



DESEMPENHO TÉRMICO DE VIDROS: AVALIAÇÃO EM PROTÓTIPOS

**Rubia Michelato (1); Adriana Petito de Almeida Silva Castro (2);
Rosana Maria Caram de Assis (1); Lucila Chebel Labaki (2)**

(1) Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Arquitetura e Urbanismo,
Caixa Postal 359, CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo, Brasil, Fone: (16)3373-9311

e-mail: rubiamich@bol.com.br, rcaram@sc.usp.br

(2) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo,
Caixa Postal 6021, CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil, Fone: (19)3788-2384

e-mail: dripasc@aol.com, lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

As superfícies transparentes merecem atenção especial quando se trata do conforto térmico de edificações, pois são elementos vulneráveis a um alto ganho de calor, principalmente em locais de grande insolação, como é o caso do Brasil. Considerando seu desempenho como fachadas, devem atender, também, às necessidades de iluminação, as quais conjugadas com os requisitos para conforto térmico, garantem a eficiência energética da construção. O presente trabalho visa estudar o comportamento desses elementos (superfícies transparentes como fachadas) através de medições em protótipos. Os resultados são apresentados em gráficos comparativos dos vidros analisados, permitindo inferir o desempenho dos mesmos. Dessa forma é possível fazer uma avaliação do conforto ambiental, analisando esses vidros e estudando as soluções arquitetônicas empregadas em edifícios.

ABSTRACT

Glassed surfaces deserve special attention when dealing with building thermal comfort, because they are vulnerable to high heat in places of intense sunstroke, like Brazil. Considering their performance as façades, they must also fulfill the needs of lightening, which guarantee the energetic efficiency of the building, along with the requirement for thermal comfort. The present work aim is to study those elements behavior (glassed surfaces as façades) through prototype measurement. The results are presented in comparative graphics of the analyzed glasses, allowing inferring in their performance. In this way it's possible to evaluate the environmental comfort, analyzing those glasses and studying architectural solutions used in buildings.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores, como implantação, orientação, materiais e componentes construtivos. Para assegurar o conforto interno, o projetista deve considerar as condições climáticas do local, fazendo com que o ambiente construído atue como mecanismo de controle das variáveis desse clima, através de sua envoltória (paredes, piso, cobertura e aberturas) e do entorno (presença de massas de água, vegetação, edificações ao redor, tipo de solo, etc.).

Uma das funções dos fechamentos exteriores de uma edificação é controlar de forma adequada as interferências do meio externo, visando proporcionar um melhor condicionamento ambiental. A fachada de um edifício atua como um filtro entre as condições externas e internas para controlar a entrada do ar, do calor, do frio, da luz e dos ruídos. Do ponto de vista do conforto ambiental, a radiação solar relaciona-se diretamente ao conforto térmico e visual nas edificações, sendo a fachada, através de suas superfícies transparentes, a parte do envoltório que permite facilmente seu ingresso no ambiente interno. A radiação solar é uma das condições externas que pode ser muito benéfica, quando bem aproveitada, como também pode ser especialmente indesejável em determinadas condições. De acordo com Santos (2002), a radiação solar é um dos fatores mais importantes na determinação de um projeto arquitetônico, pois influencia decisões como a orientação de fachadas e aberturas e tipos de vidro.

A importância do estudo de um material que cada vez mais é utilizado como o envoltório de uma edificação é premente, principalmente em se tratando de edificações que são verdadeiras caixas de vidro. A partir da década de 50 ocorreu a difusão do conceito de “pele de vidro” através do estilo internacional proposto pelo Movimento Moderno. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), com o uso dos panos de vidro foi criada a idéia do espaço aberto sem limites, através da transparência total. O uso generalizado das fachadas envidraçadas tornou-se possível graças ao avanço da indústria do vidro e de outras tecnologias.

As áreas envidraçadas em fachadas ocupam um papel importante quando se trata de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Para Olgyay (1998), os materiais que constituem a pele da edificação têm um papel decisivo na utilização e no controle dos raios solares. Portanto, as necessidades de iluminação e contato visual com o exterior, às quais essas superfícies transparentes visam atender, devem ser conjugadas com os requisitos para conforto térmico, de modo que se tenha um melhor aproveitamento da energia solar incidente, resultando em eficiência energética.

