

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**DESEMPENHO TÉRMICO DE VIDROS
UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
ESTUDO EM CÉLULAS-TESTE**

Adriana Petito de Almeida Silva Castro

Campinas - SP
2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

DESEMPENHO TÉRMICO DE VIDROS
UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
ESTUDO EM CÉLULAS-TESTE

Adriana Petito de Almeida Silva Castro

Orientadora: Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Campinas – SP
2006

Dedicatória

***À minha família,
bem mais precioso que existe.***

Agradecimentos

À Deus, pelo dom da vida.

À Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki, por quem tenho profunda admiração, minha orientadora para todas as horas, pelo incentivo constante, e, também, pelo enorme carinho demonstrado durante toda essa nossa jornada.

À Prof^a Dr^a Rosana Caram, pelo incentivo, amizade e constante disposição em ajudar.

À Prof^a Dr^a Vanessa Gomes da Silva, pelas valiosas sugestões durante o Exame de Qualificação.

À UNICAMP, pela concessão da Bolsa para Instrutores Graduados (BIG), permitindo-me ingressar na carreira acadêmica.

Ao Prof. Msc. Jayme Cheque Júnior, diretor-superintendente do CESET, pelo acolhimento sincero e constante apoio durante o período de docência.

Ao Prof. Rogério Durante, responsável pela área de Materiais de Construção do CESET, pela enorme colaboração e constante disposição em ajudar.

Ao Eng. mecânico Remy Dufrayer, da companhia vidreira CEBRACE, pela doação dos vidros para análise.

Aos técnicos e grandes amigos do LACAF, Obadias Pereira da Silva Júnior e Daniel Celente, imprescindíveis para o sucesso de toda montagem experimental.

Ao Prof. Dr. Mauro Fernandes, do Instituto de Química da USP - São Carlos, pelo auxílio nas medições espectrofotométricas.

À Arquiteta Msc. Grace Gutierrez, companheira de campo, minha amiga desde o início da construção das células-teste, pelo enorme apoio, sugestões e disposição em ajudar.

À Arquiteta Msc. Cláudia Pezzuto, pela amizade sincera e pelo ombro amigo, principalmente em momentos difíceis.

Às amigas Rúbia Michelato, Paula Sardeiro e Anna Cristina Mianna, pelas contribuições, sempre bem-vindas, em relação às nossas medições.

Aos alunos do CESET, Rogério Giro e Victor Baldan, meus primeiros orientandos de Iniciação Científica, pelas contribuições e auxílios em várias etapas deste trabalho.

À minha sempre-amiga, Prof^a Dr^a Carolina Lotufo Bueno-Bartholomei, quem eu considero uma grande irmã, pela amizade de 30 anos, pelas sugestões, críticas e, principalmente, por não me deixar desanimar em momento algum.

Aos meus pais, Euclydes e Márcia, que sempre me apoiaram e me iluminaram em minhas decisões.

Ao Wagner, meu marido e eterno companheiro, por seu amor, carinho e, principalmente, pela enorme paciência, em relação a mim e aos nossos filhos.

Aos meus filhos, Caio Pedro e João Vitor, por aceitarem as inúmeras ausências da mãe, e por compreenderem o quanto este trabalho é importante para nossa família.

Aos meus familiares: irmãos, cunhados, sobrinhos, tios, primos, avó, sogra, pelo incentivo nas horas difíceis, pelo interesse constante, e principalmente, pelo amor verdadeiro.

A todos os meus amigos, que torceram por mim e de alguma forma, com absoluta certeza, contribuíram para o êxito deste trabalho.

SINCERAMENTE, O MEU MUITO OBRIGADA...

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES	6
3. JUSTIFICATIVA	8
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
4.1 <u>VIDROS</u>	10
4.1.1 Vidro plano (float)	12
4.1.2 Vidro impresso	15
4.1.3 Vidro laminado	16
4.1.4 Vidro refletivo	18
4.2 <u>EFEITO TÉRMICO DOS FECHAMENTOS TRANSPARENTES</u>	21
4.3 <u>OS MATERIAIS TRANSPARENTES E O CONTROLE ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES</u>	28
4.4 <u>FACHADAS TRANSPARENTES E ALGUNS PARÂMETROS RELACIONADOS AO CONFORTO AMBIENTAL</u>	42
4.4.1 Fator solar	42
4.4.2 Ganho de Calor Total	45
4.4.3 Coeficiente de Sombreamento	45
4.5 <u>TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA PARA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS TRANSPARENTES</u>	46
4.6 <u>EXPERIMENTO EM PROTÓTIPOS</u>	48

5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
5.1	<u>MATERIAIS ESTUDADOS.....</u>	52
5.2	<u>DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO DE CAMPINAS.....</u>	55
5.3	<u>ÁREA DE ESTUDO.....</u>	57
5.4	<u>EQUIPAMENTOS.....</u>	65
5.4.1	Estação meteorológica.....	65
5.4.2	Termopares.....	69
5.4.3	Espectrofotômetro.....	70
5.5	<u>COLETA DE DADOS.....</u>	72
5.6	<u>ARRANJO EXPERIMENTAL.....</u>	74
5.7	<u>MÉTODO DE OBTENÇÃO DO GANHO DE CALOR TOTAL.....</u>	76
6.	RESULTADOS	86
6.1	<u>ESPECTROFOTÔMETRO – INCIDÊNCIA NORMAL.....</u>	87
6.2	<u>ESPECTROFOTÔMETRO–DIFERENTES ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA.....</u>	111
6.3	<u>CÉLULAS-TESTE.....</u>	122
6.4	<u>GANHO DE CALOR TOTAL.....</u>	152
7.	DISCUSSÃO.....	170
8.	CONCLUSÕES.....	176
9.	REFERÊNCIAS	178
	ANEXOS.....	185
	ANEXO A – Histórico da pesquisa.....	186
	ANEXO B – Cálculo do painel equivalente.....	189
	ANEXO C – Cálculo do horário solar.....	198
	ANEXO D – Gráficos de radiação solar.....	203
	ANEXO E – Tabelas referentes aos resultados em células-teste.....	209
	ANEXO F – Gráficos de radiação solar horizontal.....	219

LISTA DE FIGURAS

1	Composição química do vidro.....	13
2	Efeitos de alguns minerais adicionados ao vidro.....	14
3	Camadas de vidro laminado com PVB incolor.....	16
4	Esquema utilizado para explicar o comportamento da energia solar incidente sobre uma superfície transparente.....	25
5	Transmitância e Refletância em função do Ângulo de Incidência.....	26
6	Vidros planos (incolor, verde, cinza e bronze).....	54
7	Vidros refletivos pirolíticos (antélio verde, antélio prata, antélio bronze e reflectafloat).....	54
8	Vidros refletivos metalizados a vácuo (azul intenso, azul médio e prata neutro).....	55
9	Vidros laminados (verde com PVB incolor e incolor com PVB verde).....	55
10	Vista geral das células-teste, em fase final de construção.....	58
11	Implantação.....	60
12	Planta.....	60
13	Cortes.....	61
14	Fachadas.....	61
15	Vista das células-teste em construção.....	62
16	Vista das células-teste com vidros instalados.....	62
17	Face Norte.....	63
18	Face Leste.....	63
19	Face Sul.....	63
20	Face Oeste.....	63
21	Área experimental com identificação das células-teste (sem escala).....	64
22	Estação meteorológica.....	65
23	Estrutura da Estação Meteorológica Campbell Scientific.....	66
24	Componentes da Estação Meteorológica Campbell Scientific.....	67
25	Termopares colados no vidro.....	70

