

COMPORTAMENTO ÓTICO DOS POLICARBONATOS TRANSLÚCIDOS FRENTE À RADIAÇÃO SOLAR

Joaquim C. Pizzutti dos Santos (1); Mauro R. Fernandes (2)

(1) Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil email:
joaquim@smail.ufsm.br

(2) Universidade de São Paulo, Instituto de Química de S. Carlos - email: mauro@iqsc.usp.br
Universidade Federal de Santa Maria. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Centro de
Tecnologia. Camobi. Santa Maria, RS. Brasil. CEP 97119-900. Tel: 055 32208144

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados do comportamento espectrofotométrico, do Fator Solar e da Transmitância da Radiação Visível para policarbonatos translúcidos usados no Brasil. Foram realizados ensaios em espectrofotômetro, para incidência normal, obtendo-se a curva de variação da transmissão e da reflexão na faixa espectral entre 300 e 2000 nm. A partir da integração destas curvas, ponderadas quanto a um espectro solar padrão, foram obtidos valores de refletância e transmitância das amostras para o espectro total e separadamente para as regiões do ultravioleta, visível e infravermelho. Os valores para o espectro total são usados no cálculo do Fator Solar, e os da região do visível são os valores da Transmitância da Radiação Visível. Observou-se que todos os policarbonatos ensaiados transmitem uma parcela muito pequena no UV, e apenas o alveolar verde transmite maior percentual de energia na região do visível que no IV, sendo a relação entre o ganho de luz e de calor destes materiais baixa, com exceção do alveolar verde e o incolor. A alta absorção da radiação foi observada em todos os tipos, exceto os alveolares incolor e branco. A análise das curvas espectrofotométricas destes materiais e a utilização dos dados obtidos permitem ao projetista uma especificação mais criteriosa de policarbonatos translúcidos.

Palavras-chave: comportamento ótico, policarbonatos translúcidos

ABSTRACT

This paper presents results of the spectrophotometric behavior, Solar Factor and Visible Light Transmittance for translucent polycarbonates used in Brazil. Essays were performed in spectrophotometer, for normal incidence, resulting in the curve of variation of transmission and reflection in the range between 300 and 2000 nm. From the integration of these curves, weighted in relation to a standard solar spectrum, were obtained the reflectance and transmittance values to the total spectrum and separately to the regions of ultraviolet, visible and infrared. The values from the total spectrum are used to calculate the Solar Factor, and the visible region is the Visible Light Transmittance values. It was observed that all tested polycarbonates transmit a very small portion in the UV. Only the cellular green transmit higher percentage of energy in the visible than in the IV, and is low the relationship between the gain of light and heat of these materials, except the alveolar green and colorless. The high absorption of radiation was observed in all types, except for alveolar colorless and white. The analysis of spectrophotometric curves and the use of resulting data allow to the designer a more careful specification of translucent polycarbonates.

Keywords: optical behavior, translucent polycarbonates

1. INTRODUÇÃO

Os policarbonatos são um tipo particular de polímeros de cadeia longa, formados por grupos funcionais unidos por grupos carbonato (-O-(C=O)-O-). São termoplásticos e recicláveis, sendo moldáveis quando aquecidos. As principais características deste material são a baixa densidade, cristalinidade muito baixa, semelhança ao vidro (incolor e transparente), alta resistência ao impacto, boa estabilidade dimensional, boa resistência ao escoamento sob carga, às intempéries e a chama.

Os policarbonatos têm grande resistência ao impacto proporcionando proteção para queda ocasional de objetos ou pessoas, e dificultando roubos e o vandalismo. Segundo um dos fabricantes (GE Plastics, s/d) sua resistência é 250 vezes maior que a do vidro. Além disto, pelo seu menor peso e por permitir que seja curvado a frio, ele permite uma maior liberdade no projeto arquitetônico. A chapa de policarbonato pode ser conformada de acordo com a necessidade das estruturas.

