

CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DE POLICARBONATOS VISANDO O CONFORTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

Paula Silva Sardeiro (1); Rosana Maria Caram (2)

(1) Arquiteta, Profa. Dra. Universidade Estadual de Maringá / UEM. E-mail: sardeiro@sc.usp.br.

(2) Profa. Livre-Docente, Escola de Engenharia de São Carlos / USP - Departamento de Arquitetura e Urbanismo. E-mail: rcaram@sc.usp.br.

RESUMO

O trabalho consta da caracterização e análise da transmissão da radiação solar através de policarbonatos empregados em fachadas e aberturas zenitais de edificações. São estudados os policarbonatos em chapas compactas e alveolares. O estudo utiliza a técnica da espectrofotometria para a análise da transmissão espectral dos materiais. Os resultados mostram que os policarbonatos alveolares apresentam transmissões superiores, na região do ultravioleta, aos policarbonatos em chapa compacta, e que o policarbonato alveolar translúcido deve ser criteriosamente especificado em função da elevada transmissão na região do infravermelho. Os resultados fornecem subsídios e indicativos para o emprego apropriado de policarbonatos nas edificações visando o conforto térmico e visual na edificação, além de complementar informações técnicas pouco disponíveis no mercado.

Palavras-chave: policarbonato; transmissão radiação solar, conforto térmico.

ABSTRACT

The work consists of the characterization and analysis of the transmission of the solar radiation through polycarbonates used in facades and openings zenitais of constructions. They are studied the polycarbonates in compact and alveolar foils. The study uses the technique of the espectrofotometria for the analysis of the ghasly transmission of the materials. The results show that the alveolar polycarbonatos presents superior transmissions, in the area of the ultraviolet, to the polycarbonates in foil compacts, and that the translucent alveolar polycarbonates should be criteriosamente specified in function of the high transmission in the area of the infrared. The results supply subsidies and indicative for the appropriate job of polycarbonates in the constructions seeking the thermal and visual comfort in the construction, besides complementing information little available techniques in the market.

Keywords: polycarbonates, transmission solar radiation, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

A criação do policarbonato é indiscutivelmente mais recente que a descoberta do vidro. O policarbonato chega ao Brasil em 1990 e começa a ser produzido no Brasil em 1995, pela Day Brasil, ligada a General Electric (GE) norte americana.

Segundo Chaves (1998) e John (1994) os policarbonatos são polímeros termoplásticos de cadeia heterogênea linear, originários da condensação do bisfenol A e do ácido carbônico. São materiais de transparência similar ao vidro e com resistência superior. A grande resistência a impacto proporciona eficaz proteção contra vandalismo e roubos. De acordo com os fabricantes, o policarbonato é 250 vezes mais resistente que o vidro recozido e 30 vezes mais que o acrílico. Outra excelente vantagem dos policarbonatos é a possibilidade de sua conformação a frio, permitindo uma maior liberdade de projeto, característica não pertinente ao vidro.

O policarbonato, por ser um material transparente mais resistente e leve que o vidro, além de permitir certa flexibilidade, vem aparecendo notoriamente nas aberturas laterais e zenitais das edificações. O uso do policarbonato aumentou significativamente na última década em todas as regiões do país, assim como, a grande variedade de tipos, espessuras e cores das chapas utilizadas na construção civil.

As chapas de policarbonatos usadas na construção civil, tanto compactas quanto alveolares, possuem um tratamento adicional. Este tratamento é feito através de aditivos especiais, para minimizar o processo de oxidação das moléculas por ação da radiação ultravioleta, ocasionando o amarelecimento do material. Em virtude da alteração de cor do material, as aberturas com o policarbonato reduzem a transmissão luminosa, além de provocar manchas nestas superfícies. De acordo com ensaios realizados pela GE, uma das fabricantes do material com grande inserção no mundo todo, percebe-se que após 5 anos exposição à ação da radiação ultravioleta, o policarbonato transparente torna-se translúcido. (Figura 1)