26	Espectrofotômetro CARY 5G.....	71
27	Transmitância espectral do vidro incolor plano.....	89
28	Transmitância espectral do vidro verde plano.....	89
29	Transmitância espectral do vidro cinza plano.....	90
30	Transmitância espectral do vidro bronze plano.....	90
31	Transmitância espectral do vidro impresso mini-boreal.....	91
32	Transmitância espectral do vidro antélio esmeralda.....	91
33	Transmitância espectral do vidro antélio prata.....	92
34	Transmitância espectral do vidro antélio bronze.....	92
35	Transmitância espectral do vidro reflectafloat.....	93
36	Transmitância espectral do vidro azul intenso.....	93
37	Transmitância espectral do vidro azul médio.....	94
38	Transmitância espectral do vidro prata neutro.....	94
39	Transmitância espectral do vidro laminado verde com PVB incolor.....	95
40	Transmitância espectral do vidro laminado incolor com PVB verde.....	95
41	Absortância espectral do vidro incolor plano.....	96
42	Absortância espectral do vidro verde plano.....	96
43	Absortância espectral do vidro cinza plano.....	97
44	Absortância espectral do vidro bronze plano.....	97
45	Absortância espectral do vidro impresso mini-boreal.....	98
46	Absortância espectral do vidro antélio esmeralda.....	98
47	Absortância espectral do vidro antélio prata.....	99
48	Absortância espectral do vidro antélio bronze.....	99
49	Absortância espectral do vidro reflectafloat.....	100
50	Absortância espectral do vidro azul intenso.....	100
51	Absortância espectral do vidro azul médio.....	101
52	Absortância espectral do vidro prata neutro.....	101
53	Absortância espectral do vidro laminado verde com PVB incolor.....	102
54	Absortância espectral do vidro laminado incolor com PVB verde.....	102
55	Valores de transmitância total para cada vidro.....	104
56	Valores de transmitância no infravermelho para cada vidro.....	104

57	Valores de absorptância total para cada vidro.....	105
58	Valores de absorptância no infravermelho para cada vidro.....	105
59	Transmitância (T), Absorptância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros planos incolor e verde.....	114
60	Transmitância (T), Absorptância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros planos cinza e bronze.....	114
61	Transmitância (T), Absorptância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros pirolíticos verde e bronze.....	116
62	Transmitância (T), Absorptância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros pirolíticos prata e reflectafloat.....	116
63	Transmitância (T), Absorptância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros metalizados a vácuo: azul intenso, azul médio e prata neutro.....	118
64	Transmitância (T), Absorptância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros laminados incolor com PVB verde e verde com PVB incolor.....	119
65	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte.....	122
66	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste.....	122
67	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Norte.....	123
68	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Oeste.....	123
69	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte.....	128
70	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste.....	128
71	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Norte.....	129
72	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Oeste.....	129
73	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte.....	135
74	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste.....	135
75	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Norte.....	136
76	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Oeste.....	136
77	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte.....	141
78	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste.....	141
79	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Norte.....	142
80	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Oeste.....	142

81	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte.....	146
82	Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste.....	146
83	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Norte.....	147
84	Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Oeste.....	147
85	Ganho de calor total dos vidros da família 1 – face norte.....	153
86	Ganho de calor total dos vidros da família 1 – face oeste.....	153
87	Ganho de calor total dos vidros da família 2 – face norte.....	157
88	Ganho de calor total dos vidros da família 2 – face oeste.....	157
89	Ganho de calor total dos vidros da família 3 – face norte.....	161
90	Ganho de calor total dos vidros da família 3 – face oeste.....	161
91	Ganho de calor total dos vidros da família 4 – face norte.....	165
92	Ganho de calor total dos vidros da família 4 – face oeste.....	165
93	Ganho de calor total dos vidros da família 5 – face norte.....	168
94	Ganho de calor total dos vidros da família 5 – face oeste.....	168
95	Ganho de calor total para os vidros analisados (face norte).....	171
96	Ganho de calor total para os vidros analisados – Face oeste.....	171
97	Células-teste em construção (julho/2003).....	186
98	Vista das janelas (em construção – julho/2003).....	186
99	Caixa e tubulação de passagem dos termopares (agosto/2003).....	187
100	Células-teste (final de construção – fevereiro/2004).....	187
101	Janela com moldura e vidro instalados (abril/2004).....	187
102	Células-teste com vidros instalados.....	188
103	Vista geral das células-teste.....	188
104	Valores da equação do tempo, em minutos.....	199
105	Calculadora Solar.....	200
106	Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 1.....	204
107	Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 1.....	204
108	Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 2.....	205
109	Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 2.....	205

110	Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 3.....	206
111	Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 3.....	206
112	Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 4.....	207
113	Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 4.....	207
114	Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal - família 5.....	208
115	Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 5.....	208

LISTA DE TABELAS

1	Classificação de desempenho energético para a análise paramétrica.....	30
2	Características óticas de materiais transparentes.....	47
3	Dados climáticos da região de Campinas, período de 1998 a 2005.....	56
4	Valores de h_e e h_i dos materiais transparentes para diferentes velocidades do vento (V_o).....	78
5	Dados de entrada e cálculos do programa Radisol.....	81
6	Valores para radiação solar vertical ($I_{t,v}$) e co-seno do ângulo de incidência.....	82
7	Valores de transmitância, absortância e refletância dos vidros analisados.....	103
8	Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros planos.....	111
9	Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros refletivos pirolíticos.....	112
10	Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros refletivos metalizados a vácuo.....	113
11	Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros laminados.....	113
12	Ganho de calor total - face norte – Família 1.....	152
13	Ganho de calor total – face oeste – Família 1.....	152
14	Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 1.....	154
15	Ganho de calor total - face norte – Família 2.....	156
16	Ganho de calor total – face oeste – Família 2.....	156
17	Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 2.....	158
18	Ganho de calor total - face norte – Família 3.....	160
19	Ganho de calor total – face oeste – Família 3.....	160
20	Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 3.....	162
21	Ganho de calor total - face norte – Família 4.....	164

22	Ganho de calor total – face oeste – Família 4.....	164
23	Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 4.....	166
24	Ganho de calor total - face norte – Família 5.....	167
25	Ganho de calor total – face oeste – Família 5.....	167
26	Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 5.....	169
27	Absortância, transmitância, fator solar e ganho de calor total médios (W/m ²) no período analisado, nos horários de máximo ganho de calor.....	172
28	Propriedades térmicas de materiais.....	190
29	Propriedades térmicas da madeira, poliestireno expandido e lã de vidro.....	192
30	Valores da equação do tempo para os dias monitorados, meio-dia e a diferença em minutos entre o horário legal e o horário verdadeiro.....	201

RESUMO

Castro, Adriana Petito de Almeida Silva. ***Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste***. 2006. 223 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

O desempenho térmico de uma edificação depende de fatores como implantação, orientação, materiais e componentes construtivos, que devem ser adequadamente definidos para diferentes condições climáticas. O edifício atua como mecanismo de controle das variáveis do clima, através de sua envoltória (paredes, piso, cobertura e aberturas) e dos elementos do entorno, e deve ser projetado de modo a proporcionar conforto e eficiência energética. Entre os componentes da construção, os vidros funcionam como um dos elementos de maior potencialidade de aquecimento interno. Devido à sua transparência à radiação solar, possibilitam facilmente o ingresso de grande parte dessa energia no ambiente. No presente trabalho estudou-se o comportamento de superfícies transparentes em fachadas, em situação real, através de medições em seis células-teste, de dimensões 2,00 x 2,50m. Analisou-se *in loco* o comportamento térmico de vidros, comercialmente disponíveis no mercado, cuja caracterização, do ponto de vista da transmissão espectral, já era conhecida através de técnica espectrofotométrica. Foram selecionados 14 tipos de vidros: cinco planos, quatro refletivos pirolíticos, três refletivos metalizados a vácuo e dois laminados, os quais foram instalados em aberturas de 1,00 X 1,20m nas células-teste, localizadas em fachadas com orientação norte e oeste. A análise foi realizada separadamente para as duas orientações. Avaliou-se o desempenho térmico de cada vidro, tendo o incolor, de espessura 4mm, como referência. A metodologia utilizada consistiu na aquisição de dados mensuráveis de parâmetros ambientais: temperaturas superficiais internas dos vidros, temperaturas de bulbo seco no ambiente interno e temperaturas do ar externo. O fator de ganho solar foi calculado a partir dos resultados de absorptância dos diferentes materiais, obtidos por análise espectrofotométrica, e diferenças entre as temperaturas interna e externa. Os resultados mostram o alto ganho de calor através dos vidros planos, sendo o incolor o de pior desempenho térmico, com maior ganho, seguido pelo bronze, cinza e verde. Os vidros refletivos metalizados a vácuo apresentam o melhor desempenho térmico, dentre os materiais analisados, quando se tem como objetivo atenuar o ganho de calor e projetar edificações com menor consumo energético para refrigeração.