Um dos principais problemas no uso deste material é o amarelecimento que ocorre ao longo do tempo. Embora as chapas de policarbonato utilizadas na construção civil recebam tratamento especial com a inserção de aditivos, visando a evitar oxidação das moléculas por efeito da radiação ultravioleta e proteger contra o amarelecimento, a mudança na coloração com o tempo é visível, reduzindo a transmissão luminosa e resultando em fachadas com diferentes tonalidades e transparências, dependendo do grau de incidência da radiação solar.

Segundo catálogo do fabricante (GE Plastics, s/d) os policarbonatos têm menor condutividade térmica que o vidro, cerca de 0,21 W/mK, contra 1,2 W/mK para o vidro. Este fato é importante nas trocas térmicas por condução, principalmente nas perdas térmicas do calor interno. No entanto, na análise do desempenho térmico dos materiais transparentes e translúcidos, devem ser também consideradas a transmissão, absorção e reflexão da radiação solar, principal fonte de ganhos térmicos através destas superfícies.

Com relação ao efeito estufa, estudos comprovam que o policarbonato tem comportamento semelhante ao vidro, sendo também totalmente opaco à radiação emitida na região do infravermelho longo, irradiada pelo ambiente aquecido, geralmente entre 7000 e 13000 nm (Caram et al, 2004). Este fato ocorre tanto com o policarbonato maciço como com o alveolar.

O policarbonato alveolar analisado neste trabalho é uma chapa lisa com cavidades internas (alvéolos) constituído de duas lâminas delgadas com estruturas de paredes gêmeas e um espaço de ar entre elas, com espessuras que variam de 4 a 10mm. São muito utilizados para fechamentos laterais e coberturas, tendo o aspecto visual do vidro envidraçado.

Pode ser facilmente serrado, cortado e furado com o uso de equipamentos comuns de oficina. Pode ser colocado nos caixilhos usando-se técnicas de vidraria comuns, ou ajustados mecanicamente ou colados, considerando no ajuste o coeficiente de expansão térmica do material.

A laminação do policarbonato juntamente com o vidro pode ser feita usando-se um adesivo especial que permite a dilatação térmica com redução nas tensões diferenciais.

2. OBJETIVO

Este trabalho busca a caracterização do comportamento ótico de diferentes tipos de policarbonatos translúcidos compactos e alveolares quando expostos à radiação solar, fornecendo subsídios para uma análise mais conclusiva a respeito do comportamento térmico e de transmissão luminosa dos policarbonatos translúcidos, e gerando dados que permitam uma especificação mais criteriosa destes materiais para diferentes situações de projeto.

3. METODOLOGIA

Neste item são apresentados os tipos e características dos policarbonatos translúcidos ensaiados, os procedimentos no ensaio destes materiais à transmissão e à reflexão em espectrofotômetro, para o ângulo normal de incidência, o método de ponderação dos resultados em relação ao espectro solar padrão adotado, o procedimento de obtenção dos resultados de transmitância, refletância e absorvância para diferentes regiões espectrais e o modelo de cálculo do Fator Solar.

3.1. Amostras

A Tabela 1 apresenta os diferentes tipos de policarbonatos translúcidos ensaiados que são encontrados no mercado brasileiro e suas respectivas espessuras, enquanto a Figura 1 apresenta fotos das amostras utilizadas.