Com relação à qualidade da radiação solar transmitida para o ambiente interno, sabe-se que, da radiação solar total incidente no vidro, uma parcela é absorvida, outra refletida e a restante, maior, transmitida diretamente ao ambiente interno. As proporções correspondentes às energias absorvida, refletida e transmitida variam de acordo com o comprimento da onda incidente, além de estarem também relacionadas com a espessura, o índice de refração do vidro e o ângulo de incidência da radiação incidente. Pode-se dizer, portanto, que cada tipo de vidro possui, para cada uma das faixas do espectro solar, diferentes transmitâncias. Caram de Assis (2002) obteve esses valores de transmissão para cada uma das três faixas do espectro solar, para diversos tipos de vidro. Dos pontos de vista de iluminação e temperatura, as principais diferenças entre os tipos de materiais transparentes estão em suas transmitâncias relativas distintas e taxas de comprimentos de onda transmitidos (GIVONI, 1976). Um vidro ideal seria, dentro do conceito de eficiência energética e de acordo com os efeitos físicos e biológicos relativos a cada faixa do espectro solar, aquele que tivesse uma alta transmissão da radiação visível e baixa transmissão do ultravioleta e infravermelho.

A crise energética trouxe à mídia um grande problema e os edifícios de vidro eclodiram como uma questão fundamental. Tentando solucionar os problemas de superaquecimento, o mercado atual oferece vários tipos de materiais transparentes em diversas cores, permitindo uma grande liberdade no projeto. Porém, o que se tem notado, é que a estética quase sempre norteia a escolha do material, não levando em consideração as características óticas dos materiais transparentes. Além disso, alguns materiais transparentes têm propriedade que podem representar uma opção em termos de controle da radiação solar, porém esse controle pode ter atenuação limitada, pois uma área transparente mal dimensionada ou posicionada de forma incorreta provocaria um calor excessivo no ambiente.

Os arquitetos e projetistas têm um grande número de opções de materiais transparentes no mercado. Porém, eles precisam escolher aqueles materiais mais adequados à realidade climática. Esse cuidado deve ser maior num país como o Brasil, já que a incidência solar proporciona aqui elevadas temperaturas médias durante todo o ano. O uso excessivo de paredes externas com grandes áreas transparentes, sem elementos adequados de proteção, pode implicar num significativo aumento no que se refere ao ganho de calor no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para usuários, ou em grande consumo energético.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho visa estudar o comportamento *in loco* de vidros comercialmente disponíveis no mercado com relação ao ganho de calor solar, através de medições em protótipos construídos na UNICAMP providos de janelas com esses materiais. Constatou-se a necessidade, de após identificar os valores de transmissão de diversos tipos de vidro, verificar experimentalmente os resultados da aplicação desses materiais em fachadas sujeitas à incidência de radiação solar. Dessa forma é possível fazer uma análise das condições térmicas proporcionadas pelos vidros, já que os resultados obtidos *in loco* nos protótipos estão em graus Celsius, possibilitando verificar se as opções incorporadas recentemente pela arquitetura realmente resultam em uma melhor eficiência energética.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para realizar a avaliação do comportamento térmico *in loco*, foram doados pela Blindex os vidros monolíticos incolor, bronze, verde, fumê, mini-boreal de espessura 4mm; o vidro laminado verde de 8mm (sendo os vidros incolores e a película verde); os vidros refletivos pirolíticos prata, bronze e esmeralda de 4mm; e os vidros refletivos metalizados a vácuo prata (CEB 114 - PR), azul intenso (CEB 114 - AI) e azul médio (CEB 130 - AZ) também de 4mm.

3.2 Métodos

Os protótipos monitorados constituem um total de seis e encontram-se no Canteiro Experimental da UNICAMP em Campinas, no interior do estado de São Paulo. A cidade de Campinas localiza-se de acordo com as seguintes coordenadas geográficas: 22°54'S de latitude, 47°3'O de longitude e 854m de altitude. Localiza-se sobre um terreno levemente ondulado, numa zona de planície. Devido a sua altitude, a cidade está sujeita à intensa ventilação e insolação. A umidade relativa do ar de outubro a março é de 77%, e de abril a setembro fica em torno de 65%. Apesar de existirem dados gerais para a cidade de Campinas, durante as medições é constantemente avaliado o microclima local, através do monitoramento das variáveis climáticas. Este monitoramento é fundamental para a determinação do desempenho dos vidros em relação à resposta ao microclima exterior.