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

ABSTRACT

Castro, Adriana Petito de Almeida Silva. ***Thermal performance of glasses in building construction: study in test-cells.*** 2006. 223 p. Thesis (Doctorate) – School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design, State University of Campinas, Campinas, 2006.

Thermal performance of buildings depends on several factors, such as implantation, orientation, materials and building components, which should be appropriately defined for different climate conditions. The building acts as a controller of the climatic variables, through the building envelope (walls, floor, roof and openings) and the nearby elements. Building design must provide indoor comfort and energy efficiency. Glazing easily allows the penetration of solar radiation into buildings, due to its transparency to solar radiation. So glasses must be carefully considered in building design, having in mind their potential for internal heating. In this work studies about the behavior of transparent façades, in real conditions, were carried out through measurements in six test-cells with dimensions 2,00 x 2,50m. Fourteen types of glasses were selected: five float glasses, four reflective glasses produced by pyrolytic process, three reflective ones obtained by vacuum metal deposition and two laminated glasses. Their spectral behavior was known from previous spectrophotometric studies. The glasses were installed in 1,00 X 1,20m openings in two façades facing north and west, separately. The colorless 4mm float glass was taken as reference. Internal surface temperatures of glasses, internal dry bulb temperatures and outdoor temperatures were collected. Solar gain factor was calculated on the basis of absorbance values, obtained from spectrophotometrical analysis, and temperature differences inside and outside the cells. Results show a high heat gain through float glasses, with the worst thermal behavior for the colorless one, followed by bronze, gray and green. Furthermore, reflective glasses obtained by vacuum metal deposition present the best thermal performance for the purpose of heat gain attenuation and to design buildings with the least energy consumption for cooling.

Key words: glasses, heat gain, thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, a energia consumida para controle ambiental em edifícios representa um importante setor do consumo de energia geral, especialmente em países desenvolvidos. Portanto, os potenciais de economia de energia através de melhores projetos são muito promissores. Métodos passivos de economia de energia devem ser considerados desde o início do projeto, para melhores resultados, sendo o principal conceito de técnica passiva o que considera os elementos construtivos agindo como um filtro passivo seletivo, permitindo ou impedindo o fluxo de calor, e estimulando o resfriamento natural.

O desempenho térmico de uma edificação depende de fatores de projeto, 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.). Dependendo da orientação geográfica e das características óticas dos materiais transparentes utilizados nas fachadas, pode haver um significativo acúmulo de energia térmica no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para os usuários, além de grande consumo energético necessário para o condicionamento térmico das mesmas.

A eficiência energética de um edifício pode ser maior ou menor, em função de um projeto consciente que tenha considerado as variáveis ambientais físicas e climáticas envolvidas, assim como a prática operacional e a manutenção dos dispositivos de controle energético, tais como brises, lâmpadas, aparelhos de ar condicionado. Portanto, é na fase do projeto da edificação que as decisões mais importantes referentes ao consumo energético são tomadas. Com relação à iluminação natural, por exemplo, esta deve pressupor a integração com a luz artificial, permitindo aos usuários utilizar a luz natural e/ou a artificial, dependendo das suas necessidades. Elementos como as dimensões das aberturas e as especificações quanto ao tipo de vidro a ser empregado, precisam ser decididos na fase do projeto executivo.

É fundamental verificar se o tipo de vidro escolhido é o ideal para o projeto, pois equívocos na escolha podem causar vários problemas e, corrigi-los pode ser praticamente inviável. A especificação correta deve considerar as normas técnicas, mas também depende de conhecimentos sobre o comportamento do vidro diante da radiação solar. O mercado oferece variada gama de produtos, com diferentes cores, tipos e índices de refletância, para atender às necessidades específicas de cada situação. Cabe ao projetista, além de consultar os catálogos dos fabricantes, atentar ao desempenho energético da edificação, bem como às características óticas do material transparente selecionado.

Atualmente, um constante desafio aos projetistas é o de projetar grandes áreas envidraçadas que controlem, efetivamente, a penetração da radiação solar no interior dos edifícios, e que obtenham, como consequência, um desempenho adequado quanto ao nível de iluminação e de carga térmica.

Do ponto de vista do conforto ambiental, a radiação solar e as janelas relacionam-se diretamente com o conforto térmico e visual nas edificações, sendo a janela, através de suas superfícies transparentes, o componente do envelope responsável pelo ingresso desta radiação no ambiente interno.

O comportamento do vidro frente à radiação solar e suas possíveis repercussões no aquecimento e resfriamento devem ser analisados criteriosamente em um projeto de janela. O vidro pode ser considerado transparente a radiações solares de pequeno comprimento de onda e opaco a radiação de grande comprimento de onda. Portanto, a radiação solar que entra por uma janela não retornará da mesma forma ao exterior, aquecendo o ambiente. Uma parte do calor absorvido será re-emitida ao exterior da janela por condução e radiação de onda longa.

As superfícies transparentes são elementos que geralmente permitem um alto fluxo de calor, tornando-se mais vulneráveis, principalmente em regiões de grande insolação, como no Brasil, devido à sua característica de transmitir diretamente a radiação solar incidente para o interior das edificações e de causar o efeito estufa, responsável pela elevação da temperatura interna. Pode-se evitar esse efeito com a utilização de vidros com melhores propriedades refletivas e desempenho térmico. Acredita-se que metade da demanda energética do sistema de refrigeração de edifícios comerciais brasileiros possa ser eliminada com adequações relativamente simples dos sistemas de fachadas (MACEDO FILHO, 1999). Além disso, as superfícies transparentes também transmitem, juntamente com o calor, luz para o ambiente interno. Há necessidade de balanceamento entre esses dois fatores distintos, para assegurar condições adequadas tanto de conforto térmico quanto visual.

Rivero (1986) afirma que os fechamentos transparentes são termicamente débeis; os problemas que originam aumentam à medida que o meio exterior se afasta das exigências do conforto.

Os sistemas de envidraçamento afetam a estética da edificação, fornecem ventilação, iluminação natural, integração visual entre o ambiente interno e externo, atuando diretamente no conforto humano e no consumo energético. Representam a maior fonte de perda de calor, no inverno, bem como de indesejável ganho de calor, no verão (CARMODY et al., 2000).

Conforme Goldemberg (2001), o parque edificado brasileiro é responsável por 46% do consumo energético nacional, sendo que, de acordo com Brandão (2004), o setor residencial consome 22,6% dessa porcentagem, o setor comercial 14,2% e o setor público é responsável pelo consumo de 8,8%. Destaca-se que os setores residencial e comercial são os principais responsáveis pelos altos índices de crescimento do consumo.

No Brasil, 17,5% do consumo de energia elétrica são relativos aos setores de comércio e serviços, cujas edificações são, geralmente, compostas por fachadas envidraçadas. Desse percentual, cerca de 75% são gastos com iluminação artificial e ar condicionado, indicando que a climatização exige demanda energética maior, e que as fachadas envidraçadas em países predominantemente quentes funcionam como “sugadores” de energia (NUTAU, 1998).