Tabela 1 - Tipos e espessuras dos policarbonatos translúcidos ensaiados

Tipo de Policarbonato	Espessura(mm)
Policarbonato Alveolar Incolor	5
Policarbonato Alveolar Bronze	5
Policarbonato Alveolar Branco	6
Policarbonato Alveolar Cinza	5
Policarbonato Alveolar Verde	5
Policarbonato Compacto Branco	4

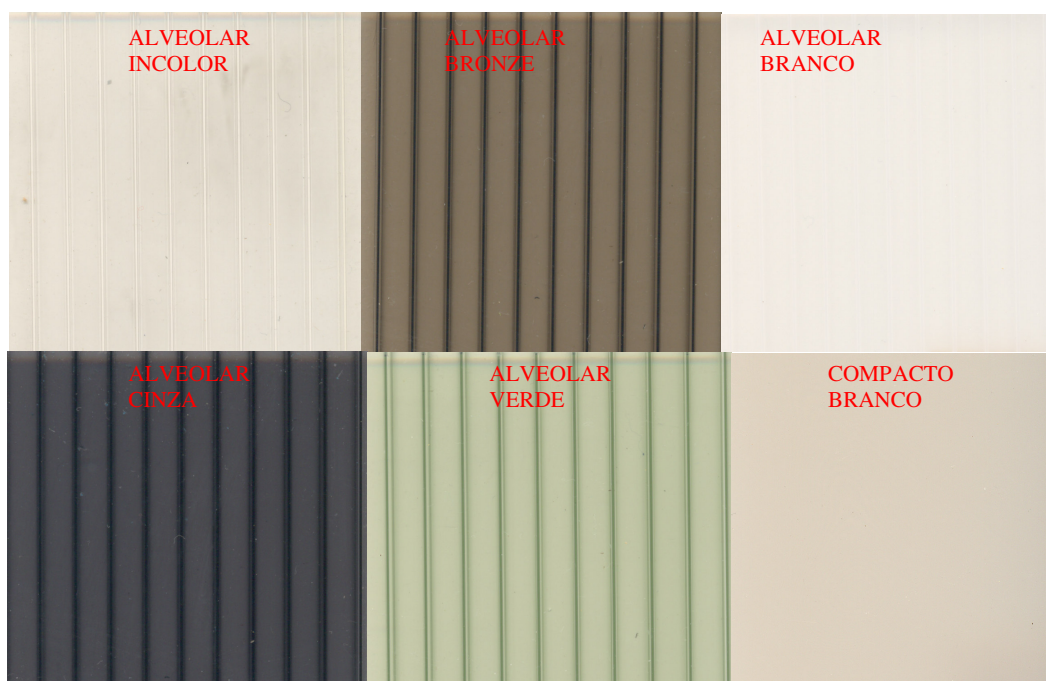


Figura 1 - Policarbonatos translúcidos ensaiados

3.2. Ensaios espectrofotométricos

As medidas de transmissão e reflexão foram realizadas com a utilização do espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G, utilizando-se um dispositivo denominado esfera integradora, conforme ilustrado na Figura 2. Este dispositivo permite a medição da radiação transmitida ou refletida de forma difusa pelos materiais translúcidos, a qual 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.

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

- Intervalo do espectro medido: 2000 nm a 300 nm.
- Número de medidas dentro do espectro: 426 medidas, ou seja, de 4 em 4 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.

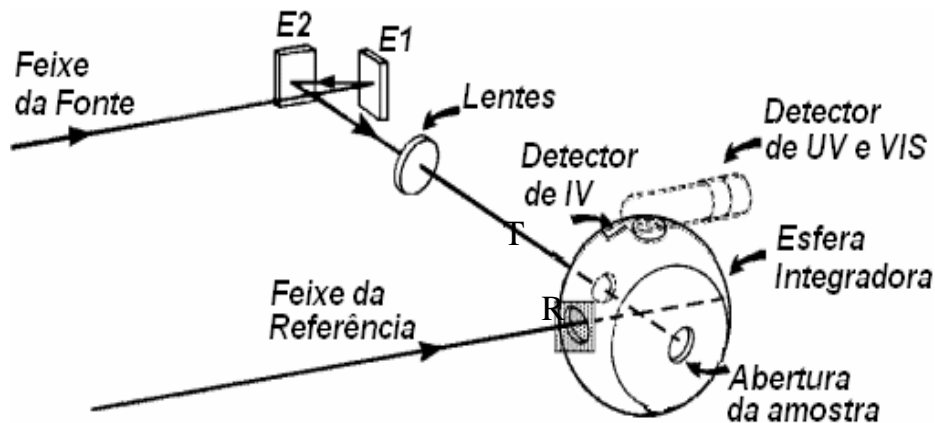


Figura 2 - Esquema de funcionamento do espectrofotômetro com a esfera integradora.

