophotometric curves, are important tools available, that allows the consideration of the optical behaviour of these glasses in relation to solar radiation in theirs specification process.

Keywords: translucent glasses, solar heat factor, visible light transmittance

1 INTRODUÇÃO

Os vidros translúcidos apresentam-se como uma opção diferenciada nos projetos arquitetônicos, com grande variedade de escolhas, custo baixo e um bom apelo decorativo. Possuem a versatilidade e o requinte equivalentes aos vidros planos, podendo ser usados isoladamente ou compondo com os vidros transparentes na busca de um efeito estético diferenciado.

A translucidez é a característica diferencial deste tipo de vidro em relação ao vidro transparente, pois as diferentes texturas impressas em uma das faces do vidro difundem a luz, distorcendo levemente a imagem e causando uma redução variável na admissão de luz natural em relação ao vidro plano incolor, dependendo do tipo de textura, da cor e da espessura do vidro. Desta forma, atendem às necessidades de projetos que demandam boa propagação de luz, mas mantendo-se a privacidade do ambiente e reduzindo o ofuscamento causado pela radiação solar excessiva.

O vidro translúcido impresso é fabricado através de um sistema industrial semelhante ao do vidro plano *float*, tendo as mesmas matérias-primas e insumos básicos, mas com a utilização de dois cilindros metálicos na saída do forno por onde passa a massa fundida do vidro já elaborado. O rolo superior é liso e o inferior possui em sua superfície a gravação do desenho que vai ser impresso no vidro. A espessura do produto acabado é determinada pelo espaçamento entre os dois rolos.

No caso do vidro aramado uma rede metálica de malha quadriculada é incorporada à massa do vidro. É essa rede que transforma este vidro num vidro de segurança, pois no caso de quebra ela retém os objetos, pessoas e os pedaços do vidro.

Após a impressão, o vidro que ainda não está completamente rígido, sofre um processo de resfriamento de maneira lenta e gradual para adquirir a qualidade do produto final. Em seguida, o vidro é cortado em chapas, nos tamanhos programados, passando pelo processo de controle de qualidade, embalagem, armazenagem e expedição (<http://www.ubvidro.com.br>).

Corantes podem ser adicionados à massa vítrea durante o processo de fabricação, dando origem ao vidro impresso colorido. As cores disponíveis são verde, amarelo, azul e vinho para o modelo ártico, e bronze e fumê para os modelos pontilhado e canelado. Estes vidros podem ainda receber diversos tipos de beneficiamentos, como laminação incolor ou colorida, têmpera, espelhamento, jateamento e bisotê, aumentando as possibilidades de aplicação dos mesmos (<http://www.andiv.com.br>).

Podem ser utilizados na construção civil em janelas, portas e coberturas; na decoração de interiores, em divisórias internas, pisos, degraus de escadas; na indústria moveleira e na fabricação de objetos decorativos.

Dados a respeito das características óticas destes vidros são importantes para a análise do impacto sobre o conforto térmico e visual do uso destes materiais em fechamentos translúcidos de edificações. No entanto, são muito reduzidos na literatura existente, restringindo-se a valores de catálogos dos fabricantes, que não apresentam maiores detalhes sobre o comportamento espectrofotométrico nas diferentes regiões espectrais. Estudos com relação aos vidros transparentes foram realizados em espectrofotômetro para incidência normal por Caram (1998) e para ângulos variados de incidência por Santos (2002). Com relação aos vidros translúcidos, Sardeiro (2007) realizou em espectrofotômetro ensaios a transmissão à incidência normal para diversos tipos de vidros impressos. No entanto, o procedimento utilizado neste trabalho foi semelhante ao usado para os vidros transparentes, sem o uso da esfera integradora, o que pode ter ocasionado uma distorção nos resultados devido à forma difusa de transmissão e reflexão da radiação causada por este tipo de vidro.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a caracterização do comportamento ótico de diferentes tipos de vidros translúcidos em relação à radiação solar, fornecendo dados que permitam o cálculo dos ganhos de calor solar e luz natural através destes materiais em diferentes situações de projeto. Desta forma, a especificação destes vidros adquire um subsídio importante na consideração de melhores condições do conforto térmico e visual dos ambientes.