Segundo Romero (1999), as envolturas externas ganharam percentuais de vidro que atingem praticamente 100% em muitos casos, gerando ganhos extras de radiação solar. A necessidade de um número cada vez maior de ambientes condicionados, postura discutível para a latitude de São Paulo, gerou principalmente na arquitetura dos edifícios de escritório, o fechamento completo dos caixilhos, impossibilitando tanto a ventilação diurna quanto noturna. Nos centros urbanos de todo o Brasil, é muito comum encontrar edifícios tipo torre, com grandes empenas verticais expostas a intensa radiação, totalmente de vidro e sem nenhum tipo de proteção solar exterior.

O consumo por unidade de área (kW/m^2), juntamente com a demanda de pico (W/m^2) é um dos indicadores mais utilizados como elemento comparativo em pesquisas na área de conservação de energia elétrica, tanto no Brasil como no exterior. No Brasil utiliza-se o somatório mensal enquanto nos EUA e Europa utiliza-se o somatório anual (ROMERO, 1999).

A utilização racional de energia implica não somente em consumir menos, mas principalmente em adequação, otimizando o emprego de energia para determinados fins, eliminando desperdícios, desenvolvendo equipamentos com maior rendimento e adotando uma nova atitude de projeto (PETRONE, 1993). Na fase de projeto é onde se obtém o melhor potencial de economia de energia, ao se definir a implantação e orientação das fachadas.

Portanto, depreende-se que a fachada é um dos elementos responsáveis pelos resultados obtidos na economia de energia, e o vidro, imprescindível para compor a fachada, é um dos materiais mais requisitados nas exigências de desempenho térmico e energético.

Observa-se uma deficiência muito grande de informações sobre consumo de energia em edificações no país, embora diversos setores que participam do processo construtivo – instituições profissionais, construtoras, institutos de pesquisa, universidades, prefeituras, fabricantes de equipamentos e usuários - estejam envolvidos em projetos, para suprir essa insuficiência.

Neste trabalho, estuda-se o comportamento das superfícies transparentes como fachadas, através de medições em células-teste. Analisa-se, *in loco*, o desempenho térmico e eficiência energética de alguns materiais transparentes, caracterizados anteriormente através de análise espectrofotométrica (CARAM, 1996, 1998, 2002).

Esta tese está dividida em nove capítulos. No primeiro capítulo, apresenta-se uma breve introdução ao trabalho. Os objetivos do trabalho estão contidos no capítulo 2. No capítulo 3, justifica-se a necessidade de estudar o tema. A revisão bibliográfica compõe o capítulo 4. O capítulo 5 descreve a metodologia adotada. Os resultados estão no capítulo 6. O capítulo 7 apresenta as discussões e algumas considerações finais. No penúltimo capítulo são elaboradas as conclusões, e apontadas algumas sugestões de continuidade do trabalho. O último capítulo lista as referências bibliográficas.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o comportamento de materiais transparentes em fachadas, com relação ao ganho de calor total.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o desempenho térmico de materiais transparentes através de medições em protótipos do tipo célula-teste, providos de janelas com esses materiais.
- Estabelecer uma metodologia para esse tipo de pesquisa, definindo o arranjo experimental, as variáveis ambientais e temperaturas superficiais a serem consideradas.
- Calcular o ganho de calor, a partir dos resultados obtidos nas células-teste e dos dados espectrofotométricos.

2.3 HIPÓTESES

- Vidros refletivos são boas opções em termos de controle do calor solar.
- O comportamento em célula-teste é coerente com os resultados da análise espectrofotométrica e com o ganho de calor.

3. JUSTIFICATIVA

A pesquisa de avaliação do desempenho térmico e energético de materiais transparentes integra o Projeto Auxílio à Pesquisa da FAPESP, intitulado “Sustentabilidade e eficiência energética: avaliação do desempenho térmico de coberturas e do comportamento de materiais transparentes em relação à radiação solar” (Processo nº 99/11097-6), desenvolvido na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em conjunto com o Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Neste trabalho estuda-se o comportamento de 14 vidros, instalados em células-teste localizadas no campo experimental da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Campinas-SP. Esses vidros foram caracterizados, anteriormente, através de análise espectrofotométrica (CARAM, 1998 e SANTOS, 2002).

A prática largamente adotada em muitos países em relação ao uso de grandes áreas envidraçadas, sem elementos adequados de proteção, tem sido questionada devido aos problemas gerados pelo ganho de calor, como também devido ao conseqüente consumo energético. Dependendo da orientação geográfica e das características óticas dos materiais transparentes utilizados nas fachadas, pode haver um significativo acúmulo de energia térmica no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para os usuários, além de grande consumo energético necessário para o condicionamento térmico das mesmas (CARAM, 2002).

O envelope de uma edificação pode ser interpretado como uma barreira entre as condições externas e internas, sobre as quais não se tem um controle imediato. Uma das funções de um bom projeto arquitetônico é promover o controle das condições ambientais internas, funcionando a envolvente da edificação como um filtro que exclua as condições indesejáveis e aproveite as condições benéficas do ambiente externo. A radiação solar pode ser muito benéfica, quando bem aproveitada, como também pode ser especialmente indesejável em determinadas condições (LABAKI et al., 1995).

Caram (1998) e Santos (2002) analisaram materiais transparentes disponíveis no mercado nacional, usualmente empregados em fachadas na construção civil, sob o ponto de vista de suas propriedades óticas, isto é, caracterizando a transmitância e refletância através de medições em espectrofotômetro. Dentre os materiais analisados, encontram-se os vidros planos (incolor, verde, bronze e cinza), refletivos por processo pirolítico (incolor, prata, bronze, cinza e verde), refletivos por metalização a vácuo (prata, bronze, azul, azul intenso e verde) e os vidros laminados da cor verde, sendo um composto de vidros verdes e película incolor, e o outro contendo película verde e vidros incolor.

A partir daí, sentiu-se a necessidade de se verificar, em células-teste, o comportamento desses materiais transparentes, calculando o ganho de calor solar, em função dos vidros instalados, e sua influência no conforto térmico do ambiente construído.

Após seleção prévia de vidros planos, laminados e refletivos, foi solicitada a doação desse material à companhia de vidros CEBRACE, uma representante do grupo Pilkington.

Deve-se ressaltar que, em se tratando de desempenho térmico de vidros instalados em células-teste, muito pouco se tem encontrado na literatura nacional e internacional, o que salienta o ineditismo da presente tese.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 VIDROS

O vidro é uma solução resultante da solidificação progressiva, sem traços de cristalização, de misturas homogêneas em fusão. Pode-se dizer que o vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, sendo obtida pelo resfriamento de uma massa em fusão (VAN VLACK, 1984).

Tanto nas antigas construções como nas atuais, o vidro é utilizado principalmente pela sua transparência, sinônimo de luz e de comunicação, das quais o ser humano tem necessidade. A indústria moderna do vidro surgiu com a revolução industrial e a mecanização dos processos. Símbolo de modernidade arquitetônica desde o século XIX, o vidro pode ser considerado um material “tecnologicamente avançado”, funcional e refinado. Graças à extrema versatilidade, e devido à facilidade que possui de ser cortado, lapidado e moldado a quente, sua principal aplicação é na construção civil.

Apesar do vidro utilizado na construção civil possuir vários componentes, para sua fabricação é preciso fundir três elementos básicos:

- um vitrificante, a sílica, em forma de areia;
- um fundente, soda ou potassa, na forma de sulfato ou carbonato;
- um estabilizante, a cal, na forma de carbonatos.

No início do século XX, a redução dimensional dos elementos estruturais e sua separação dos elementos de vedação permitiram a utilização do vidro em superfícies cada vez maiores, até chegar às fachadas totalmente transparentes. Sua utilização proporcionava transparência e integração visual dos espaços internos e externos, além de um efeito plástico adequado aos princípios da arquitetura moderna. Porém, essas vantagens eram acompanhadas da perda de qualidades anteriormente oferecidas pelas paredes maciças, como a inércia térmica e a proteção solar. Ao mesmo tempo, técnicas naturais e estruturais de controle ambiental foram esquecidas e substituídas pelas possibilidades de incorporação de outras técnicas de calefação e climatização (MARAGNO, 2001).