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 2, 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.

Todos os ensaios foram repetidos no mínimo cinco vezes, com mudança na posição de colocação de amostra, buscando-se uma média do comportamento do material. As curvas finais de transmissão e reflexão foram obtidas pela média de todas as medidas efetuadas para cada material.

3.3. Tratamento dos dados quanto ao espectro solar padrão

A Transmitância e a Refletância da amostra, considerando os resultados médios de transmissão e de reflexão em todos os comprimentos de onda, 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 diretamente a integração da curva resultante do espectrofotômetro para a obtenção destes valores é considerado que em todos os comprimentos de onda chega o mesmo valor de energia incidente, 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 o resultado de ensaio obtido fosse ponderado pelo valor correspondente de energia da radiação solar em seu respectivo comprimento de onda.

O procedimento utilizado para este fim 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. Resulta desta forma, para cada comprimento de onda, o valor da energia solar que seria transmitida ou refletida quando incidindo sobre o respectivo material. O percentual da energia total que é transmitida ou refletida é calculado pela razão entre a integral da curva resultante destes valores e a integral da curva do espectro solar padrão. Pode-se efetuar este cálculo dentro de diferentes regiões espectrais, as quais foram divididas neste trabalho em ultravioleta, visível e infravermelho próximo, além do espectro total.

3.4. Cálculo do Fator Solar

Os valores do Fator Solar (FS) para incidência normal são obtidos a partir da Equação 1.

$$FS = T + Ni.A \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

FS - Fator Solar (%);

T - Transmitância, expressa em porcentagem

Ni - Percentual da energia absorvida que migra para o interior da edificação, dado pela Equação 2.

A - Absortância, expressa em porcentagem

$$Ni = U/he \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

U – Transmitância térmica (W/m^2K);

he – coeficiente de trocas superficiais externas (W/m^2K);

De acordo com Santos (2002), considerando um vento médio de 2m/s e superfície na vertical, resulta $he = 11,4 W/m^2K$ e $hi = 9,1 W/m^2K$. Sendo considerada a resistência térmica do espaço de ar do material alveolar de $0,14 m^2K/W$ (NBR 15220-2, 2005), e a condutividade do material do policarbonato de $0,2 W/m^2K$ (USP-FAU, 2009), tem-se os valores de U e Ni da Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de he, hi, U e Ni para os policarbonatos alveolares e compactos

Policarbonato	he (W/m^2K)	hi (W/m^2K)	U (W/m^2K)	Ni
Alveolar	11,4	9,1	2,92	0,256
Compacto	11,4	9,1	4,60	0,40

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Comportamento Espectrofotométrico na Transmissão

A Figura 3 apresenta as curvas espectrofotométricas na transmissão para os policarbonatos translúcidos ensaiados, juntamente com a curva do policarbonato compacto incolor 5 mm e o vidro plano incolor 3 mm (Santos, 2002), materiais mais largamente utilizados e que podem ser considerados como referência de comportamento para a análise.

Nesta Figura observa-se a transmissão na região do ultravioleta praticamente nula dos policarbonatos de qualquer tipo, o que não ocorre com o vidro incolor.

Na região do visível cada policarbonato tem um comportamento diferenciado de acordo com sua coloração característica.

Na região do infravermelho o policarbonato verde tem um comportamento mais adequado a climas quentes, com baixa transmissão do infravermelho próximo. O policarbonato compacto branco tem a menor transmissão em praticamente todos os comprimentos de onda devido a sua maior absorção.