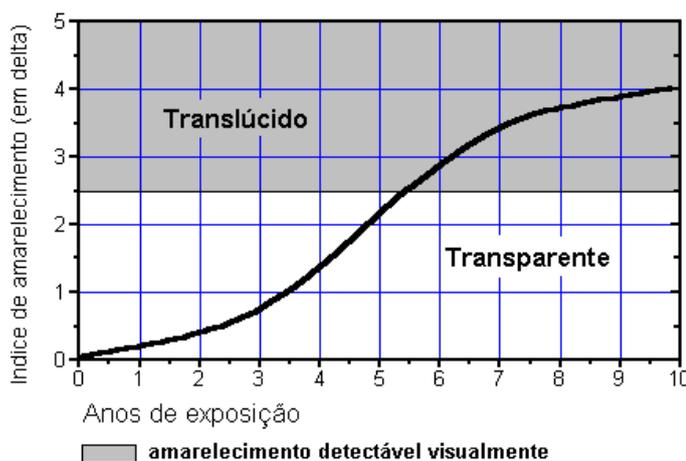


Figura 1 - Índice de amarelecimento de policarbonato
Fonte: Manual Técnico da GE, s/d

O policarbonato utilizado na construção civil apresenta uma variedade enorme, com espessuras variando de 1mm a 16mm, mas também são fabricados sob encomenda os laminados de policarbonato em chapa compacta, que a espessura alcança 33mm; transparentes, translúcidas, coloridas (cinza, verde bronze e azul) e opacas. As chapas alveolares possuem dimensões de 2m a 6m.

Deve-se ter critérios na especificação do policarbonato para a edificação, principalmente tratando de aberturas zenitais, devido o tempo de exposição à radiação solar ser maior e a dificuldade da colocação de elementos de proteção solares nas aberturas. Portanto, é importante o conhecimento de suas propriedades óticas, visando minimizar o ganho de calor no interior da edificação. Sardeiro (2007) resumiu algumas vantagens e desvantagens do material.

Vantagens:

- Leveza, possui baixo peso específico de 1,2kg/m², em 1m² de policarbonato, com 6mm de espessura, pesa 7,2kg, enquanto uma chapa de vidro com as mesmas características pesa 15kg;
- Alta resistência a impactos, segundo seus fabricantes, o policarbonato é cerca de 250 vezes mais resistente que o vidro e 30 vezes mais que o acrílico;
- Pode ser curvado a frio durante a instalação, a um raio com pelo menos 100 vezes a espessura (uma espessura de 6mm pode ser curvado a frio a um raio de 600mm).

Desvantagens:

- Baixa resistência a fadiga e a abrasão, não resiste a ação de alguns solventes orgânicos e produtos alcalinos;
- Quando transparente, passa a se tornar translúcido, modificando suas propriedades óticas, devido à ação do ultravioleta, esta transformação ocorre por volta de 5 anos de exposição.

A radiação solar ou radiação eletromagnética é a radiação emitida pelo Sol com comprimentos de onda que variam de 290nm a 2500nm, denominada radiação de onda curta. Devido aos vapores de água e os dióxidos de carbono (CO₂) parte da radiação, na região do infravermelho é absorvida, e a camada de ozônio impede praticamente toda a radiação ultravioleta, resultando em pouca radiação abaixo de 300nm que consegue alcançar à superfície da Terra. A radiação solar chega à superfície terrestre aproximadamente com as seguintes proporções: ultravioleta de 1 a 5%, visível de 41 a 45% e infravermelho de 52 a 60%.

Os limites da região ultravioleta são geralmente considerados como sendo 100 e 400nm. Esta região é subdividida ainda em três partes:

- Ultravioleta A (próximo) - de 315 a 400nm;
- Ultravioleta B - de 280 a 315nm;
- Ultravioleta C - de 100 a 280nm.

O espectro visível compreende uma faixa espectral bem definida, que varia de 380nm a 780nm, causando a sensação de visão e cor no olho humano.

Os limites da faixa espectral relativa ao infravermelho não são bem definidos, mas são comumente considerados entre 780nm e 1mm. Esta região encontra-se dividida em três faixas:

- Infravermelho de ondas curtas (próximo) - de 780 a 1400nm;
- Infravermelho de ondas médias - de 1400 a 3000nm;
- Infravermelho de ondas longas - de 3000nm a 1mm.

O infravermelho de ondas curtas, assim como o de ondas médias e longas, é invisível ao olho humano, mas é sentido como calor. Atravessa o vácuo e o ar limpo sem perda sensível de energia.

