



**ENTAC2006**

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VIDROS REFLETIVOS ATRAVÉS DE MEDIÇÕES EM ESPECTROFOTÔMETRO**

**Rubia Michelato (1); João Furtado de Medeiros (2);  
Adriana Petito de Almeida Silva Castro (3)**

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: rubiamich@bol.com.br

(2) Departamento de Engenharia Agrônômica – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil – e-mail: jfurtadomedeiros@yahoo.com.br

(3) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil – e-mail: dripasc@uol.com.br

### **RESUMO**

A especificação das vedações transparentes é uma das decisões mais importantes dentro do projeto, já que envolve questões arquitetônicas e de conforto do usuário. Uma das funções do projeto arquitetônico é controlar as condições ambientais internas, funcionando a envoltória da edificação como um filtro. Quando os vidros são utilizados sem critério, podem acarretar um acúmulo de calor no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para os usuários. Os vidros refletivos foram desenvolvidos para proporcionar maior conforto e economia ao usuário, já que controlam a entrada de luz e calor no ambiente. O presente trabalho busca a obtenção das características óticas dos vidros refletivos mais utilizados na arquitetura, através da análise por espectrometria para o estudo da reflexão e da transmissão a diferentes comprimentos de onda. Os resultados são apresentados em gráficos comparativos dos vidros analisados, permitindo assim avaliar o desempenho dos mesmos. Dessa forma é possível fazer uma análise das condições térmicas proporcionadas pelos vidros refletivos, verificando se as opções incorporadas recentemente pela arquitetura realmente resultam em uma melhor eficiência energética.

Palavras-chave: vidros; ganho de calor; conforto térmico.

### **ABSTRACT**

The specification of glassed surfaces is one of the most important decisions in a project, because it involves architectural and comfort questions. One of the functions of an architectural project is to control the environment internal conditions, making the cover of the building works like a filter. When the glasses are used incorrectly, they can cause an increase of heat in the interior of the buildings, bringing discomfort to the users. The reflective glasses were developed to give more comfort and economy to the user, because they control the entrance of light and heat in the environment. The present work seeks to obtain the optical characteristics of the reflective glasses most used in architecture, through the spectrum analysis for the study of the reflection and the transmission in different lengths of wave. The results are presented in comparative graphics of the analyzed glasses, allowing the evaluation of their performance. This way, it is possible to have an analysis of the thermal conditions offered by these reflective glasses, checking if the options recently incorporated by architecture really result in a better energetically efficiency.

Keywords: glasses; gain of heat; thermal comfort.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Vidros e o conforto ambiental

A forma arquitetônica influencia diretamente no conforto ambiental de uma edificação e no seu consumo de energia, já que interfere nos fluxos de ar e na quantidade de luz e calor solar recebidos pelo edifício. Desta forma, a arquitetura representa uma chave importante na questão do conforto térmico, já que as condições ambientais internas dependem do desempenho do edifício.

De acordo com Olgyay (1998), a pele de um edifício atua como filtro entre as condições internas e externas para controlar a entrada do ar, do calor, do frio, da luz, dos ruídos e dos cheiros. Por isso os materiais que constituem a pele das edificações têm um papel decisivo na utilização e no controle dos raios solares.

Através da análise da evolução tecnológica das janelas, nota-se uma busca por áreas de vidro cada vez maiores (MASCARÓ, 1991). Esta questão pode ser vista claramente na arquitetura do começo do século XX, na qual os edifícios de vidro tornaram-se protótipos de centros administrativos, sem levar em consideração questões sociais, tecnológicas ou econômicas, chegando a uma homogeneização.

A partir da década de 50, com o final da Segunda Guerra Mundial, começaram a ser utilizadas intensamente as fachadas envidraçadas na arquitetura, ocorrendo assim a difusão do conceito de “pele-de-vidro”. Este uso intensivo do vidro nas fachadas foi possível graças ao desenvolvimento da indústria do vidro e de outras tecnologias. Dessa forma, as cidades começaram a se caracterizar pelos grandes panos de vidro, que passaram a ser utilizados sem levar em consideração o local onde estavam sendo inseridos. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), foi criada a idéia do espaço aberto sem limites através do uso dos panos de vidro, alcançando assim a transparência total.