As áreas envidraçadas são, possivelmente, os elementos mais complexos e interessantes na concepção de projetos, em geral. As janelas oferecem iluminação e ar puro, além de permitir a integração do ambiente interno com o externo. Porém, também representam a maior fonte de perda de calor, no inverno, bem como de ganho de calor indesejável, no verão. Hoje em dia, novas tecnologias são responsáveis por alterar significativamente o desempenho energético das janelas (CARMODY et al., 2000).

Atualmente, há no mercado uma variedade muito grande de tipos de vidros, que permitem vários tratamentos, aplicados sobre diferentes tipos e espessuras, resultando elementos de características muito variadas, que podem ainda ser combinados, em produtos laminados ou em caixilhos múltiplos.

Estão disponíveis vidros estirados, planos (floats), laminados, refletivos, serigrafados, impressos, duplos, entre outros.

Na última década, sistemas de janelas de alto desempenho, que reduzem a perda de calor, se tornaram um padrão em muitas zonas climáticas dos Estados Unidos, incluindo climas predominantemente frios e também os mais amenos, com a intenção de beneficiar os habitantes e também reduzir o consumo de energia total, considerando os efeitos causados ao meio ambiente (CARMODY et al., 2000).

Dessa forma, depreende-se que o vidro se tornou um componente primário das construções, ao invés de um simples material de fechamento.

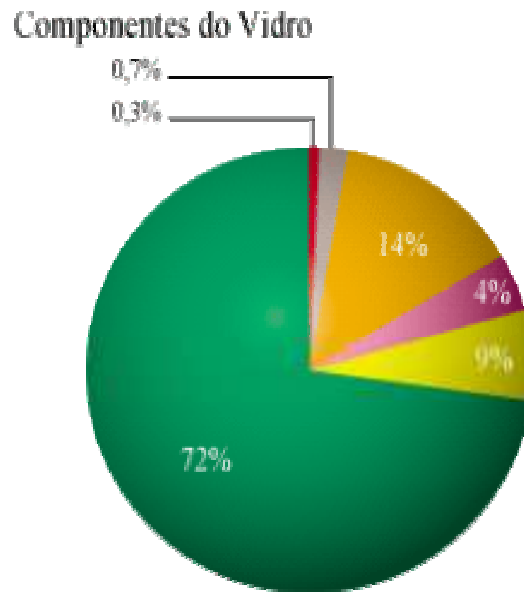
A seguir apresenta-se uma breve descrição dos vidros estudados nesse trabalho.

4.1.1 Vidro plano (float)

O processo de fabricação do vidro plano incolor, também chamado vidro liso ou vidro comum, é utilizado como base para a produção de outros tipos de vidros, como os coloridos, laminados e refletivos. As características óticas do vidro plano incolor de 3mm são geralmente adotadas como padrão de comparação com os demais tipos de elementos transparentes. O vidro plano incolor é ideal para aplicações que exijam perfeita visibilidade e alta transmissão de luz.

Conforme Cledwyn-Davies (1993), o vidro plano é obtido através do escoamento do vitrificante derretido sobre uma base de estanho líquido, em atmosfera controlada. Nesse processo o vidro forma uma camada contínua que flutua sobre o banho, sendo mantida a alta temperatura, próxima a 1100°C, o tempo suficiente para que as superfícies fiquem perfeitamente planas e paralelas, esfriando ao longo do banho, sendo então retirada, a 600°C.

Pelo sistema float-glass de produção de vidros, desenvolvido a partir de 1969 e adotado mundialmente, o produto adquire uma excelente qualidade ótica, comparável aos antigos e valiosos cristais, produzidos artesanalmente. Por isso, recebe também a denominação de cristal, embora a composição química deste último seja diferente do vidro plano. A composição química do vidro plano está ilustrada na FIG. 1.



Legenda:

- Sílica (SiO₂)
Matéria prima básica (areia) com função vitrificante.
- Potássio (K₂O)
- Alumina (Al₂O₃)
Aumenta a resistência mecânica.
- Sódio (Na₂SO₄)
- Magnésio (MgO)
Garante resistência ao vidro para suportar mudanças bruscas de temperatura e aumenta a resistência mecânica.
- Cálcio (CaO)
Proporciona estabilidade ao vidro contra ataques de agentes atmosféricos.

FIGURA 1 – Composição química do vidro

Fonte: CEBRACE, 2005

No Brasil, o mercado oferece as espessuras de 2 a 19mm, nas cores cinza, verde, bronze e incolor.

Os vidros coloridos são produzidos pelo mesmo sistema dos vidros incolores, com a diferença da incorporação de aditivos minerais à mistura vitrificável, de acordo com a coloração desejada. Pode-se citar a utilização de ferro (coloração verde), cobalto (coloração azul), cromo (coloração amarela), e selênio (coloração vermelha), com observado na FIG. 2. É importante notar que, ao se variar a quantidade adicionada, a tonalidade da cor também é alterada (SAINT-GOBAIN, 2006).

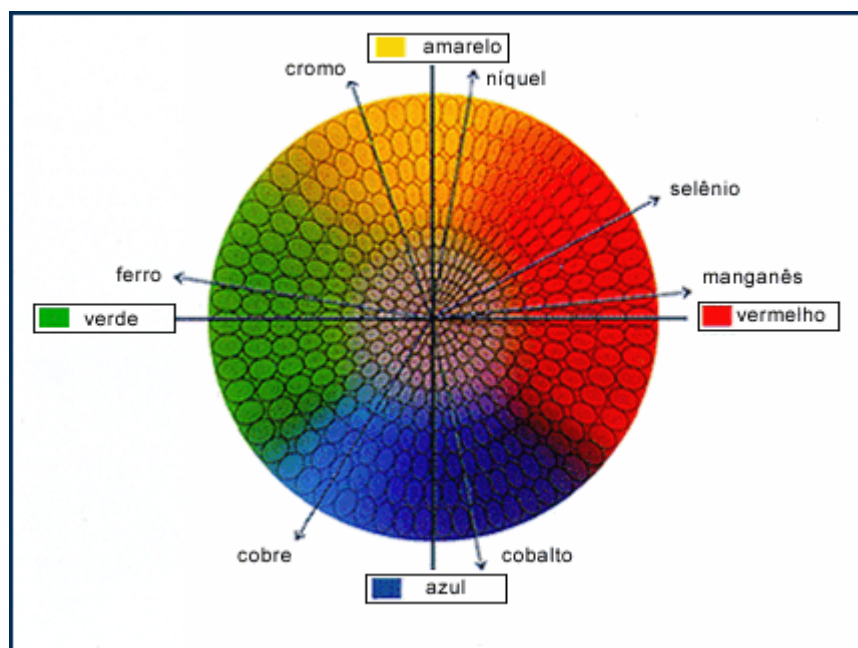


FIGURA 2 – Efeitos de alguns minerais adicionados ao vidro

Fonte: Saint-Gobain, 2006

A principal finalidade do vidro colorido é a redução da transmitância solar, pela absorção de uma grande parcela da energia incidente, reduzindo o ganho de calor solar direto, bem como o ofuscamento no interior do edifício. Por isso, é conhecido também como vidro termo-absorvente.

Além das aplicações do vidro plano na construção civil e arquitetura, pode-se citar outras aplicações, como por exemplo, móveis e decoração, automóveis e eletrodomésticos, graças a sua capacidade de ser cortado, lapidado, laminado ou temperado.

Em resumo, o vidro plano caracteriza-se por possuir faces planas e paralelas com ótimo acabamento, sem distorções óticas, com espessura uniforme e massa homogênea. Oferece um alto índice de transparência, não recebendo nenhum tratamento especial. A qualidade obtida pelo processo float (plano) é responsável por mais de 90% de toda a produção de vidros do mundo (CEBRACE, 2005).