A estas regiões do espectro (ultravioleta, visível e infravermelho) estão associados efeitos físicos e biológicos distintos (CARAM, 1996).

• Ultravioleta: a presença do ultravioleta em edificações não pode ser desprezada, pois apesar de atingir à superfície terrestre em pequena proporção, é muito energética, podendo causar diversos efeitos como:

- Desbotar ou descolorir objetos em geral. A região do ultravioleta responsável pelo desbotamento da matéria situa-se entre 300 e 400nm. Comprimentos de onda inferiores a este limite provocam também este efeito, mas quase não chegam à superfície terrestre. A luz solar, na verdade, pode produzir desbotamento até na região do visível em 600nm, mas com reduzida intensidade, pois a região crítica situa-se mesmo nos limites citados acima. (CARAM, 1998);
- Melhorar a síntese de vitamina D através da pele, atuando na cura e prevenção do raquitismo, que dificulta a calcificação dos ossos. De acordo com Koller (1952) a eficiência antiraquítica da radiação também é função do comprimento de onda, e tem seus melhores resultados em 280nm, sendo seu limite superior 313nm;
- Possuir efeito bactericida. A eficiência do efeito bactericida e germicida da radiação eletromagnética situa-se entre 180 e 320nm; esta região espectral é capaz de matar muitas espécies de bactérias, fungos, mofos e germes. A região de maior efetividade situa-se entre 200 e 300nm;
- Produzir a formação de eritemas e ser cancerígena. A eficiência espectral destes processos concentra-se entre 280 e 320nm, acusando um ápice em aproximadamente 300nm.
- Causar a pigmentação da pele ou bronzeamento. Este é um processo gradual e lento, diferente do eritema e da queimadura, ocorrendo em regiões espectrais cujos comprimentos de onda estejam preponderantemente situados no intervalo entre 320 e 400nm.

• Visível: está associada à intensidade de luz branca transmitida, influenciando diretamente no grau de iluminação de um ambiente.

• Infravermelho-próximo: fonte de calor; interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor.

Portanto, observa-se que o estudo da transmissão espectral dos policarbonatos, analisando separadamente cada região (ultravioleta, visível e infravermelho) possui papel importante no tocante ao desempenho térmico e luminoso da edificação. O estudo da transmissão espectral dos policarbonatos em chapas compactas foi iniciado por Labaki et al (1997), e em chapa alveolar por Sardeiro (2007).

Pelo fato de se encontrar tão difundido na construção civil nos dias de hoje, é necessário à obtenção e divulgação destes dados, pois visa auxiliar na escolha do material. Os estudos realizados até o momento constam apenas de dados de transmissão espectral para chapas de policarbonato compacto.

2. OBJETIVO

Identificar o comportamento dos policarbonatos em chapa compacta e alveolar frente à incidência da radiação solar.

3. MÉTODO

Foram realizadas medições espectrofotométricas em laboratório com policarbonatos em chapas compactas e alveolares, com o intuito de verificar a porcentagem de radiação na região do ultravioleta, visível e infravermelho que é transmitida pelo mesmo.

3.1. Policarbonatos selecionados

O policarbonato alveolar foi selecionado devido à inexistência de dados de transmissão espectral com este material, porém em 1997 Labaki et. al já iniciaram pesquisas com este material.

Os policarbonatos analisados são da marca Lexan Thermoclear, da empresa americana GE, onde a distribuidora no Brasil é a Day Brasil. Os policarbonatos alveolares selecionados foram:

- Lexan Thermoclear Verde (espessura de 10mm);
- Alveolar Solar Ice (espessura de 6mm), é um policarbonato translúcido;
- Lexan Thermoclear Azul (espessura de 4mm);
- Lexan Thermoclear Incolor (espessura de 4mm);
- Lexan Thermoclear Fumê Claro ou Bronze (espessura de 4mm);
- Lexan Thermoclear Cinza (espessura de 6mm), é um fumê mais escuro.

Seria mais interessante que as amostras fossem todas da mesma espessura, já que a análise também é comparativa, mas não foi possível, devido à fabricação ser de espessuras diferentes.

Os policarbonatos em chapa compacta possuem as seguintes colorações: verde, bronze, cinza, incolor e azul, todos com espessura de 4mm..