Devido à grande flexibilidade e liberdade de formas, a “pele-de-vidro” tem sido muito utilizada nos edifícios contemporâneos. Porém, muitas vezes, apenas o aspecto estético vem sendo buscado quando se adota este tipo de vedação, sendo que outras questões de muita importância, como a iluminação natural, aparecem como preocupação secundária dos projetistas. É importante que a arquitetura contemporânea incorpore as novas tecnologias, articulando-as com os dispositivos e mecanismos, para conseguir construir edifícios energeticamente mais econômicos.

Um fato importante a ser lembrado é que para um bom desempenho energético de um edifício, não basta apenas utilizar novas tecnologias, é necessário também um bom projeto arquitetônico, que considere a orientação do edifício e o local onde está sendo inserido.

Segundo Harkness (1978), do ponto de vista do conforto ambiental, as superfícies transparentes da fachada devem permitir a passagem da luz, proteger do calor e do frio, além de ser um elemento estético. Por isso, a quantidade dessas superfícies envidraçadas ou a localização das mesmas são decisivas no controle térmico, luminoso e acústico de um edifício.

A radiação solar é considerada o principal fator na definição do clima e um dos mais importantes na definição de um projeto arquitetônico, já que influencia na orientação das fachadas, no tamanho das aberturas e nos tipos de vidro (SANTOS, 2002). Segundo ASSIS (1998), a radiação solar, quando bem aproveitada, pode ser muito benéfica, como também pode ser indesejável em determinadas condições.

Do total da radiação que incide sobre uma superfície transparente, uma parte é refletida, não tendo efeito térmico no material; outra parte é absorvida na espessura, sendo depois dissipada para o outro lado por convecção; e a terceira é transmitida. A quantidade em que isso ocorre depende das características do vidro em questão e do ângulo de incidência da radiação. As características espectrofotométricas de transmissão, reflexão e absorção fazem com que os vidros atuem de forma seletiva na radiação solar incidente. O desempenho fotoenergético do vidro é definido através da combinação entre as quantidades de radiação transmitida, refletida e absorvida.

A parte absorvida é transformada em calor, e é proporcional a um coeficiente denominado absorptância ( $\alpha$ ) ou coeficiente de absorção. A parcela refletida é determinada pela refletância ( $\rho$ ) ou coeficiente de reflexão. A passagem da radiação de determinados comprimentos de ondas é caracterizada pelo seu coeficiente de transmissão ou transparência ( $\tau$ ) (RORIZ, 2001).

A radiação transmitida pelo vidro para o interior do ambiente é absorvida e/ou refletida pelos objetos existentes. Essa energia aquece os objetos e é reemitida ao meio na forma de infravermelho longo. Isso acaba provocando o “efeito estufa”, já que o vidro permite a entrada da radiação solar de onda curta, mas não deixa sair as radiações de onda longa emitidas pelas superfícies internas, causando o aquecimento do ambiente (RORIZ, 2001).

## 1.2 Vidros refletivos

Antes da crise e do embargo do petróleo em 1974, a energia era barata e disponível em grande quantidade, e por isso não havia muitos incentivos para o seu uso racional. Com a crise energética, os edifícios de vidro eclodiram como um grande problema no que se refere à questão do uso racional da energia. A indústria vidreira, com o objetivo de minimizar os problemas de superaquecimento e ofuscamento dos edifícios, lançou no mercado, dentre outras propostas, os vidros refletivos.

Os vidros refletivos foram desenvolvidos para proporcionarem maior conforto e economia ao usuário através do controle da entrada de calor no ambiente. São denominados também de vidros termo-refletivos ou termo-refletores.