3 METODOLOGIA

Neste item são apresentados os tipos e características dos vidros impressos ensaiados, os procedimentos utilizados nas medições de reflexão e transmissão para a incidência normal e o método de ponderação dos resultados obtidos nos ensaios em relação à distribuição energética espectral da energia solar incidente, considerando um determinado espectro solar padrão.

3.1 Amostras

As amostras ensaiadas englobam grande parte dos tipos de vidros translúcidos impressos encontrados no mercado brasileiro. A Tabela 1 apresenta os diferentes tipos e suas respectivas espessuras.

As amostras desses vidros foram cortadas no formato retangular. A Figura 1 apresenta as amostras dos vidros impressos incolores ensaiados e a Figura 2 as amostras ensaiadas dos vidros coloridos do tipo ártico. Todas as amostras antes de serem ensaiadas foram limpas com pano limpo e álcool e secas.

Tabela 1- Tipos e espessuras dos vidros impressos ensaiados

Tipo de Vidro	Espessura(mm)	Tipo de Vidro	Espessura(mm)
Aramado	6	Oásis	4
Ártico (qualquer cor)	3/4 ¹	Rideau	3/4
Boreal	4	Silézia	3/4
Canelado	3/4	Spot	3/4
Martelado	3/4	Spotlyte	7/8
Miniboreal	4	Teorema	4

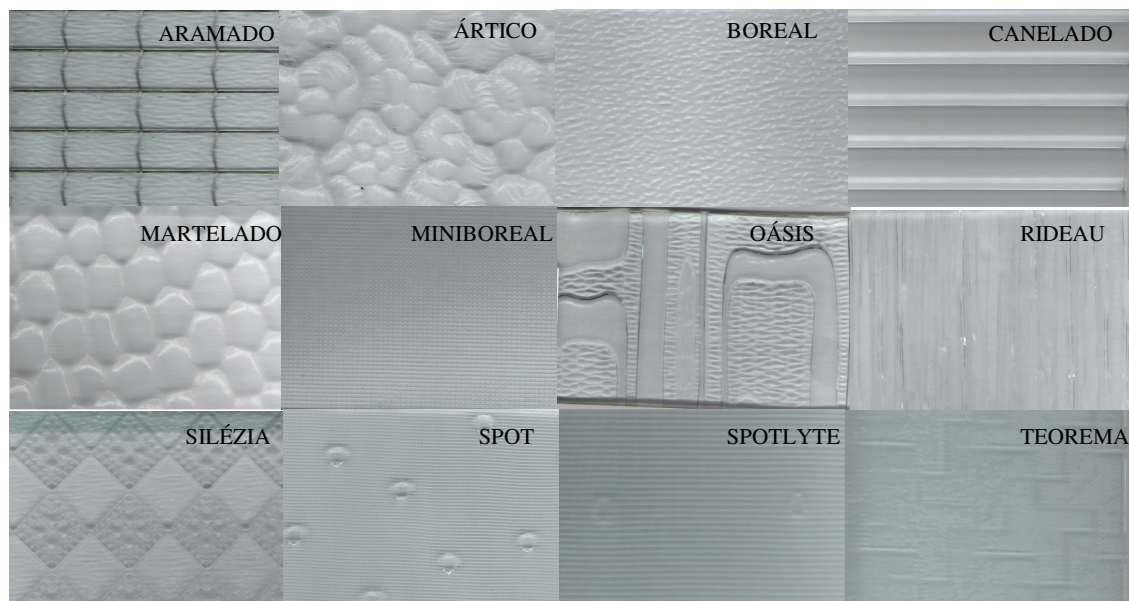


Figura 1 - Vidros impressos incolores ensaiados

¹ Quando apresentados dois valores, eles indicam os limites de variação da espessura que ocorre devido a superfície irregular



Figura 2 - Vidros impressos árticos coloridos ensaiados

3.2 Ensaios espectrofotométricos

As medidas de transmissão e reflexão foram realizadas com a utilização do espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G². Devido ao fato que os vidros impressos transmitem e refletem a radiação de forma difusa, foi utilizado no espectrofotômetro o dispositivo denominado esfera integradora, conforme ilustrado na Figura 3. Este dispositivo possibilita a medida da radiação difusa, que é refletida na sua superfície interna, revestida com material altamente refletivo, até ser captada pelos detectores de medição, que para a radiação ultravioleta e visível consiste em um foto tubo, e para a radiação infravermelha é constituído por elemento à base de sulfeto de chumbo.