3.2 Corte das amostras

As amostras de policarbonato já foram enviadas cortadas em formato retangular com dimensões de 14 X 7cm. As amostras antes de serem ensaiadas eram previamente limpas com solução de água e álcool e depois secas em pano limpo, era fixada uma etiqueta com um número no canto superior para especificá-las.

3.3. Parâmetros adotados nos ensaios

Os parâmetros adotados para a execução das medições foram subsidiados pelas pesquisas de Caram (1998), foram realizadas pequenas alterações e acréscimos em virtude de se obter resultados que conviesse ao objetivo da pesquisa.

- Intervalo do espectro medido: 2000 a 300nm;
- Número de medidas por comprimento de onda: 1;
- Troca do detector: 780nm, passando de infravermelho para visível e ultravioleta;
- Utilização da lâmpada de tungstênio para todo o espectro;
- Número de medidas dentro do espectro: 1701 medidas (de 1 em 1nm);
- Amostras ensaiadas a 0° com a normal (feixe perpendicular à amostra).

3.4. Equipamentos

As medidas de transmissão de radiação pelos policarbonatos selecionados foram efetuadas por meio do espectrofotômetro modelo CARY 5G, marca Varian, disponível no Instituto de Química da USP, Campus de São Carlos, em São Paulo. O equipamento registra automaticamente a porcentagem de energia transmitida pela amostra que é obtida pela relação entre a intensidade de luz que passou pela amostra (I_a) e a intensidade de luz no feixe de referência (I_o). (Equação 1)

$$T (\%) = (I_a / I_o) * 100 \quad (1)$$

3.5. Ensaios

O ensaio iniciava-se com o espectrofotômetro ajustado para 100% de transmissão, para efeito de calibração, era determinada uma linha de base, com o objetivo de excluir das medidas qualquer erro possível proveniente do conjunto do equipamento, em seguida o equipamento era aberto para a colocação da amostra. Fechava-se o equipamento e iniciava-se a varredura, iniciando em 2000nm e encerrando em 300nm. Na medida em que ocorria esta varredura, eram registrados na tela do aparelho, os valores obtidos em um gráfico, relacionando comprimento de onda (abscissa) com porcentagem de transmissão (ordenada), e simultaneamente, era gerada uma tabela de dados. Para a realização dos gráficos a partir desta tabela, utilizou-se o programa computacional ORIGIN 5.0.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Policarbonato em chapa compacta

A transmissão de ultravioleta nos policarbonatos é baixíssima, tendendo a zero, pois nominalmente os valores são de 0,01% a 0,03%. Na região do visível, de maneira geral, apresentam alta transmissão. Uma maior transparência é encontrada nos policarbonatos incolor, verde e azul, com transmissão entre 65% e 67%. O policarbonato bronze apresenta uma transmissão inferior, de 54% e o cinza de 46%. Na região do infravermelho, os policarbonatos que mais transmitem são o incolor com 85%, o azul com 84% e o verde com 81%. O bronze e o cinza apresentam transmissões inferiores aos demais, de 66% e 56%, respectivamente.

4.2. Policarbonato em chapa alveolar

A transmissão espectral neste tipo de policarbonato é inferior a do policarbonato de chapa compacta. Apenas no policarbonato alveolar transparente é que a transmissão atinge 65% no infravermelho. O policarbonato alveolar translúcido não alcança 6% de transmissão no visível, porém no infravermelho, atinge 35%.

Em grande parte da região do ultravioleta todos os policarbonatos analisados apresentam comportamento semelhante a um material opaco, a transmissão nestes materiais só se inicia em comprimentos de ondas próximos de 360nm, vale lembrar que esta região ainda é ultravioleta, fato que diferencia dos policarbonatos em chapa compacta, pois este último apresenta opacidade completa ao ultravioleta, ou seja, até 380nm. É importante salientar que comprimentos de onda de 360nm a 380nm, são responsáveis pela pigmentação da pele, e que pode causar eritema e queimaduras e ainda o desbotamento e descoloração dos materiais.

A partir de 360nm o policarbonato alveolar incolor já começa a transmitir (Figura 2), caso que não acontece com o policarbonato incolor em chapa compacta (Figura 3), pois Caram (1998) afirma que este possui opacidade a este comprimento de onda, contudo, tratando-se da atenuação do ultravioleta no ambiente pode-se especificar em uma seqüência dos seguintes materiais como sendo do mais eficaz para o menos eficaz: policarbonato incolor de chapa compacta, vidro laminado incolor e policarbonato incolor alveolar.