Os vidros refletivos são produzidos através do vidro *float* incolor ou colorido e são caracterizados pela deposição de uma camada metálica em uma de suas faces. A camada óxida acentua o grau de reflexão em uma das faces do vidro, fazendo com que a visão do lado mais iluminado em direção ao menos iluminado seja diretamente proporcional à quantidade de luz incidente. Desse modo, durante o dia, a visão da parte interna para a externa é maior, e da parte externa para a interna é menor, ocorrendo o chamado “efeito espelho”.

É recomendável que os vidros refletivos sejam usados na forma laminada, com a face metalizada voltada para o ambiente interno. Desta forma, a camada metalizada fica protegida na união dos vidros em contato com a película plástica da laminação.

Existem dois tipos de vidros refletivos, os pirolíticos e os metalizados a vácuo, que se diferem pelo processo de fabricação. Os dois processos de fabricação são:

### 1.2.1 Processo pirolítico

O processo pirolítico consiste na deposição de óxidos metálicos diretamente sobre o vidro em alta temperatura durante a linha de produção. A deposição da camada refletiva durante a fabricação do vidro *float* garante durabilidade e homogeneidade da camada refletida. Este tratamento é interessante para fabricação de um tipo de vidro durante longo período, já que ocorrem grandes perdas com a mudança da linha de produção.

Os vidros refletivos pirolíticos possuem grande estabilidade da camada óxida e resistência ao desgaste, podendo esta ser usada voltada para o exterior. Neste método, o desempenho do vidro como filtro solar é menor.

Devido à resistência à abrasão, o vidro refletivo pirolítico pode ser temperado, curvado, laminado ou utilizado na forma monolítica.

Os vidros refletivos pirolíticos foram desenvolvidos no hemisfério norte com o intuito de melhorar o conforto nos locais com clima predominantemente frio. Com a fabricação destes vidros buscava-se alta transmissão de luz visível, resistência química e mecânica da camada refletiva, reflexão do

infravermelho longo (próximo de 85%) para evitar perdas de calor interno, e transmissão do infravermelho próximo para permitir o aquecimento no inverno (ARNAUD, 1997).

O desenvolvimento destes vidros em países de clima frio justifica-se pelo fato da camada refletiva colocada para o interior diminuir as perdas através da radiação no infravermelho longo. Por outro lado, vidros com boa transmissão no infravermelho próximo não estão de acordo com climas quentes, mostrando que vidros desenvolvidos para um determinado tipo de clima nem sempre são apropriados para os demais climas (SANTOS, 2002).

O vidro *refletctafloat* é produzido pelo processo pirolítico e apresenta bom controle solar, boa transmissão luminosa, ótima resistência a abrasão e grande versatilidade na sua aplicação.

### *1.2.2 Processo por metalização a vácuo*

Já no processo por metalização a vácuo, a produção do vidro consiste na pulverização catódica de íons metálicos sobre a superfície em uma câmara de vácuo, em temperatura ambiente através do processo denominado Sputtering Coating. Estes vidros proporcionam melhor controle solar, porém com camada refletiva mais superficial.

Segundo Cledwin-Davies (1993), as chapas de vidro movem-se sobre cilindros em uma câmara a vácuo, parcialmente ocupada com um gás (argônio, oxigênio ou nitrogênio), depois são posicionadas sob uma placa e recebem uma deposição de átomos de metal. Elétrons de alta energia são produzidos entre a placa e o vidro através de uma alta voltagem. Assim, são formados íons de carga positiva no gás que colidem com a placa do metal, lançando átomos do mesmo, que são projetados e condensados na superfície do vidro formando a camada metálica.

Segundo Arnaud (1997), os vidros refletivos metalizados a vácuo possuem reflexão do infravermelho longo perto de 95%, ótima transmissão da luz visível e baixa transmissão de infravermelho próximo. Esta última representa uma excelente qualidade para o clima brasileiro.

Pelo fato da deposição dos óxidos metálicos ser feita fora da linha de produção, estes vidros são mais flexíveis que os pirolíticos, sendo possível a utilização para períodos curtos de produção de pequenas quantidades de vidro.