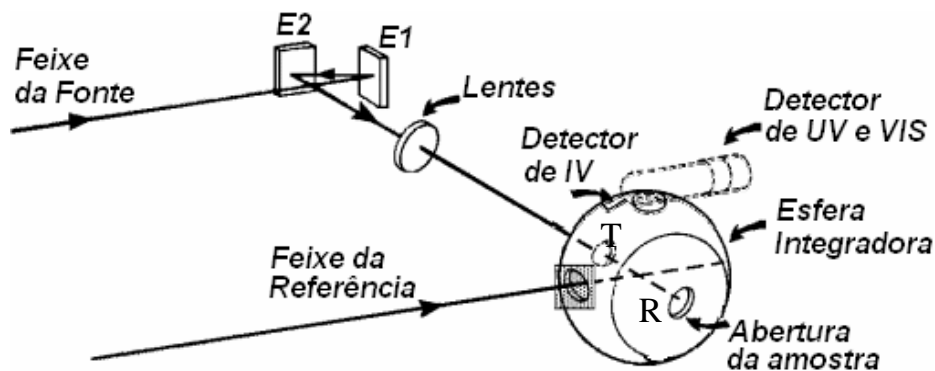


Figura 3 - Esquema de funcionamento do espectrofotômetro com uso da esfera integradora.

Os seguintes parâmetros foram utilizados em todas as medições de transmissão e reflexão:

- Intervalo do espectro medido: 2000 nm a 300 nm.
- Número de medidas dentro do espectro: 1701 medidas, ou seja, de 1 em 1 nm
- Número de medidas por comprimento de onda: 1.
- Troca do detector de IV para Vis/UV: 900 nm.
- Utilização da lâmpada de tungstênio para todo o espectro.

Para medições efetuadas com o uso da esfera integradora a calibração do equipamento é feita utilizando duas medidas de referência: A primeira com a colocação na abertura da amostra de uma amostra branca com coeficiente de reflexão de 99%, e a segunda com a obstrução do orifício de entrada na esfera. A análise conjunta destas duas curvas resulta em linhas de base, que permitem a correção dos valores das medições com a exclusão dos erros inerentes ao conjunto do equipamento.

Após a varredura das linhas de base, o aparelho era aberto na parte superior e a amostra era introduzida e aderida à esfera integradora. Como o sensor que executa as medidas está localizado dentro da esfera, no caso das medidas de transmissão a amostra era posicionada em frente ao orifício T de entrada dos raios na esfera, como mostrado na figura 3, sendo medida a energia que passava pela amostra. Neste caso, o orifício R era fechado com a colocação de uma superfície com coeficiente de reflexão de 99%. No caso das medidas de reflexão a amostra era colocada na saída do orifício R da esfera, medindo a energia que era refletida pela amostra para o interior da esfera. Em ambos os casos a amostra era posicionada com superfície lisa posicionada no lado de qual incidia o feixe de radiação do

² Equipamento utilizado junto ao Instituto de Química da USP de São Carlos-SP.

aparelho, simulando o uso da face lisa posicionada para o lado externo da construção.

3.3 Tratamento dos dados em relação ao espectro solar padrão

A Transmitância e a Refletância da amostra é obtida pela relação entre a integral de toda a energia que é transmitida ou refletida, respectivamente, e o total da energia incidente. Quando se utiliza a integração da curva resultante do espectrofotômetro para a obtenção destes valores não é levado em consideração o percentual de energia incidente em cada comprimento de onda, pois o espectrofotômetro não faz essa distinção, o que acarreta distorções no caso da caracterização do elemento frente à radiação solar, pois essa possui variações acentuadas de valores de energia incidente nos comprimentos de onda do intervalo estudado.

Levando em consideração esse fato, neste trabalho foi feita uma associação entre os resultados fornecidos pelas medições no aparelho e o espectro solar padrão adotado conforme ASTM-E892-87, de maneira que cada valor individual obtido do ensaio fosse ponderado pelo valor correspondente de energia da radiação solar em seu respectivo comprimento de onda.