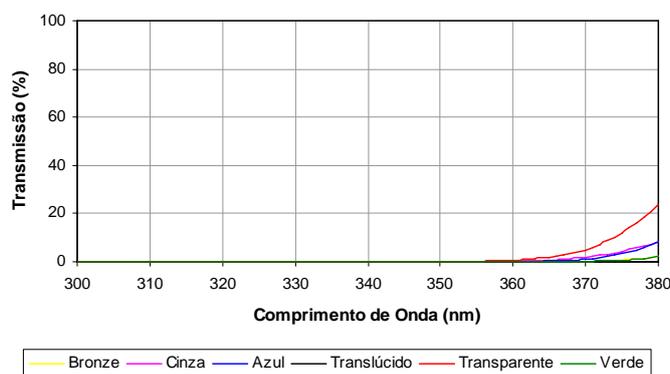


Figura 2 – Transmissão na região do ultravioleta dos Policarbonatos Alveolares

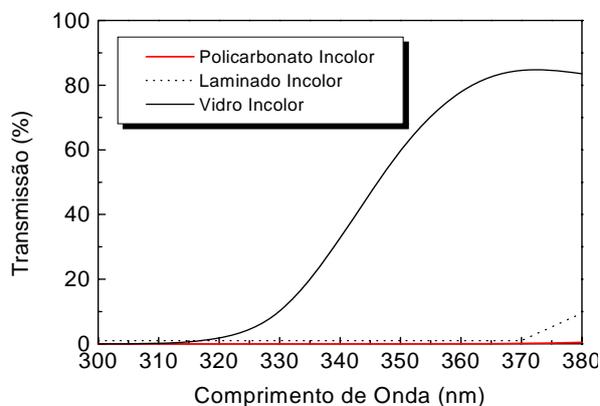


Figura 3 – Transmissão na região do ultravioleta dos Policarbonatos em chapa compacta
Fonte: Caram, 1998

A transmissão do visível nos policarbonatos alveolares é variável em função da cor, e o Policarbonato Alveolar Translúcido permite a passagem do visível em porcentagens irrisórias de 5%. A transmissão na região do visível só alcança 60% em apenas um tipo, o Policarbonato Alveolar Incolor.

Percebe-se também que ocorre uma absorção da radiação entre 1600nm e 1700nm em todas as amostras ensaiadas, por meio da Figura 4 pode-se perceber, uma curva acentuada, representando uma queda na transmissão. Este fato também foi constatado nas chapas de policarbonato compactas, afirma Caram (1998), que descobriu que esta relação acontece devido à presença do anel benzeno na cadeia polimérica.

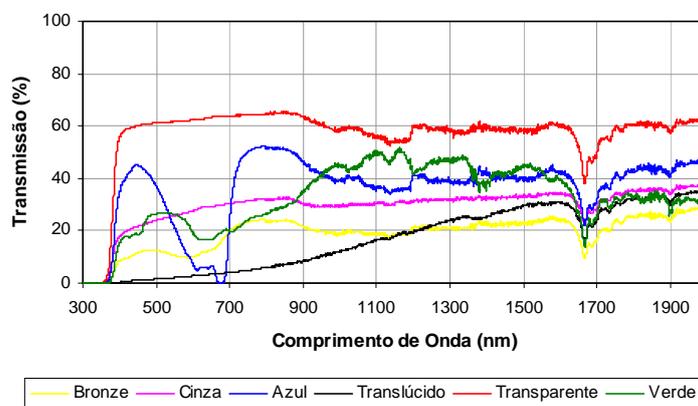


Figura 4 – Transmissão espectral para Policarbonatos Alveolares.

Nos policarbonatos alveolares coloridos a transmissão espectral é baixa, uma maior transparência é encontrada no policarbonato alveolar azul (Figura 4), próximo de 52% no visível, e no policarbonato alveolar verde (Figura 4) 50% no infravermelho próximo, nos demais a transmissão não alcança 30% em todo o espectro. Já o policarbonato azul em chapa compacta a transmissão do visível é de 69%, e no verde 67%, porém a maior transmissão, neste último, ocorre no infravermelho próximo, de 81%. Portanto, quando comparado o policarbonato verde ou azul em chapa compacta e alveolar, em termos de diminuir os ganhos térmicos na edificação, a melhor opção seria os policarbonatos alveolares.