Em relação aos vidros pirolíticos, os vidros refletivos metalizados a vácuo apresentam melhor desempenho no controle solar e maior variedade de cores. São obtidos diferentes níveis de transparência e diferentes cores em reflexão. As cores existentes são prata, verde, bronze, cinza, azul e dourado.

Os vidros refletivos metalizados a vácuo produzidos nos EUA possuem camada refletiva muito resistente, porém esses mesmos vidros produzidos no Brasil têm a camada com maior tendência a ataques químicos e desgastes mecânicos. Por causa disso, a camada refletiva destes vidros deve ser utilizada voltada para o interior. Por ser um vidro mais sensível às agressões externas, os fabricantes geralmente aplicam uma camada de silicone na face metalizada do vidro, permitindo que seja temperado ou curvado.

Além do controle de calor, os vidros refletivos também controlam a entrada de luz nos ambientes. De modo geral, é importante existir incidência de luz natural suficientemente alta para garantir iluminação confortável no ambiente interno, porém sem excessos. Se a quantidade de luz direta transmitida for reduzida, haverá escurecimento do ambiente interno com efeitos negativos para a visão, ocorrendo também o aumento do uso da iluminação artificial.

No que se refere à luminosidade, tanto os vidros refletivos pirolíticos como os metalizados a vácuo apresentam uma baixa taxa de transmissão luminosa, praticamente impedindo a passagem da luz natural. Assim, eles causam escurecimento dos ambientes internos às fachadas, fazendo com que o uso

da luz artificial seja necessário, além de refletirem a radiação direta para o entorno do edifício. Desta forma, pode-se observar que o bloqueio de calor destes vidros também implica no bloqueio da luz visível, mostrando que algumas das funções dos vidros são antagônicas entre si.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar as características óticas dos vidros refletivos através de medições no espectrofotômetro, avaliando as taxas de transmissão, absorção e reflexão para as regiões do visível e do infravermelho.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Materiais

Os vidros ensaiados nesta pesquisa foram doados pela CEBRACE e compreendem:

Vidro comum incolor (4mm);

Vidro refletivo pirolítico (antélio) verde esmeralda (6mm);

Vidro refletivo metalizado a vácuo azul médio – CEB 130AZ – (4mm);

Vidro *reflectafloat* (4mm).

### 3.2 Metodologia

As análises óticas dos vidros foram realizadas em espectrofotômetro, o qual consiste de uma fonte de luz, monocromadores, células de referência e detectores. Foi utilizado o espectrofotômetro Cary 5G para realizar os ensaios de transmissão e absorção dos vidros.



**Figura 1 – Espectrofotômetro Cary 5G**

A análise da transmissão baseia-se na comparação entre a intensidade do feixe transmitido através do sistema de referência e a intensidade transmitida através da amostra ensaiada. A partir da fonte, o feixe de radiação é dividido em dois feixes idênticos por meio de uma fenda ótica, sendo que um feixe incide diretamente sobre a amostra e outro é transmitido para um sistema de referência.

A radiação transmitida incide em um detector, e sua intensidade é comparada com a intensidade da fonte através do sistema de referência. O detector pode ser de dois tipos: o primeiro consiste em um

fototubo que realiza medidas no ultravioleta e visível; e o segundo, que é usado para medir a região do infravermelho, é constituído por elemento resistivo à base de sulfeto de chumbo.

As amostras foram ensaiadas dentro do intervalo correspondente ao espectro solar, ou seja, de 300 a 2500nm. Dentro deste intervalo, foi feita uma outra subdivisão, caracterizando as regiões da luz visível (380 a 780 nm) e a do infravermelho (780 a 2500 nm).

Os vidros refletivos tiveram suas faces não metalizadas voltadas para o feixe de luz do espectrofotômetro, simulando uma situação real, já que na prática estes vidros são usados com as faces refletivas voltadas para dentro do ambiente.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Resultados

Os resultados referem-se aos ensaios realizados no espectrofotômetro para os vidros. Os resultados são apresentados em gráficos que ilustram a porcentagem da transmissão e absorção em função do comprimento de onda, que varia de 300 a 2500nm. Os valores de transmissão e absorção foram ensaiados em laboratório, e os de reflexão foram obtidos através da equação  $R + T + A = 100\%$ .