4.1.2 Vidro impresso

Este vidro apresenta característica de um material translúcido, por difundir a luz e a radiação solar, atuando como barreira visual, sem prejuízo da luminosidade. Possui uma ou ambas as faces impressas com desenhos ou motivos ornamentais, sendo conhecido também como vidro fantasia.

O vidro impresso pode ser encontrado nos mais variados padrões, como pontilhado, boreal, mini-boreal, mosaico, canelado. Disponível nas espessuras entre 4 e 10mm, em diversas cores, pode ser submetido à têmpera e à laminação, sendo muito utilizado em boxes de banheiros. É um dos poucos tipos de vidro que não é proveniente do vidro plano. É produzido em forno próprio, através de técnica de produção diferenciada.

4.1.3 Vidro laminado

Esse tipo de vidro é composto por duas ou mais chapas de vidro plano, intercaladas por uma película polimérica de grande resistência (PVB – polivinil butiral), incolor ou colorida (FIG. 3). Essa película possui boa elasticidade e boa aderência às chapas de vidro. A ligação final entre película-vidro é obtida por um processo que utiliza pressão e calor.

Em caso de rompimento ou quebra acidental, a principal função da película de PVB é a de reter os fragmentos, fazendo com que a lâmina permaneça intacta, preservando o ambiente até a substituição do vidro, e assegurando integridade às pessoas e/ou patrimônio. Além disso, o polímero apresenta também a propriedade elástica quando forçado, resistindo à entrada ou queda de pessoas ou objetos, embora se rompa sob ação de esforços contínuos (COMPAGNO, 1996).

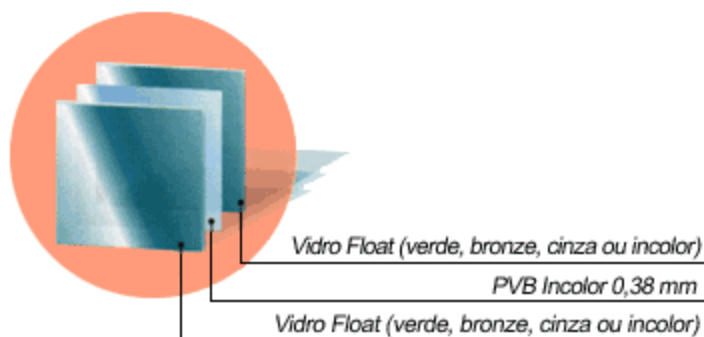


FIGURA 3 – Camadas de vidro laminado com PVB incolor.

Fonte: CEBRACE, 2005

Os vidros laminados podem atuar como barreira mecânica, pois suas espessuras podem chegar até 60mm, com resistência a balas de arma de fogo de diversos calibres. Em edificações, podem ser utilizados em coberturas, fachadas, sacadas, parapeitos, dependências esportivas, piscinas, clarabóias e outros (CARAM, 1998).

Devido ao amortecimento das vibrações sonoras no vidro e no polímero, os laminados possibilitam uma redução de ruídos indesejáveis maior que os vidros monolíticos (SANTA MARINA, 2000).

Pode-se considerar o vidro laminado um elemento multifuncional, pois, além da segurança proporcionada aos ambientes internos, atenuando os ruídos externos, esse vidro filtra 99,6% da radiação ultravioleta, minimizando o desbotamento de móveis e tecidos (CEBRACE, 2005).

Conforme citado por Saflex (2005), fabricante de películas, o vidro laminado com película transparente ou pigmentada é essencialmente um filtro para radiação UV. Em testes de desbotamento de tecidos, foi demonstrado que o vidro laminado, quando comparado ao vidro comum, reduz consideravelmente a taxa de descoloração nos tecidos. Além disso, ao se utilizar uma película pigmentada pode-se filtrar parcialmente a radiação de luz visível e conter o aumento de calor solar, pois a película atua na absorção de energia do espectro solar. Grande parte dessa energia retida no vidro será dissipada para fora do edifício por re-irradiação e convecção.

Ao contrário do vidro com massa colorida, não é necessário aumentar a espessura total do vidro para se chegar a uma cor mais escura, com absorvância mais elevada.

Em casos onde painéis de vidro em uma mesma fachada devem ter diferentes espessuras para atender a variados requisitos de segurança, o uso de PVB colorido pode evitar que haja distorção de cores.

Os vidros laminados podem ser encontrados em diversas cores e em duas versões: simples e múltiplo. O laminado simples é composto por duas lâminas de vidro e uma película polimérica. Já o laminado múltiplo, composto por vários vidros e/ou várias películas, é mais utilizado onde se necessita uma resistência maior a altas pressões e impactos (CEBRACE,2005).

Quando a combinação dos componentes do vidro laminado envolve vidros refletivos, vidros coloridos, ou PVB colorido, pode-se chegar a excelentes resultados de controle de energia solar, reduzindo-se a transmissão de luz e calor pelo envidraçamento. Esta característica reverte no benefício de economia do sistema de refrigeração de ambientes e seu melhor conforto térmico.

O controle térmico pode atingir ainda níveis mais elevados, como a baixa transferência de calor por condução através do vidro, ao se utilizar vidro laminado na composição de um envidraçamento duplo (câmara de ar).

4.1.4 Vidro refletivo

Com a função de filtrar os raios solares através da reflexão da radiação em todas as suas frequências, de forma seletiva, os vidros refletivos podem ser grandes aliados do conforto ambiental e da eficiência energética nas edificações. Além de controlar a insolação, esses vidros cumprem duas tarefas básicas: proporcionar maior conforto visual e efeito estético requintado.

Desenvolvido com tecnologia que garante o controle eficiente da intensidade da luz e do calor transmitidos para os ambientes internos, através das fachadas e coberturas, o vidro refletivo requer, para sua especificação, que o projetista conheça suas características de desempenho ótico e leve em consideração itens como transmissão de luz e calor, refletância, cor do vidro, região em que se localiza a obra, orientação da fachada e finalidade da edificação. Sem estes e outros estudos, há riscos

de o projeto apresentar problemas como claridade desconfortável e aquecimento do ambiente interno ou quebra de vidros em alto percentual, devido ao estresse térmico causado pela alta absorção energética.

O vidro refletivo pode ser fabricado a partir do vidro plano monolítico, incolor ou colorido, que recebe numa de suas faces uma camada de óxidos (ou sais) metálicos.

Atualmente, dois processos são utilizados para a deposição da camada metálica: o processo de metalização a vácuo por sputtering (off line – fora da linha de produção) e o pirolítico (on line – dentro da linha de produção do vidro).

Metalização a vácuo

Nesse processo, a camada refletiva é depositada em câmaras de alto vácuo, por bombardeio iônico e em atmosfera de plasma, depois do vidro sair da linha de produção e ser resfriado. Segundo Cledwin-Davies (1993), na câmara, parcialmente ocupada com um gás (argônio, oxigênio ou nitrogênio), chapas de vidro cortadas se movem sobre cilindros, sendo posicionadas sob uma placa do metal a ser depositado, de tamanho similar ao vidro. Com alta voltagem, são produzidos elétrons de alta energia entre o vidro e a placa, formando íons de carga positiva no gás, que colidem com a placa do metal, ejetando átomos do mesmo, os quais então se projetam e condensam na superfície do vidro, formando, assim, a camada metálica. Um campo magnético permanente sobre a chapa de metal aumenta a velocidade de deposição dos átomos metálicos, assegurando a uniformidade da camada.

O resultado desse processo é a obtenção de vidros refletivos com bom desempenho de proteção solar, porém, com uma camada refletiva superficial, de baixa resistência. Esses vidros foram inicialmente desenvolvidos para assegurar o conforto térmico nos países do hemisfério Norte; portanto, a face tratada deve ser colocada voltada para o interior da edificação, proporcionando maior conforto e economia ao usuário, através do controle da entrada de luz e calor no ambiente. A camada refletiva

colocada na parte interior da edificação faz com que ocorra uma redução das perdas de calor (infravermelho longo) devido à sua baixa emissividade.