Figura 1 - Vista geral dos protótipos

Quanto à materialidade, todos os protótipos foram construídos em condições idênticas. Eles foram construídos sobre uma base de radier de concreto desempenado (3,20 X 3,70m), e paredes de tijolos de barro maciço sem revestimento (1/2 tijolo / 10cm de espessura), assentados com argamassa comum de cimento e pintados na cor branca (interna e externamente). As dimensões externas são 2,20 X 2,70m e internas 2,00 X 2,50m, com uma área interna de 5,00m² e pé-direito de 2,40m.

Os protótipos estão orientados com as fachadas de 2,70m ao Norte e ao Sul, e as de 2,20m ao Leste e ao Oeste. Eles foram distanciados de forma que não haja sombreamento das paredes ou sombras de vento, a fim de garantir as mesmas condições de implantação para todos.

Na face superior há uma laje pré-moldada (cerâmica e concreto), também pintada de branco, com ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro nos oitões das faces Leste-Oeste. A cobertura é de telha fibro-vegetal, pintada externamente de branco, contando, junto ao caibramento de sustentação, com um filme de alumínio polido (isolante térmico tipo “foil”), reduzindo a influência da superfície mais exposta à radiação solar nos resultados das medições.

As duas aberturas para análise estão voltadas para a face Norte e Oeste, com dimensões de 1,20 X 1,00m, e peitoril de 1,10m. Quando uma das fachadas estiver sendo avaliada a outra terá sua abertura vedada por um painel com resistência térmica equivalente à parede de tijolos, estando ambas totalmente seladas para evitar a interferência da ventilação. Para facilitar o manuseio e troca de vidros e painéis equivalentes, optou-se por colocar o vidro numa moldura de madeira sobre o batente, com alças e fechos de travamento, ficando o local envidraçado efetivo com as dimensões de 0,86 X 1,06m e área de 0,91m².



Figura 2 - Protótipo com vidro instalado

De modo a possibilitar a realização dessa investigação, foram executados alguns procedimentos descritos a seguir:

a) **Adequação das condições físicas dos protótipos:** limpeza, pintura, colocação dos vidros e instalação dos equipamentos de monitoramento (sensores de temperatura, umidade, radiação, etc.).

b) **Instalação da mini-estação meteorológica:** próximo aos protótipos foi implantada uma mini-estação meteorológica automática de aquisição de dados, CR10X Campbell Scientific Inc., com o objetivo de adquirir dados do microclima local, cujos registros são feitos a cada 30 segundos, definindo-se as médias a cada 10 minutos. A estação monitora os seguintes elementos atmosféricos externos: temperatura do ar, umidade do ar, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar incidente, índice pluviométrico. Os dados coletados ficam armazenados na estação, depois são descarregados por meio do *storage module* (módulo de armazenamento) para, posteriormente, serem transferidos ao microcomputador, via software de programação PC208W (programa específico da Campbell Scientific Inc.) e interface de comunicação SC32A.



Figura 3 - Estação meteorológica

c) **Avaliação dos dados obtidos:** depois da coleta dos dados, é feito um estudo dos resultados e confecção dos gráficos das variações climáticas da temperatura interna em relação à temperatura externa, bem como a avaliação do comportamento térmico dos vidros dos protótipos. O processo de avaliação de dados passa pelas seguintes etapas:

1. Dados de transporte (dados brutos sem tratamento);
2. Dados horários (dados com análise de consistência);
3. Gráfico dos elementos atmosféricos externos;
4. Análise comparativa do comportamento térmico dos vidros.

O tratamento dos resultados começa após a transformação dos dados obtidos do software do CR10X para o formato do Microsoft Excel.

Os procedimentos adotados na parte experimental da pesquisa são:

a) **Medidores de temperatura interna: termopares**

A medição de temperatura com termo-elementos baseia-se no efeito termoelétrico (termopares). Interligando-se dois fios de diferentes materiais, por exemplo, cobre – constantin, e colocando-se os pontos de ligação em contato com diferentes temperaturas obtém-se uma força eletromotriz, que é denominada tensão termoelétrica.