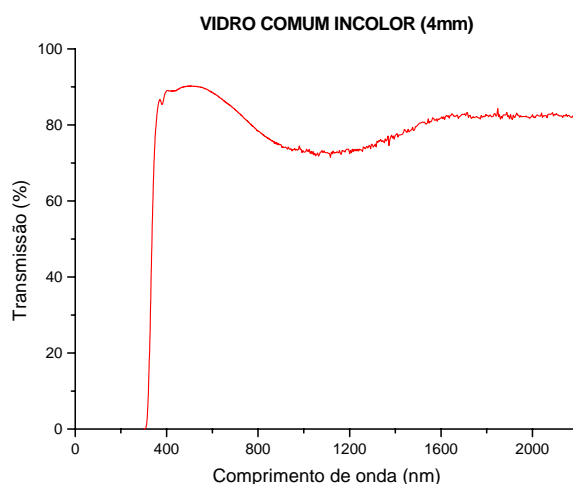


Gráfico 1 – Curva de transmissão espectral para o vidro comum incolor (4mm)

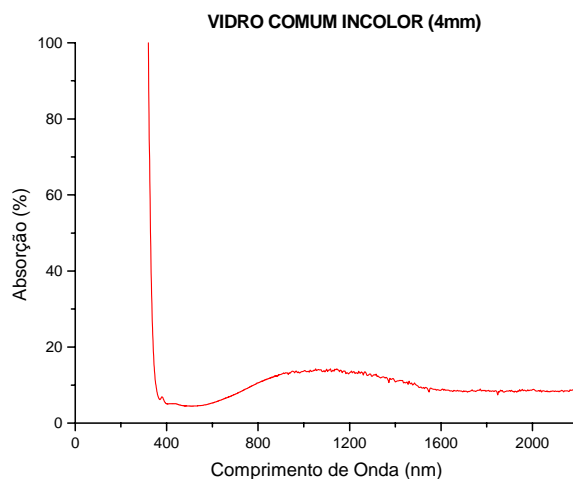
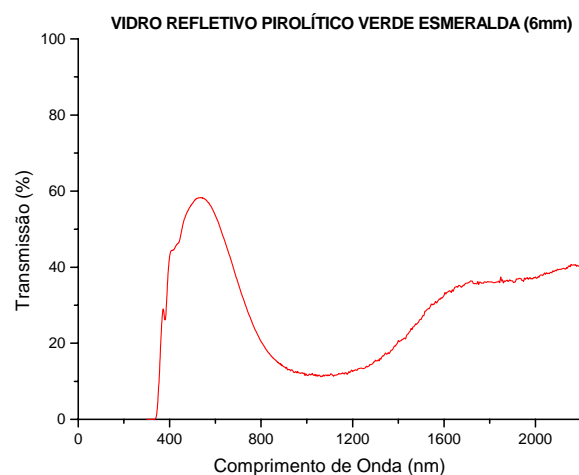
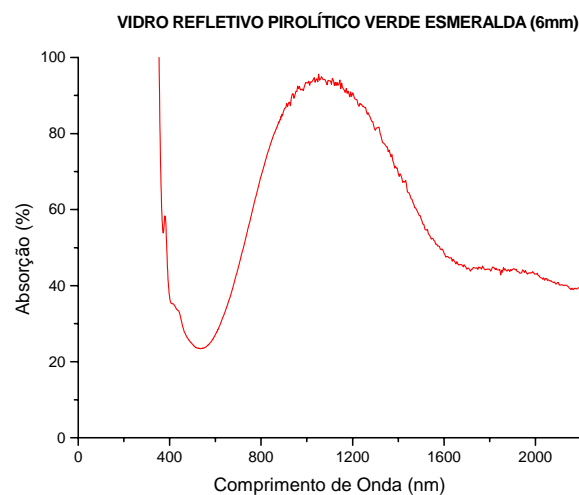