Pirólise

No processo pirolítico, a camada refletiva é aplicada na face superior do vidro enquanto a placa ainda não esfriou, ou após sofrer novo aquecimento. Como a chapa de vidro está quente e com sua superfície em estado plástico, os óxidos penetram um pouco na superfície e, ao resfriar o vidro, a camada refletiva torna-se bem resistente.

O vidro refletivo pode ser laminado, serigrafado ou temperado. Porém, são necessários alguns cuidados em algumas situações: os vidros que passam pelo processo a vácuo não podem ser temperados, e o processo de serigrafia deve ser feito antes do depósito dos óxidos. Pelo fato da camada refletiva do vidro metalizado a vácuo ser menos resistente, suscetível a ataques químicos atmosféricos e desgastes mecânicos, não permitindo tratamentos posteriores, recomenda-se sua utilização somente como vidros laminados ou duplos. Em contrapartida, os refletivos pirolíticos podem ser temperados e serigrafados após o processo de pirólise, podendo ser curvados ou termoendurecidos.

A princípio, o tratamento refletivo pode ser efetuado sobre qualquer cor e espessura de vidro plano, no entanto, as espessuras mais comercializadas no Brasil são de 4, 6, 8 e 10mm.

Avanços tecnológicos

Além dos vidros supracitados, deve-se ressaltar que avanços tecnológicos mais recentes incluem, por exemplo, janelas com caixilhos duplos ou triplos, onde os vidros possuem películas de baixa emissividade (*low-e*), ou ainda caixilhos duplos ou triplos com inserção de gás inerte em seu interior. Ainda, podem-se citar sistemas holográficos de envidraçamento, materiais cromogênicos como dispositivos de cristais líquidos, vidros termocrômicos, fotocrômicos e eletrocrômicos. Esses vidros, considerados vidros

inteligentes, não serão detalhados no presente trabalho, por fugirem do escopo de análise proposto.

A seguir, apresenta-se uma discussão sobre os fechamentos transparentes e seu comportamento frente à radiação solar, priorizando o efeito térmico.

4.2 EFEITO TÉRMICO DOS FECHAMENTOS TRANSPARENTES

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. As áreas envidraçadas, ao serem utilizadas nesses fechamentos, 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. 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.

Os materiais transparentes usualmente empregados em fachadas são constituídos por vidros e películas poliméricas, as quais costumam ser aplicadas sobre áreas já instaladas. Esses materiais podem representar uma opção em termos de controle da radiação solar, porém esse controle é de atuação limitada. Se uma área transparente for mal dimensionada ou posicionada de forma errada pode provocar um calor excessivo no ambiente.

Conforme Rivero (1986), os fechamentos transparentes são um ponto fraco da envoltória de um edifício, apresentando uma série de inconvenientes: possuem elevada transmitância, obrigando a aumentar o dimensionamento dos equipamentos condicionadores de ar para verão e inverno, e incrementando as despesas de instalação e funcionamento.

O mercado 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 se levando em consideração as características óticas e o comportamento desses materiais frente à radiação solar.

A radiação solar, radiação eletromagnética emitida pelo sol, compreende um espectro que varia de 300 a 3000 nm (DUFFIE & BECKMAN, 1980), sendo denominada *radiação de onda curta*. O espectro solar abrange três faixas de comprimento de onda: ultravioleta, visível e infravermelho, definidas a seguir.

- *Radiação ultravioleta* (comprimentos de onda de 100 a 380 nm): causa desbotamento ou descoloração de tecidos, melhora a síntese de vitamina D através da pele; possui efeito bactericida e é responsável pelo bronzeamento.
- *Radiação visível* (de 380 a 780 nm): está associada à intensidade de luz branca transmitida, influenciando diretamente no grau de iluminação de um ambiente.
- *Radiação infravermelha* (780 a 3000 nm): fonte de calor, interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor solar.

A radiação que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre distribui-se nas regiões do espectro nas seguintes proporções aproximadas: 7% no ultravioleta, 47% no visível e 46% no infravermelho. Estas proporções variam segundo as condições atmosféricas, nebulosidade e presença de vapor de água (DUFFIE & BECKMAN, 1980).

A energia solar incidente nas camadas superiores da atmosfera varia em função da distância da Terra ao Sol, no transcorrer do ano, devido à excentricidade da órbita da Terra. Depende, portanto, da distância Terra-Sol na região considerada, além de outros fatores; porém, adota-se um valor médio de 1353 W/m^2 (DUFFIE & BECKMAN, 1980). Esse valor representa a chamada *constante solar*, definida como a intensidade da radiação solar que incide sobre uma superfície normal à radiação, localizada imediatamente fora da atmosfera terrestre, quando a distância Terra-Sol está em um valor médio de $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$ durante a órbita elíptica da terra (SANTOS, 2002).

À medida que a radiação penetra a atmosfera terrestre, sua intensidade diminui, devido aos efeitos de absorção, reflexão, refração e difusão pelas partículas. A distribuição espectral também é alterada, pois a absorção da radiação na atmosfera é seletiva para diferentes comprimentos de onda: a radiação ultravioleta é absorvida pelo ozônio, ao passo que a infravermelha é absorvida pelo vapor de água e dióxido de carbono. A reflexão da radiação, predominante nas gotículas de água, independe do comprimento de onda. Já a refração e a difusão são seletivas, dependendo das dimensões das partículas, tendo lugar quando as dimensões são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda. É a difusão da radiação que permite a iluminação diurna mesmo na ausência de luz solar direta (GIVONI, 1981).

Ao contrário do que acontece com a transferência térmica pelas paredes, a entrada da radiação solar pelos vidros das janelas, e sua conseqüente transformação em calor dentro do ambiente, é de efeito imediato. O aquecimento excessivo devido a superfícies transparentes é causado por um efeito térmico conhecido como *efeito estufa*. Os vidros possuem uma característica específica responsável por tal efeito, pois são transparentes à radiação de onda curta; em contrapartida, são opacos à radiação de onda longa. A maior parte da radiação solar incidente, que é transmitida diretamente por esses materiais, é absorvida pelas superfícies internas e objetos, aquecendo-os. Devido a esse aquecimento, a emissão de radiação térmica ocorre com maior intensidade, pois essa emissão é proporcional a T^4 , já que o fluxo de calor emitido, por radiação, por unidade de área, por um corpo a temperatura absoluta T é dado por:

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (1)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann (INCROPERA & DE WITT, 1990) e ε é a emissividade da superfície.

Dessa forma, os vidros funcionam como “armadilhas” para o calor, proporcionando um superaquecimento do ambiente interno. Em países de climas frios essa técnica é muito útil para captar e conservar a energia solar durante o dia e aproveitá-la à noite.

No Brasil, no entanto, é interessante evitar o excesso de radiação solar sem diminuir o aproveitamento de iluminação natural. O incremento da carga térmica interna devido aos ganhos por radiação solar pode ser muito grande em alguns casos, levando ao superdimensionamento de equipamentos de refrigeração. Este é o caso de muitos edifícios brasileiros que utilizam fachadas-cortina. Em sua maioria, os vidros recobrem também suas vigas periféricas, formando um colchão de ar não ventilado. É nesse ambiente – parede de alvenaria, ar e vidro – que se verifica perfeitamente o efeito estufa e onde a temperatura pode chegar a 70°C. O calor acumulado é transferido à alvenaria, aquecendo-a por condução, e esta, por sua vez, aquece o ambiente interno por irradiação. Esse fenômeno se agrava ainda mais quando as alvenarias são pintadas de preto ou os vidros são escuros (MACEDO FILHO, 1999).