Os termopares (cobre – constantin / Cu – Ct) utilizados nessa pesquisa são do modelo IR – Cable Extension tipo T.

Em cada protótipo foram fixados cinco sensores (termopares tipo T), sendo distribuídos da seguinte maneira:

- 01 termopar medindo a temperatura interna do vidro;
- 01 termopar medindo a temperatura interna da parede;
- 01 termopar medindo a temperatura externa do vidro;
- 01 termopar medindo a temperatura externa da parede;
- 01 termopar medindo a temperatura do ar interno nos protótipos.

b) **Sistema automático de aquisição de dados**

A Estação Meteorológica automática é basicamente composta por:

- CR10X – Data Logger Campbell Scientific Inc.;
- Sensor de temperatura (-35 a 50°C) e umidade relativa do ar (0 a 90%);
- Sensor de pressão barométrica;
- Sensor de radiação solar global (400 a 700nm);
- Pluviômetro de báscula;
- Bateria recarregável de 12V – reguladores de voltagem, filtros e proteção contra queda de raios;
- Anemômetro (0 a 60m/s);
- Painel solar – produção de energia;
- Abrigo meteorológico para sensor de temperatura e umidade relativa.

O sistema de aquisição de dados referentes ao desempenho térmico dos protótipos é composto de duas unidades básicas: um Data Logger CR10X e um multiplexador AM416, de 32 canais de aquisição de dados, que fazem a coleta automática e o armazenamento dos mesmos. O sistema de aquisição dos dados possui terminal para conexão de 10 sensores embutidos, com porta de comunicação de 40 Kb de memória RAM interna, baterias internas recarregáveis e recarregador de bateria.

4. RESULTADOS

Foram ensaiados e analisados até o momento os seguintes tipos de vidros: monolíticos incolor, verde, bronze, fumê, mini-boreal; laminado verde; refletivos pirolíticos (antélios) prata, bronze e esmeralda; refletivos metalizados a vácuo (CEB) azul médio e azul intenso. Todos os vidros possuem espessura de 4mm, com exceção do laminado verde que possui 8mm.

As medições nos protótipos foram realizadas entre os dias 8 de março e 14 de maio de 2004. Foram divididas em quatro períodos sendo que no primeiro e quarto períodos foram colocados os vidros na fachada Oeste, enquanto que no segundo e terceiro os vidros foram postos na fachada Norte. Além disso, foram feitas três combinações de grupos de vidros para serem comparados. No primeiro período de medições foram colocados os seguintes vidros: incolor, verde, bronze, fumê, mini-boreal e laminado verde. No segundo período foram utilizados os vidros incolor, bronze, verde, fumê, mini-boreal e refletivo metalizado a vácuo azul intenso. Já no terceiro e quarto períodos foram medidos o vidro incolor, os vidros refletivos pirolíticos prata, bronze e esmeralda, e os vidros refletivos metalizados a vácuo azul médio e azul intenso.

Para cada dia de medição foi feita uma planilha mostrando as condições de temperatura do ar, umidade, radiação solar global, velocidade e direção dos ventos predominantes. Posteriormente foram feitos gráficos com as temperaturas no interior de cada protótipo e nas superfícies dos vidros.

Serão apresentados os gráficos das temperaturas superficiais internas do vidro e do ar no interior dos protótipos e as tabelas das condições climáticas exteriores dos dias 9 de março e 12 de maio de 2004. Estes dias foram escolhidos pois apresentaram as maiores temperaturas externas dos períodos nos quais os vidros estavam na fachada Oeste.

Tabela 1 - Dados climáticos externos para o dia 09/03/2004.

Hora	Temp. ar (°C)	Umidade	Rad.Solar Global (W/m ²)
00:00	22,14	78,3	0
01:00	21,25	82,7	0
02:00	20,84	83,6	0
03:00	20,45	85,1	0
04:00	19,92	87	0
05:00	19,47	88,6	0
06:00	19,09	89,3	0,95
07:00	22,03	76,5	147,7
08:00	24,15	70,1	155,8
09:00	26,22	65,53	551,4
10:00	28,17	59,5	691
11:00	29,03	55,25	799
12:00	30,21	50,51	889
13:00	31,13	48,52	881
14:00	31,68	44,01	827
15:00	32,07	41,29	677,9
16:00	32,68	38,06	476,1
17:00	31,5	42,21	119,6
18:00	30,74	44,42	67,07
19:00	27,3	58,18	0
20:00	25,83	61,87	0
21:00	24,88	69,09	0
22:00	23,33	79,3	0
23:00	22,89	79,7	0