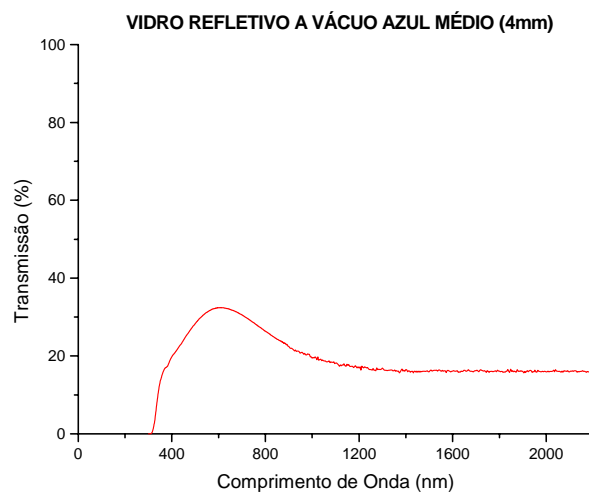
Gráfico 2 – Curva de absorção espectral para o vidro comum incolor (4mm)



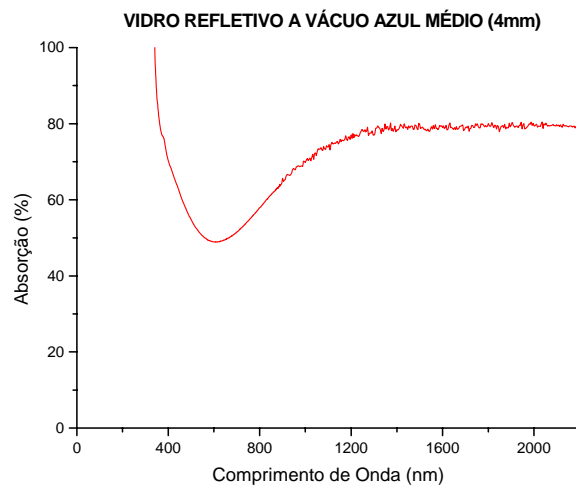
**Gráfico 3 – Curva de transmissão espectral para o vidro refletivo pirolítico verde esmeralda (6mm)**



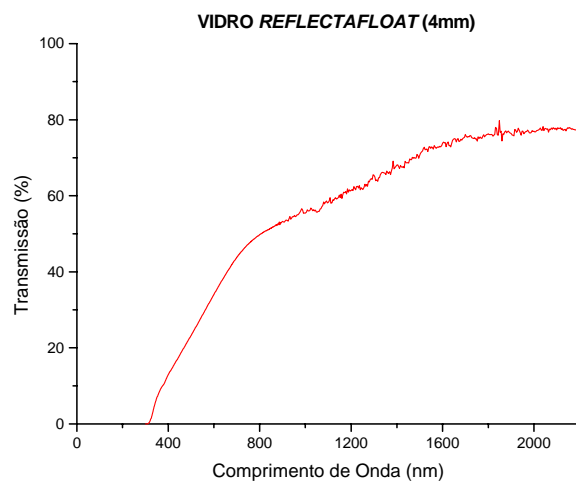
**Gráfico 4 – Curva de absorção espectral para o vidro refletivo pirolítico verde esmeralda (6mm)**



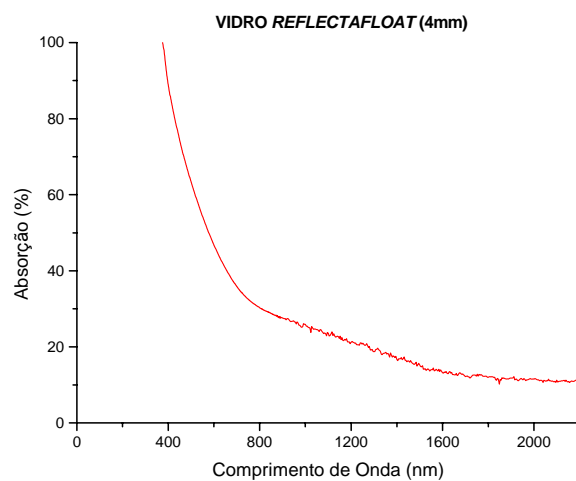
**Gráfico 5 – Curva de transmissão espectral para o vidro refletivo metalizado a vácuo azul médio (4mm)**