Com exceção do policarbonato verde, todos os policarbonatos têm maiores valores de transmissão na região do infravermelho que no visível, o que demonstra pouca aptidão para melhoria do desempenho térmico no uso em edificações em clima quente.

Observa-se uma grande semelhança no perfil espectral da transmissão entre os policarbonatos incolores compacto e alveolar, e entre os policarbonatos brancos compacto e alveolar, o que evidencia a composição química igual da massa que os compõem.

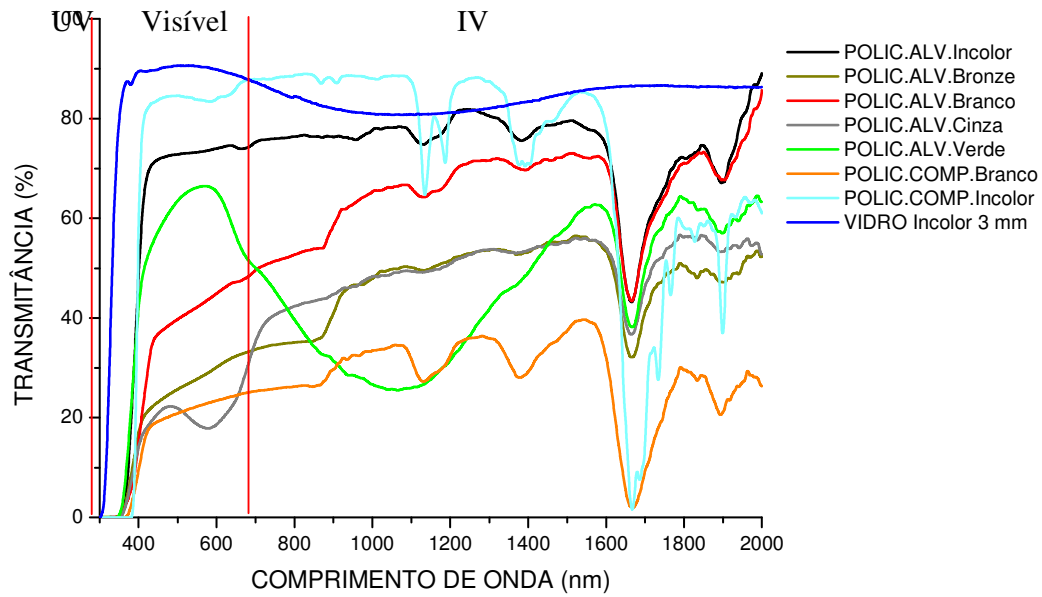


Figura 3 - Curvas espectrofotométricas na transmissão dos policarbonatos ensaiados

4.2. Comportamento Espectrofotométrico na Reflexão

A Figura 4 apresenta as curvas espectrofotométricas na reflexão para os policarbonatos translúcidos ensaiados, juntamente com a curva do policarbonato compacto incolor 5 mm e o vidro plano incolor 3 mm (Santos, 2002) .