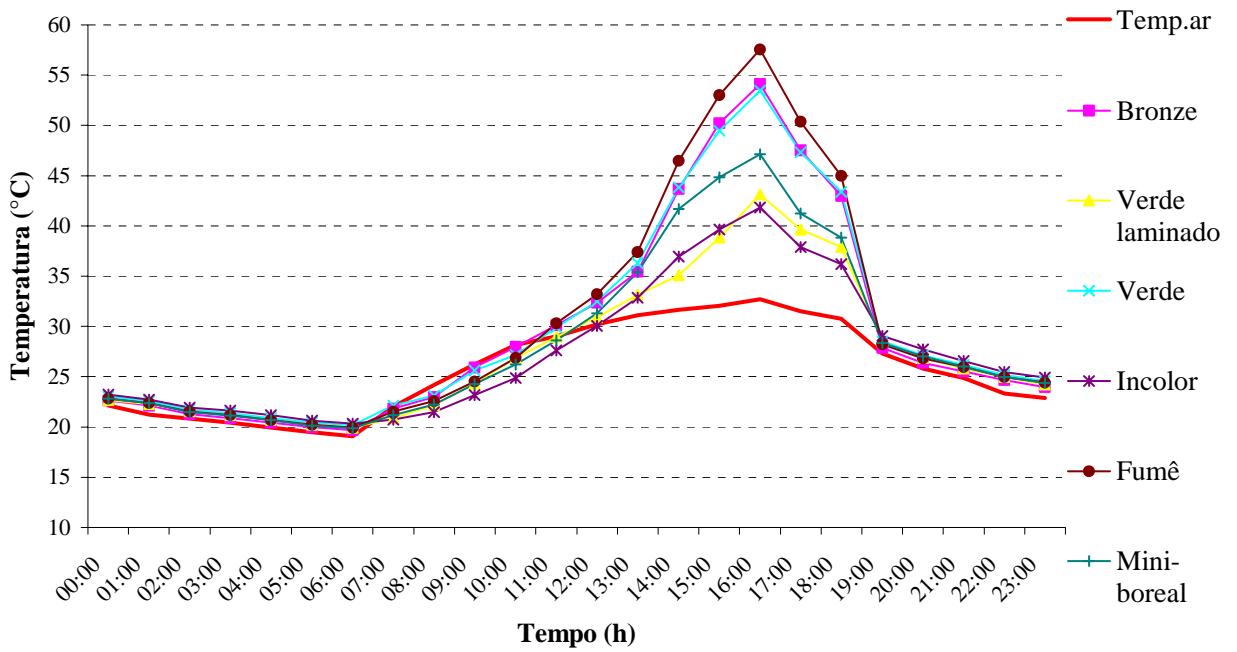


Gráfico 1 - Relações entre a temperatura externa e as temperaturas superficiais internas dos vidros no dia 09/03/2004.