**Gráfico 6 – Curva de absorção espectral para o vidro refletivo metalizado a vácuo azul médio (4mm)**



**Gráfico 7 – Curva de transmissão espectral para o vidro *reflectafloat* (4mm)**



**Gráfico 8 – Curva de absorção espectral para o vidro *reflectafloat* (4mm)**



**Tabela 1 – Valores de transmitância, absortância e refletância**

VIDROS	TRANSMITÂNCIA (%)			ABSORTÂNCIA (%)			REFLETÂNCIA (%)		
	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL
<b>Comum incolor (4mm)</b>	<b>87</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
<b>Refletivo pirolítico verde esmeralda (6mm)</b>	<b>45</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>64</b>	<b>58</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>12</b>
<b>Refletivo metalizado a vácuo azul médio (4mm)</b>	<b>28</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>55</b>	<b>76</b>	<b>71</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>10</b>
<b><i>Reflectafloat</i> (4mm)</b>	<b>31</b>	<b>68</b>	<b>60</b>	<b>54</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

## 4.2 Discussão

Pode-se observar pelos gráficos e tabela que, para o vidro comum incolor, a transmitância maior ocorre na região do visível.

A refletância dos vidros refletivos é semelhante à refletância do vidro comum incolor. Isto mostra que, ao contrário do nome comercial, estes vidros são na verdade muito absorventes.

O vidro refletivo pirolítico verde esmeralda apresentou uma menor transmitância (30%) em relação ao vidro comum incolor, porém uma elevada absortância (58%). Isso se agrava já que parte da radiação absorvida pelo vidro será reirradiada para o interior, provocando assim o aquecimento do ambiente.

O vidro refletivo metalizado a vácuo azul médio apresentou uma baixa transmitância (19%), porém uma grande absortância (71%), ficando a refletância menor que a do vidro comum incolor. Ele também apresentou baixíssima transmitância na região do visível, o que mostra que a iluminação natural será prejudicada.

O vidro *reflectafloat* apresentou uma boa refletância, porém ainda uma grande transmitância (60%).

Através dos resultados dos ensaios espectrofotométricos, observa-se que tanto os vidros refletivos pirolíticos como os metalizados a vácuo não proporcionam a diminuição do consumo de energia que os fabricantes afirmam. Isto porque é necessário o uso de ar condicionado para evitar o superaquecimento e o uso de iluminação artificial, já que estes vidros comprometem a entrada da luz visível.

## 5 REFERÊNCIAS

ARNAUD, A. (1997). Industrial Production of Coated Glass: Future Trends for Expanding. **Journal of Non-Crystalline Solids**, n. 218, p.12-18.

ASSIS, R. M. C. de. (1998). **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

CLEDWYN-DAVIES, D. N. (1993). Float in Glass Architecture. **Glass Technology**, v.34, n.6, p.223-28.

HARKNESS, E. L. (1978). **Solar Radiation Control in Buildings**. U.K.: Applied Science Publishers Ltd.

MASCARÓ, L. R. de. (1991). **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. Projeto Editores Associados Ltda: São Paulo.

OLGYAY, V. (1998). **Arquitectura y Clima Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A.

RORIZ, M. (2002). **Higiene do Trabalho - Temperatura**. Apostila. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

SANTOS, J. C. P. (2002). **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VIANNA, N. S. e GONÇALVES, J. C. S. (2001). **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, Universidade do Grande ABC.

## **6 AGRDECIMENTOS**

Os autores gostariam de agradecer a empresa CEBRACE pelas amostras cedidas e o laboratório do Instituto de Química da Escola de Engenharia de São Carlos pela realização das medições no espectrofotômetro.