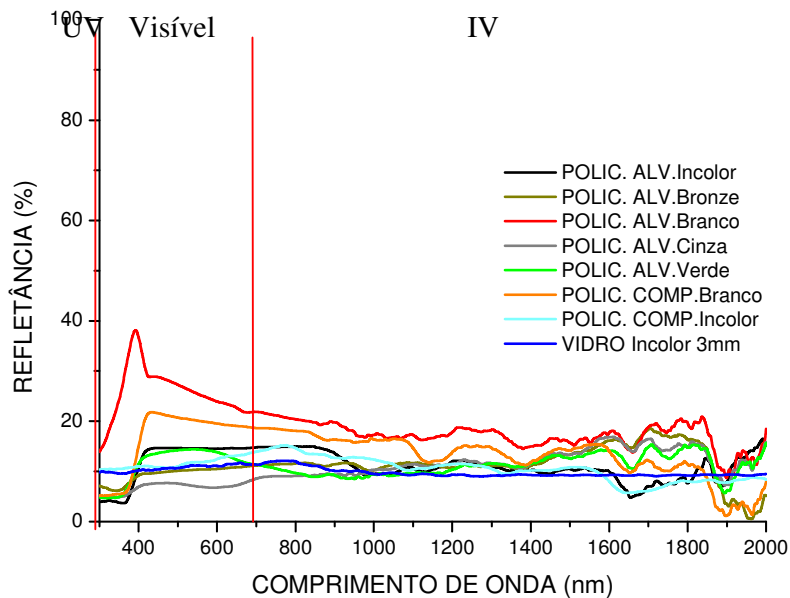


Figura 4 - Curvas espectrofotométricas na reflexão dos policarbonatos ensaiados

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

Na reflexão as diferenças mais significativas ocorrem entre as curvas dos policarbonatos brancos (alveolar e compacto) e os demais. Esta diferença é mais acentuada na região do visível e do ultravioleta.

4.3. Transmitância, Refletância e Absortância

A Tabela 3 apresenta os valores de Transmitância e Refletância para o espectro total e para as diferentes faixas espectrais, Ultravioleta (UV), Visível (VIS) e Infravermelho (IV), 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.

A partir dos valores da Tabela 3 obtêm-se os valores de Absortância através da Equação 3, os quais são apresentados na Tabela 4.

$$A = 100 - T - R$$

Equação 3

Onde:

A – Absortância, expressa em porcentagem;

T – Transmitância, expressa em porcentagem;

R – Refletância, expressa em porcentagem.

Tabela 3 - Transmitância e Refletância dos policarbonatos para as diferentes faixas espectrais

Tipo de Policarbonato	TRANSMITÂNCIA (%)				REFLETÂNCIA (%)			
	UV	VIS	IV	Total	UV	VIS	IV	Total
Alveolar Branco	1,6	42,0	62,6	49,2	26,1	25,4	18,1	22,4
Alveolar Bronze	1,9	28,4	45,5	34,6	6,7	10,4	11,9	10,9
Alveolar Cinza	1,6	24,1	47,9	33,2	5,1	7,6	11,1	8,9
Alveolar Incolor	3,5	72,0	75,9	71,4	4,1	14,4	11,5	12,9
Alveolar Verde	5,4	57,1	36,8	47,1	5,6	12,9	10,3	11,6
Compacto Branco	0,3	21,9	29,9	24,5	5,8	19,5	15,4	17,4

Tabela 4 - Absortância dos policarbonatos para as diferentes faixas espectrais

Tipo de Policarbonato	ABSORTÂNCIA (%)			
	UV	VIS	IV	Total
Alveolar Branco	72,3	32,6	19,3	28,4
Alveolar Bronze	91,4	61,2	42,6	54,5
Alveolar Cinza	93,3	68,3	41,0	57,9
Alveolar Incolor	92,4	13,6	12,5	15,9
Alveolar Verde	89,0	30,0	52,9	41,3
Compacto Branco	94,0	58,6	54,7	58,1

Observou-se que todos os policarbonatos ensaiados transmitem uma parcela muito pequena no UV, e, com exceção do alveolar verde, transmitem maior percentual de energia na região do IV que no visível, característica desfavorável para o uso em climas quentes.

Deve-se atentar para a alta absorção da radiação na maioria dos tipos de policarbonatos, com exceção dos alveolares incolor e branco, o que pode causar desconforto localizado devido à alta temperatura radiante dos mesmos quando sofrem incidência da radiação solar.