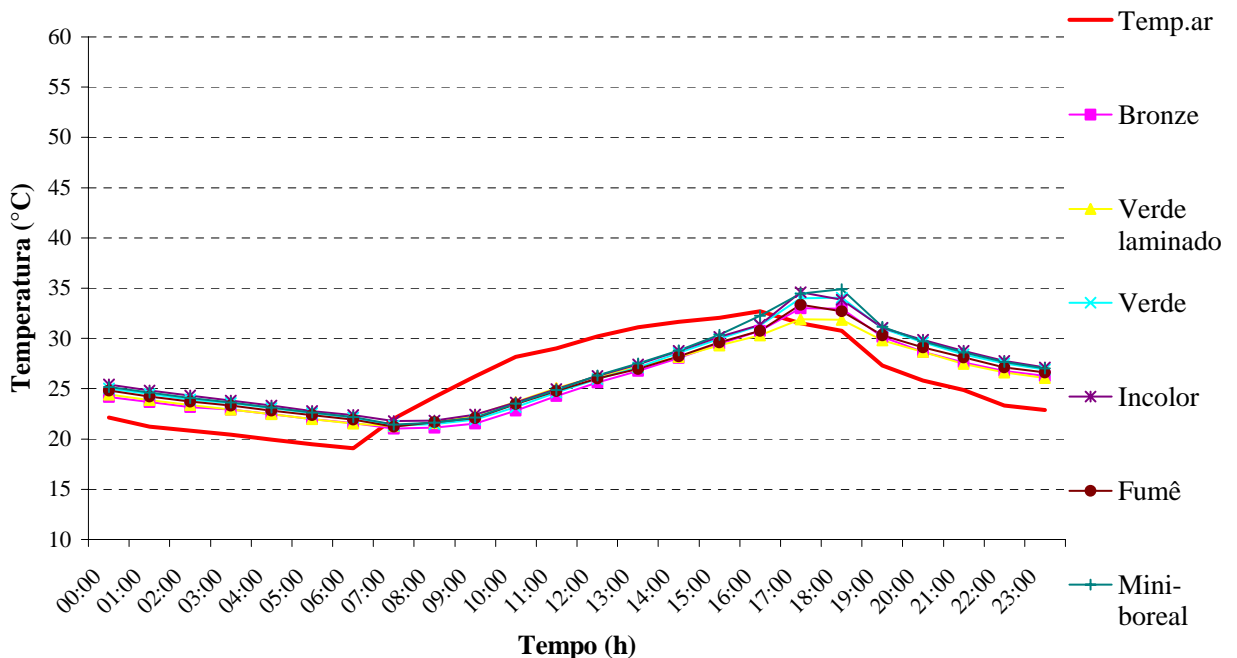


Gráfico 2 - Relações entre a temperatura externa e as temperaturas de bulbo seco de cada protótipo no dia 09/03/2004.

Tabela 2 - Dados climáticos externos para o dia 12/05/2004.

Hora	Temp. ar (°C)	Umidade	Rad.Solar Global (W/m²)
00:00	15,19	87,9	0,02
01:00	15,16	87,9	0,02
02:00	15,05	88	0,03
03:00	14,79	88,5	0,03
04:00	14,45	89,6	0,03
05:00	13,93	90,3	0,08
06:00	12,41	94,3	0,09
07:00	12,27	95,1	14,7
08:00	14,73	90,1	100,5
09:00	19,57	71,8	371,8
10:00	21,58	64,98	515,7
11:00	24,22	56,49	608,3
12:00	25,27	53,27	644
13:00	26,59	50,46	625
14:00	27,84	47,45	542,1
15:00	28,83	42,82	410,8
16:00	27,81	44,81	151,8
17:00	26,81	50,56	25,5
18:00	23,97	59,12	0
19:00	22,23	66,31	0
20:00	20,81	75	0
21:00	19,09	83	0
22:00	18,65	83,7	0
23:00	18,13	85,3	0