Nesse sentido, o procedimento utilizado foi a multiplicação, em cada comprimento de onda, dos resultados do ensaio de transmissão ou reflexão pelo valor da energia solar do espectro padrão adotado. Desta maneira, tem-se a energia solar que é transmitida ou refletida em cada comprimento de onda. A razão entre a integral da curva resultante destes valores e a integral da curva do espectro solar padrão resulta no percentual da energia total que é transmitida ou refletida. Pode-se considerar neste cálculo diferentes regiões espectrais, sendo neste trabalho dividido em ultravioleta, visível e infravermelho próximo, além do espectro total.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Comportamento Espectrofotométrico na Transmissão

As figuras 4 e 5 apresentam as curvas espectrofotométricas na transmissão para os vidros impressos ensaiados, fazendo-se uma comparação com a curva do vidro plano incolor 4 mm (Santos, 2002).

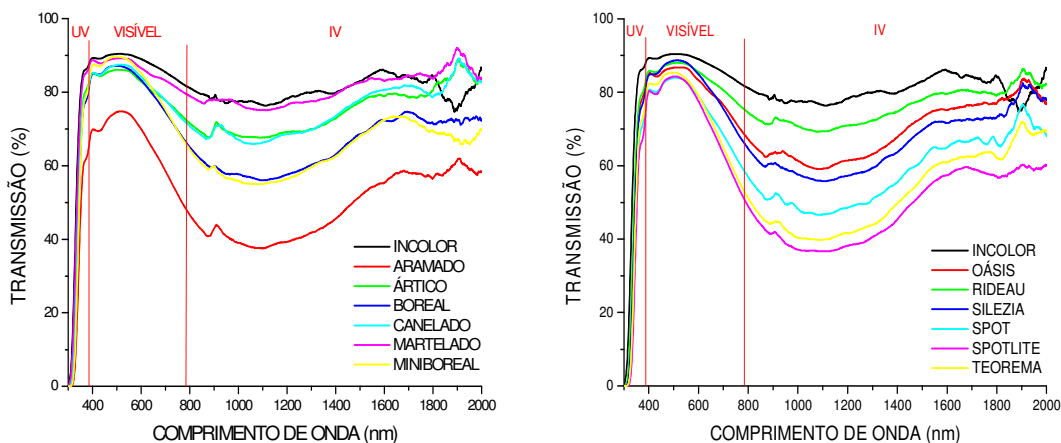


Figura 4 - Curvas espectrofotométricas de transmissão dos vidros impressos incolores ensaiados

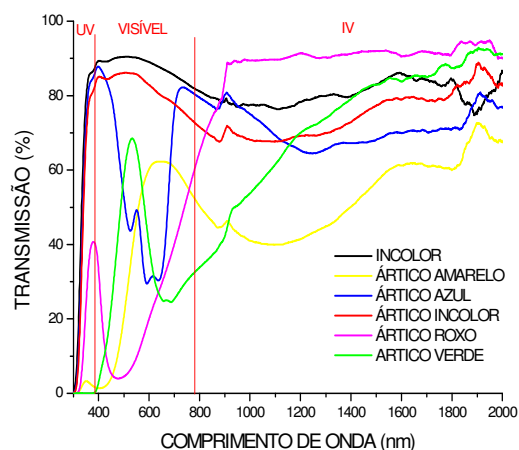


Figura 5 - Curvas espectrofotométricas de transmissão dos vidros impressos coloridos ensaiados

Na figura 4 observa-se uma grande semelhança no perfil espectral da transmissão entre os vidros impressos e entre eles e o vidro incolor, o que evidencia a composição química igual da massa vítrea que os compõem. Os valores de transmissão de energia na região do visível e ultravioleta apresentam diferenças reduzidas entre todos os vidros, enquanto na região do infravermelho estas diferenças são maiores entre os vidros impressos e entre eles e o incolor. Isto indica uma redução no ganho de calor solar importante com o uso de determinados tipos de vidros, sem uma perda proporcional de ganho de luz natural. Os menores valores de transmissão encontrados para os vidros aramado e spotlite são causados pela maior espessura destas duas amostras, o que acarreta uma maior absorção, que é mais acentuada na região do infravermelho.