Nos policarbonatos alveolares Fumê claro (Figura 4), ou Bronze e Cinza (Figura 4), ou Fumê escuro a transmissão é muito baixa, no primeiro a transmissão alcança os 30% no visível e se comporta como uma linha quase constante, não variando este valor por todo o espectro, já no policarbonato alveolar Cinza esta transmissão ainda é menor, em torno de 25% e também não variando muito este valor para todo o espectro.

Quando são comparadas a transmissão dos policarbonatos Bronze e Cinza em chapa compacta e alveolar, percebe-se a grande influência das duas lâminas de policarbonatos com a camada de ar interna, enquanto o policarbonato Bronze em chapa compacta transmite 49% no visível e 66% no infravermelho, o policarbonato em chapa alveolar não alcança 38% em todo o espectro. Portanto, resultando em uma redução significativa, principalmente em relação à transmissão do infravermelho.

O policarbonato alveolar Cinza também apresenta esta diferença significativa de transmissão quando comparado com o policarbonato Cinza em chapa compacta, o primeiro transmite o valor máximo de 24% na região do visível e 28% no infravermelho, já o policarbonato Cinza em chapa compacta transmite 28% no visível e 56% no infravermelho. Portanto, em termos de um melhor desempenho térmico na edificação, a melhor especificação seriam as chapas alveolares, porém tendo cuidado com o nível de iluminância no ambiente interno, pois as chapas alveolares apresentam baixa transmissão para o infravermelho, mas também para o visível.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados expostos, conclui-se que o policarbonato alveolar é indicado para locais em que não se deseja a transmissão do ultravioleta, pois sua transmissão é muito baixa, só começa a transmitir a partir de 360nm; comparando ao policarbonato de chapa compacta, a chapa alveolar é mais indicada quando deseja-se atenuar a transmissão do visível e infravermelho. É fundamental na hora da especificação do material consultar suas características espectrais.

Um obstáculo na escolha do policarbonato é com relação aos custos, varia de acordo com a espessura e o tipo. O policarbonato em chapa compacta incolor de 4mm de espessura chega a ser 3 vezes mais caro do que em chapa alveolar.

A grande vantagem do uso do policarbonato em termos óticos é a sua opacidade ao ultravioleta, porém sua grande desvantagem é o pequeno período de tempo em que o material mantém transparente, os fabricantes garantem apenas de 5 a 7 anos.

A condutividade térmica do policarbonato é de $0,21 \text{ W/m}^2$, enquanto que o do vidro é de $1,16 \text{ W/m}^2$, isso significa que a transmissão de calor por condução com o policarbonato é menor. Porém, o ganho de calor em um ambiente não deve ser analisado apenas em função desta característica, tal característica possui significativa importância quando se pretende o isolamento térmico em ambientes calafetados, onde o ar encontra-se aquecido e não se deseja a perda de calor para o exterior, nesta situação, a melhor especificação, é o policarbonato.

6. REFERÊNCIAS

- CARAM, R. M. – “Vidros e o conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil.” Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 1996, 131p.
- CARAM, R. M. – Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações”. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, 1998, 165p.
- CHAVES, A. L. – “Os polímeros utilizados na construção civil e seus subsídios”. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 1998.
- GE Plastics – Manual técnico para envidraçamento. Lexan, São Paulo, s/d.
- JOHN, V. B. – “Introduction to engineering materials”. Hong Kong: The macmillan press Ltd., 1994.
- KOLLER, L. R. – “Ultraviolet Radiation”. London: John Wiley & Sons, 1952.
- LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. “Avaliação de policarbonatos como protetor solar em edificações (estudo comparativo com vidros planos comuns e laminados)”. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Salvador-Ba. Anais IV ENCAC/ I ELACAC, 1997.
- SARDEIRO, P. S. – “Parâmetros definidores na 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, São Paulo, Brasil, 2007, 192p.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CEBRACE e ao Instituto de Química da USP, em especial ao Técnico Mauro.