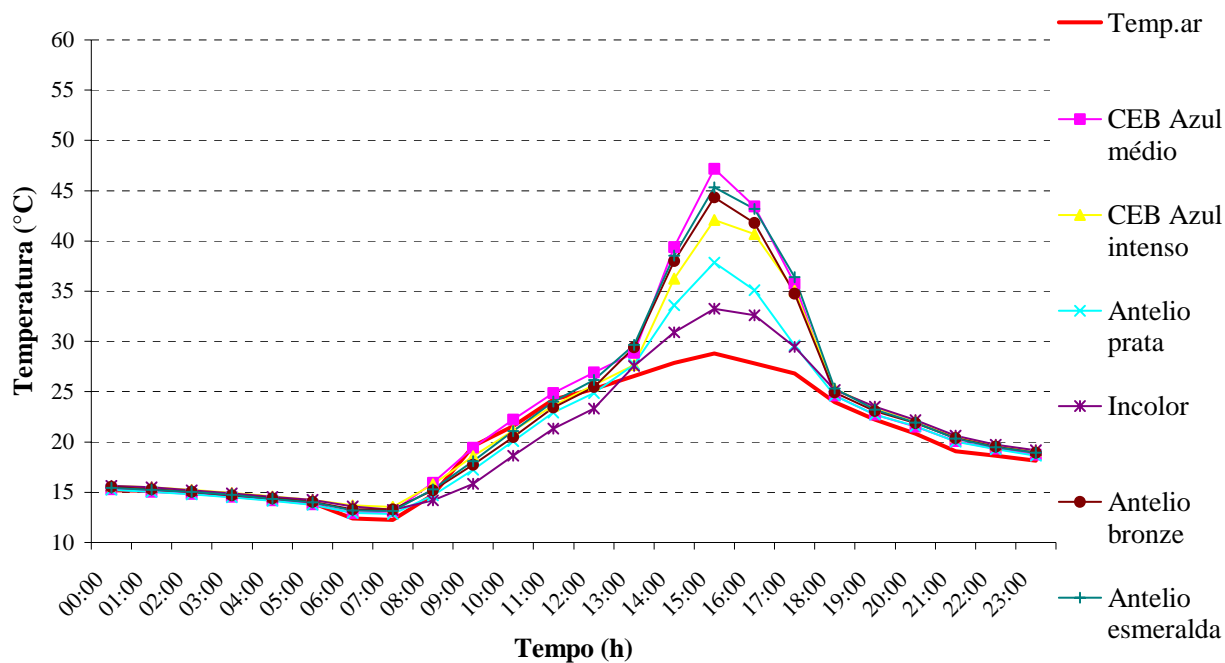


Gráfico 3 - Relações entre a temperatura externa e as temperaturas superficiais internas dos vidros no dia 12/05/2004.

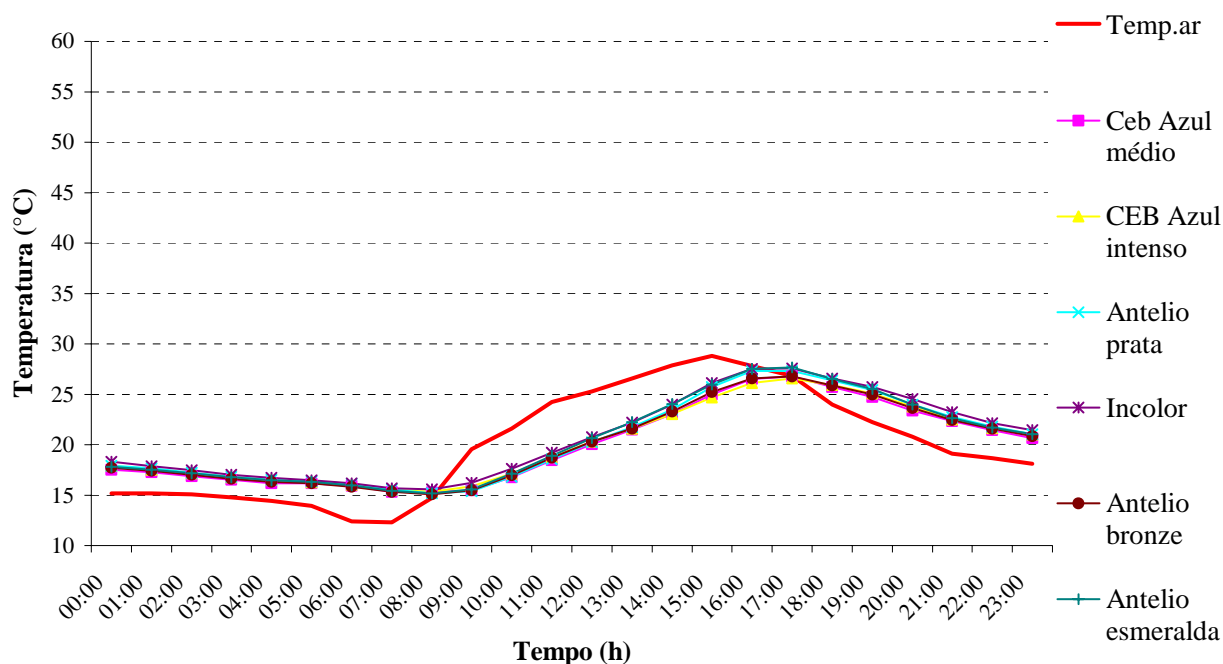


Gráfico 4 - Relações entre a temperatura externa e as temperaturas de bulbo seco de cada protótipo no dia 12/05/2004.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os ensaios foram realizados em dias claros, sendo que as tabelas 1 e 2 revelam a taxa de radiação solar global para cada dia.