Os vidros coloridos apresentam comportamentos bem diversos, evidenciando, na região do visível, a maior transmissão na faixa espectral associada às suas cores características, devido à adição do corante na massa vítrea. É importante observar a grande transmissão do vidro roxo na região do IV.

4.2 Comportamento Espectrofotométrico na Reflexão

As figuras 6 e 7 apresentam as curvas espectrofotométricas na reflexão para os diferentes tipos de vidros impressos, comparando com o comportamento do vidro plano incolor 4 mm.

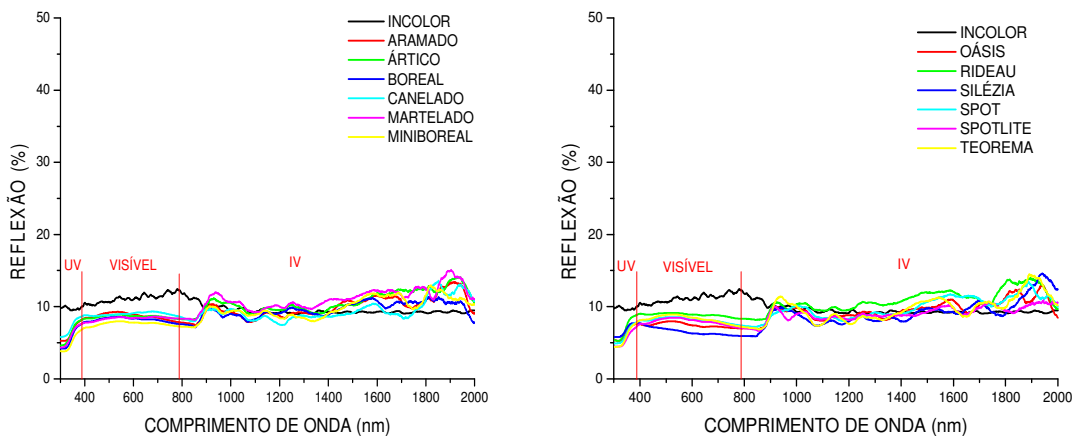


Figura 6 - Curvas espectrofotométricas de reflexão dos vidros impressos incolores ensaiados

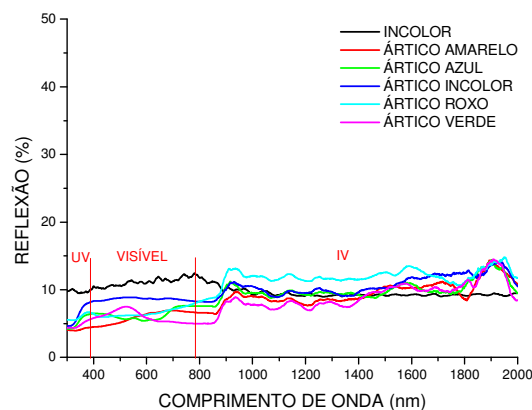


Figura 7 - Curvas espectrofotométricas de reflexão dos vidros impressos incolores ensaiados

Considerando-se que todos os vidros ensaiados possuem o mesmo valor de refletividade na primeira interface, pois esta face é lisa em todas as amostras, conclui-se que as diferenças entre os diversos materiais nos gráficos de refletância são causadas pela variação da reflexão na segunda interface, que depende da energia que chega a essa interface. O valor desta energia é função da absorção que a radiação sofre ao longo da espessura do material, e do formato do desenho impresso sobre a mesma, que influi no ângulo de incidência e de reflexão da radiação nesta interface.

Na reflexão existem poucas diferenças entre as curvas dos diferentes vidros impressos. As maiores diferenças entre os vidros impressos e o vidro plano incolor se encontram na região do visível e UV.

Observa-se por estes gráficos que as diferenças que ocorrem nas curvas de transmissão entre os vidros impressos, e entre eles e o vidro plano incolor, principalmente na região do IV, não são observadas na mesma intensidade nas curvas de reflexão, sendo, portanto, causadas mais intensamente pelas diferenças na absorção.