4.4. Fator Solar (FS) e Transmitância da Radiação Visível (Tv)

Usando os valores de Ni da Tabela 2 e os valores de T e A das Tabelas 3 e 4, respectivamente, obtém-se, para os policarbonatos translúcidos ensaiados, os valores do Fator Solar (FS) que são apresentados na Tabela 5, juntamente com valores da Transmitância da Radiação Visível (Tv) e da relação Tv/FS. Valores obtidos por Santos (2002) para o vidro plano incolor 3 mm e para o policarbonato incolor 5 mm foram acrescentados à tabela como uma referência para comparação.

Tabela 5 - Valores de T, A, FS e Tv para os policarbonatos ensaiados

Tipo de Policarbonato	T (%)	A (%)	FS (%)	Tv (%)	Tv/FS
Alveolar Branco	49.2	28.4	56.5	42.0	0.74
Alveolar Bronze	34.6	54.5	48.6	28.4	0.58
Alveolar Cinza	33.2	57.9	48.0	24.1	0.50
Alveolar Incolor	71.4	15.7	75.4	72.0	0.95
Alveolar Verde	47.1	41.3	57.7	57.1	0.99
Compacto Branco	24.5	58.1	47.7	21.9	0.46
Compacto Incolor 5mm	80.0	8.0	83.2	84.0	1.01
Vidro Incolor 3mm	85.0	5.0	87.0	89.0	1.02

Os policarbonatos translúcidos ensaiados apresentaram valores de Fator Solar (FS) variando entre um máximo de 75,4 % no tipo alveolar incolor e um mínimo de 47,7 % no compacto branco, enquanto a Transmitância da Radiação Visível (Tv) varia entre 72% e 21,9% nos mesmos policarbonatos, respectivamente. Estes valores são inferiores aos do policarbonato compacto incolor e ao vidro plano incolor de mesma espessura.

O fato de transmitirem mais na região do IV que no visível faz com que a relação entre o ganho de luz e de calor (Tv/FS) destes materiais seja baixa, com exceção do alveolar verde e o alveolar incolor.

5. CONCLUSÕES

A conclusão principal deste trabalho está relacionada ao comportamento dos policarbonatos translúcidos com relação aos ganhos de calor e luz solar, considerando a importância destes dois itens na especificação dos materiais transparentes ou translúcidos.

O ensaio destes materiais em espectrofotômetro, com o uso da esfera integradora, permitiu a obtenção de resultados bastante consistentes, com boa repetitividade dos resultados.

Observa-se que os policarbonatos translúcidos em geral são boas opções para situações em que se necessite maior resistência, baixo peso na estrutura, proteção contra UV, e se deseje privacidade e/ou redução do ofuscamento, mas apenas o alveolar verde e o incolor possuem uma maior relação entre os ganhos de luz visível e os ganhos de calor solar, o que seria mais adequado para uso em clima quente.

Deve-se atentar para a grande absorção daqueles tipos de policarbonatos que possuem menor Fator Solar, o que pode trazer desconforto pela alta temperatura radiante dos mesmos, quando instalados próximos das pessoas, principalmente em coberturas.

Os dados aqui disponibilizados são de grande utilidade para a avaliação dos ganhos de calor e luz natural através destes materiais, mas, devido ao fato que as medições foram realizadas apenas para a incidência normal da radiação, não permitem um cálculo mais apurado de ganhos de calor e luz ao longo de um período de tempo, em que o ângulo de incidência da radiação solar é variável. Para que isto seja possível

com maior precisão é necessário o estabelecimento da curva de variação do Fator Solar e da Transmitância da Radiação Visível em função do ângulo de incidência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: 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, 2005a.
- CARAM, R. M., SICHIERI, E. P., LABAKI, L. Conforto térmico e efeito estufa. **Revista FINESTRA**, São Paulo, Edição 36, 2004., GE Plastics, Manual Técnico, s/d
- SANTOS, J. C. P. 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.
- Universidade de São Paulo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-. **Plásticos Translúcidos**. Disponível em: <<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/polic.htm>>. Acesso em: 13 de maio. 2009.