Os vidros colocados nos protótipos já foram analisados do ponto de vista espectrofotométrico, ou seja, quanto às suas transmissões e absorções de acordo com os comprimentos de onda. Os ensaios em protótipos visam justamente detectar o quanto estes vidros, em uma situação real (*in loco*), podem ter suas temperaturas elevadas devido à absorção e contribuir, desta forma, para o ganho de calor no interior do ambiente. O vidro, ao absorver a radiação incidente, reemite uma fração significativa desta energia para o interior da edificação.

Os gráficos 1 e 2 mostram que os vidros termo-absorventes verde, fumê e bronze são menos transparentes à radiação solar que os vidros incolor e mini-boreal, pois a absorvem significativamente, fazendo com que tenham suas temperaturas aumentadas e funcionem como uma espécie de “radiador”, reemitindo calor para o interior da edificação. Pode-se observar que apesar deste aumento de temperatura registrado nos vidros termo-absorventes, há uma diminuição considerável quanto à temperatura do ar no interior dos protótipos.

O gráfico 2 ilustra que há uma diferença de cerca de 3°C entre as temperaturas do ar internas dos protótipos analisados, sendo que o protótipo que utiliza o vidro laminado verde apresenta as menores temperaturas internas, vindo em seguida o protótipo que utiliza o vidro bronze. Embora os vidros termo-absorventes apresentem temperaturas superficiais elevadas, devido à absorção da radiação solar, na prática, resultam em uma diminuição significativa na temperatura do ar. Já os protótipos com os vidros incolor e mini-boreal apresentam as maiores temperaturas internas.

O gráfico 4 registra a performance dos vidros refletivos, ilustrando que os metalizados a vácuo apresentam um desempenho térmico um pouco melhor em relação aos vidros refletivos pirolíticos.

Os gráficos 1 e 3 ilustram as condições de temperaturas externas e temperaturas superficiais internas dos vidros. Observa-se que os vidros termo-absorventes apresentam temperaturas superficiais cujos valores são bem maiores que aqueles das temperaturas externas. Em relação aos vidros refletivos, observou-se que tanto os pirolíticos quanto os metalizados a vácuo apresentaram elevadas temperaturas superficiais, mostrando que são, na verdade, muito absorventes. Nos horários em que a

taxa de radiação solar apresenta maiores valores, ou seja, entre 10:00 e 16:00h (tabelas 1 e 2), os vidros termo-absorventes e os vidros refletivos chegam a atingir temperaturas superficiais superiores a 40°C, sendo que o vidro fumê chega a aproximadamente 58°C e o vidro refletivo metalizado a vácuo azul médio a 47°C. O vidro laminado verde chega a registrar temperaturas superficiais de cerca de 43°C, enquanto que o vidro refletivo pirolítico prata de aproximadamente 38°C. O vidro incolor, nos dois dias, apresentou a menor temperatura superficial em comparação aos demais tipos de vidro.

Vale ressaltar que os vidros termo-absorventes fumê, bronze e verde apresentaram as maiores temperaturas superficiais, vindo em seguida dos vidros refletivos. Já o vidro incolor mostrou ser o que menos se aquece com a incidência da radiação solar.

Através do uso de espectrofotômetro, como havia sido feito até o momento, não havia condições de precisar o comportamento na prática destes materiais. Os gráficos resultantes da pesquisa ilustram que é possível haver uma redução significativa com o uso dos vidros mais absorventes, sejam eles termo-absorventes ou refletivos. Em termos de aplicação prática, vale lembrar que os vidros termo-absorventes possuem maior coeficiente de dilatação, exigindo, portanto, uma folga em seus caixilhos, para evitar que se fragmentem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARAM de Assis, R. M. C. de (2002) *Estudo e caracterização de fachadas transparentes para uso na arquitetura: ênfase na eficiência energética*. Tese de Livre-Docência. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. Brasil.
- GIVONI, B. (1976) *Man, Climate and Architecture*. Applied Science Publishers Ltd. London. Inglaterra.
- OLGYAY, V. (1998) *Arquitectura e Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona. Espanha.
- SANTOS, J. C. P. (2002) *Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. Brasil.
- VIANNA, N. S. e GONÇALVES, J. C. S. (2001) *Iluminação e Arquitetura*. Virtus s/c Ltda. Universidade do Grande ABC. São Paulo. Brasil.