Nos vidros impressos incolores esta diferença na absorção está relacionada à diferença na absorvidade da camada superficial interna do vidro, a qual sofre o trabalho de impressão, e no ângulo de reflexão na segunda interface, função do desenho impresso no vidro, que faz com que os feixes de radiação refletidos tenham caminhos óticos alterados dentro do material, alterando o valor da absorção da energia refletida na segunda interface.

Nos vidros coloridos, além dos fatos citados anteriormente, a diferença na absorção é também causada pelos diferentes corantes adicionados à massa vítrea, que alteram sensivelmente a absorção, principalmente na região do visível, resultando na cor característica de cada um dos vidros.

4.3 Transmitância e Refletância

A Tabela 2 apresenta os valores de Transmitância e Refletância para as diferentes faixas espectrais, obtidos através da integral das curvas espectrofotométricas ponderadas pela energia do espectro solar padrão em cada comprimento de onda, conforme item 3.3. A coluna assinalada em vermelho equivale aos valores de transmitância da luz visível. Valores obtidos por Santos (2002) para o vidro plano incolor 4 mm foram acrescentados à tabela como um valor de referência para comparação.

A partir dos valores da tabela 2 obtêm-se os valores de Absortância através da equação 1.

$$A = 100 - T - R \quad (\text{Eq. 1})$$

A – Absortância, expressa em porcentagem;

T – Transmitância, expressa em porcentagem;

R – Refletância, expressa em porcentagem.

Tabela 2 – Transmissão e Refletância dos vidros impressos para as diferentes faixas espectrais

TIPO DE VIDRO	TRANSMITÂNCIA				REFLETÂNCIA			
	UV	Visível	IV	Total	UV	Visível	IV	Total
ARAMADO	41,6	67,2	43,9	56,8	6,8	8,7	9,0	8,8
ART.Amarelo	2,3	40,1	47,0	41,7	4,2	5,9	8,4	6,9
ÁRTICO Azul	65,1	58,1	73,0	64,5	5,6	6,2	9,2	7,4
ART. Incolor	61,0	82,2	71,0	76,9	6,8	8,6	9,8	9,1
ÁRTICORoxo	24,2	21,9	83,1	47,1	5,9	5,5	8,1	6,5
ART.Verde	0,0	36,5	58,0	44,1	4,9	6,1	7,6	6,6
BOREAL	55,4	81,6	61,8	72,5	6,1	8,2	8,9	8,4
CANELADO	58,7	82,9	70,6	77,0	7,5	9,3	8,3	8,9
MARTELADO	67,4	86,3	78,4	82,4	6,4	8,4	10,1	9,0
MINIBOREAL	54,1	83,2	60,8	73,0	5,4	7,6	9,0	8,1
OASIS	56,0	82,0	65,0	74,1	6,6	7,5	8,7	8,0
RIDEAU	59,3	84,5	73,1	78,9	7,4	8,9	9,8	9,2
SILEZIA	53,7	82,6	61,7	73,0	7,0	6,6	8,1	7,2
SPOT	47,2	76,8	53,3	66,2	6,5	8,2	8,9	8,4
SPOTLYTE	42,7	74,8	43,8	61,0	5,7	8,0	8,4	8,1
TEOREMA	49,1	76,4	47,0	63,4	6,1	8,3	8,6	8,4
INCOLOR 4mm	68,0	87,0	78,0	83,0	9,0	9,0	9,0	9,0

4.4 Fator de Calor Solar (FS) e Transmissão da Luz Visível (Tv)

Os valores do Fator de Calor Solar (FS) para incidência normal são obtidos a partir da Equação 2.

$$FS = T + N_i \cdot A \quad (\text{Eq.2})$$

FS - Fator de Calor Solar (%);

Ni – Percentual da energia absorvida que migra para o interior da edificação, dado pela Equação 3.

$$N_i = U / h_e \quad (\text{Eq.3})$$

U – Transmissão térmica ($\text{W/m}^2\text{K}$);

he – coeficiente de trocas superficiais externas ($\text{W/m}^2\text{K}$);

hi – coeficiente de trocas superficiais internas ($\text{W/m}^2\text{K}$).

Conforme Santos (2002), considerando um vento médio de 2m/s, condutividade térmica média do vidro de 1,0 W/mK , $h_e = 11,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $h_i = 8,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, temos o valor de $N_i = 0,43$ para todos os vidros apresentados, resultando os valores de FS apresentados na Tabela 3, juntamente com os valores de Tv e da relação Tv/FS.

Tabela 3 – Valores de T, A, FS e Tv para os vidros impressos ensaiados

TIPO DE VIDRO	T	A	FS	Tv	Tv/FS
ARAMADO	56,8	34,4	71,6	67,2	0,94
ÁRTICO Amarelo	41,7	51,4	63,8	40,1	0,63
ÁRTICO Azul	64,5	28,1	76,6	58,1	0,76
ÁRTICO Incolor	76,9	14,0	82,9	82,2	0,99
ÁRTICO Roxo	47,1	46,4	67,1	21,9	0,33
ÁRTICO Verde	44,1	49,3	65,3	36,5	0,56
BOREAL	72,5	19,1	80,7	81,6	1,01
CANELADO	77,0	14,1	83,1	82,9	1,00
MARTELADO	82,4	8,6	86,1	86,3	1,00
MINIBOREAL	73,0	18,9	81,1	83,2	1,03
OASIS	74,1	17,9	81,8	82,0	1,00
RIDEAU	78,9	11,9	84,0	84,5	1,01
SILEZIA	73,0	19,8	81,5	82,6	1,01
SPOT	66,2	25,4	77,1	76,8	1,00
SPOTLYTE	61,0	30,9	74,3	74,8	1,01
TEOREMA	63,4	28,2	75,5	76,4	1,01
INCOLOR 4mm	83,0	8,0	86,4	87,0	1,01

5 CONCLUSÕES

A conclusão principal deste trabalho está relacionada ao comportamento dos vidros impressos com relação aos ganhos de calor e luz solar, pois este é um fator importante a ser considerado na especificação deste tipo de vidro.

Neste sentido, os vidros impressos incolores apresentaram valores de Fator de Calor Solar (FS) e Transmitância da Luz Visível (Tv) inferiores ao vidro plano incolor de mesma espessura, mas com diferenças pequenas, variando o FS entre 87.3 % no tipo Teorema a 99.6 % no vidro martelado, e a Tv entre 88% e 99% nos mesmos vidros.

Observou-se que todos os vidros impressos incolores ensaiados transmitem maior percentual de energia na região da luz visível, com diferença sensível com relação ao ultravioleta e o infravermelho. Com isto, a relação entre o ganho de luz e de calor destes vidros é muito alta, muitos apresentando valor desta relação superior a um (1), o que é muito difícil nos vidros simples comercializados no Brasil. De acordo com Santos (2002), o vidro plano incolor e o vidro plano verde são os que apresentam maiores valores desta relação, ambos em torno de um (1).

Desta forma são boas opções para situações em que se necessite características semelhantes ao vidro incolor, com relação a ganhos de calor e luz, e se deseje privacidade e/ou redução do ofuscamento, ou ainda um efeito estético diferenciado em esquadrias de ambientes sem necessidade de visão externa.

Os vidros impressos coloridos não apresentam esta mesma condição, e, embora tenham valores do Fator Solar inferiores aos vidros incolores de mesma espessura, possuem uma Transmitância da Luz Visível ainda mais baixa que o Fator Solar. Podem ser usados para redução do ganho de calor solar, mas com uma perda acentuada de luz natural, portanto em esquadrias com área de vidros superior à

necessária para uma iluminação natural de qualidade. No entanto, para este fim existem vidros de outros tipos com melhor relação luz/calor. Portanto o uso dos vidros impressos coloridos ensaiados neste trabalho estaria mais associado a uma questão estética, e não ao atendimento de necessidades relacionadas ao conforto térmico e visual das edificações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (<http://www.ubvidro.com.br>)
2. (<http://www.andiv.com.br>)
3. CARAM R. M. *Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações*. Tese (Doutorado) – Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade de Campinas. Campinas, 1998.
4. SANTOS. J. C. PIZZUTTI. *Avaliação do Desempenho Térmico e Visual de Elementos Transparentes Frente à Radiação Solar*. Tese (Doutorado). Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.
5. SARDEIRO, P.S. *Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação*. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM Standards. E892-87. *Standard Tables for Terrestrial Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5 for a 37° Tilted Surface*. 1987.