Há outro aspecto que deve ser observado com relação aos materiais transparentes e que se refere à qualidade da radiação solar transmitida para o ambiente interno. A partir da radiação solar incidente no vidro, uma parcela é absorvida, outra refletida e a restante, maior, transmitida diretamente ao ambiente interno. Da parcela absorvida, uma porcentagem é reirradiada para o interior do ambiente, e o restante para o exterior. Essa porcentagem depende da transmitância térmica total (fator U), bem como dos coeficientes superficiais interno e externo de transmissão de calor (h_i e h_e). As proporções correspondentes à energia diretamente absorvida (I_a), refletida (I_p) e transmitida (I_t) variam de acordo com o comprimento da onda incidente,

além de estarem também relacionadas com a espessura, a cor e o índice de refração do vidro e o ângulo de incidência da radiação (SCHOLZE, 1980). As razões entre cada uma destas três parcelas no fluxo incidente definem a absorptância, refletância e transmitância do vidro. A FIG. 4 esquematiza o comportamento de energia solar incidente sobre uma superfície transparente.

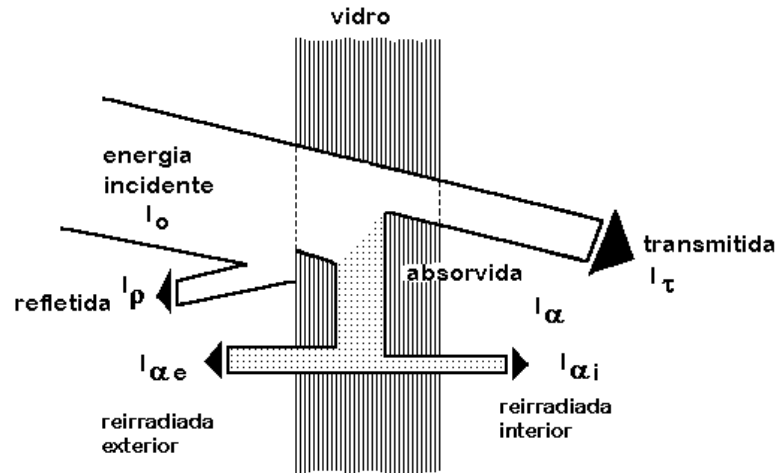


FIGURA 4 - Esquema utilizado para explicar o comportamento da energia solar incidente sobre uma superfície transparente

Fonte: CROISSET, 1970 (modificada).

Da FIG. 4 pode-se observar que a radiação solar incidente (I_o) sobre uma superfície envidraçada é decomposta em três parcelas:

- radiação I_τ , transmitida diretamente através do vidro para o interior;
- radiação I_ρ , refletida pela superfície do vidro para o exterior;
- radiação I_α , absorvida pelo vidro, sendo dissipada na forma de ondas longas para o ar exterior ($I_{\alpha e}$) e interior ($I_{\alpha i}$), em proporções que dependem das condições ambientais.

Portanto,

$$I_o = I_\tau + I_\rho + I_\alpha \quad (2)$$

ou

$$1 = \tau + \rho + \alpha \quad (3)$$

onde:

$$\tau = \text{transmitância} = \frac{I\tau}{I_o}$$

$$\rho = \text{refletância} = \frac{I\rho}{I_o}$$

$$\alpha = \text{absortância} = \frac{I\alpha}{I_o}$$

A transmissão através dos vidros depende principalmente de fatores como o ângulo de incidência da radiação, a espessura, a composição química e a característica superficial do vidro. Nesse trabalho, o ângulo de incidência da radiação é considerado como sendo o ângulo entre a direção da radiação e a normal à superfície em análise. A proporção de energia diretamente transmitida diminui a medida em que o ângulo de incidência torna-se maior que 45° com a normal. A partir de 60° a quantidade de radiação direta transmitida diminui consideravelmente, pois a refletância aumenta. Ou seja, quanto maior for o ângulo de incidência, maior a refletância. Além do ângulo de incidência, a refletância depende do índice de refração do vidro, o qual é considerado 1,5, para os vidros utilizados na construção civil (CARAM, 1998). A FIG. 5 ilustra a transmitância e refletância em função do ângulo de incidência.

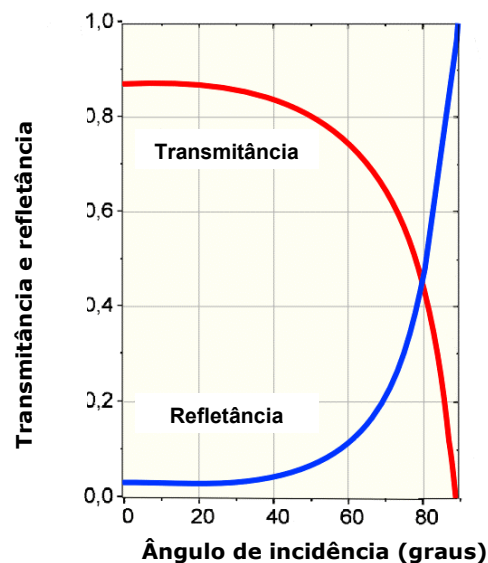


FIGURA 5 – Transmitância e Refletância em função do Ângulo de Incidência
Fonte: ASHRAE, 1997 (modificada).

Em relação à influência da espessura na transmissão, quanto maior for a espessura de um vidro, menor será a transmissão, devido à absorção que ocorre no material.

A absorção é função da espessura e da composição do vidro. A adição de óxidos à composição causa absorção para determinadas regiões do espectro solar, podendo absorver seletivamente na região do ultravioleta, do visível e do infravermelho.

Depreende-se, portanto, que cada tipo de vidro apresenta distintas transmissões, para cada uma das faixas do espectro solar. Um vidro ideal seria, dentro do conceito da 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, proporcionando conforto visual, e baixa transmissão do ultravioleta (responsável pelo desbotamento) e infravermelho (fonte de calor).

Caram (1996 e 1998) obteve valores de transmitância para cada região do espectro solar, para diversos tipos de vidros e películas poliméricas, para incidência normal. Santos (2002) obteve estes mesmos valores para ângulos de incidência variados.

Após identificar os valores de transmitância desses diversos tipos de vidros, sentiu-se a necessidade de verificar experimentalmente os resultados da aplicação desses materiais em fachadas sujeitas à incidência de radiação solar, resultados estes na forma de variáveis ambientais. Com isso é possível verificar o efeito dessas superfícies transparentes no conforto térmico e visual e, dessa forma, inferir o desempenho energético.

A seguir apresenta-se um panorama de alguns trabalhos existentes sobre materiais transparentes e o controle energético em edificações, enfocando o ganho de calor solar e a iluminação natural.

4.3 OS MATERIAIS TRANSPARENTES E O CONTROLE ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES

Até o ano de 2001 o Brasil não possuía qualquer tipo de norma que regulasse o gasto desnecessário de energia elétrica nos edifícios. Em 2001, foi sancionada a Lei nº10295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a) para racionalizar o consumo de energia de equipamentos e edificações, imediatamente seguida do Decreto nº4059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b), que regulamenta a Lei nº10295.

As edificações são responsáveis por cerca de 48% do consumo de energia elétrica no Brasil, considerando-se os setores residencial e comercial. Grande parte dessa energia é consumida na geração do conforto ambiental aos usuários. As estatísticas exibem que o potencial de conservação em prédios já construídos pode ser de até 30%, alcançando 50% em prédios novos (PROCEL, 2004).

As questões de conforto exercem um papel crucial na definição do edifício de menor impacto ambiental e maior eficiência energética. Sabe-se que o grande propósito do aquecimento, da ventilação, do arrefecimento e da iluminação artificial é fazer a conexão entre o que se espera e se necessita do conforto ambiental, e o que o edifício, desprovido dos sistemas artificiais de climatização, é capaz de oferecer. O rigor das condições climáticas locais é um dos fatores mais importantes na diferença entre a participação do projeto arquitetônico e da tecnologia, na criação dos ambientes internos (GONÇALVES, 2003).

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. Depende da capacidade de uma construção tirar proveito ou driblar as condições climáticas, utilizando minimamente a tecnologia. Em outras palavras, ela é consequência direta da qualidade do projeto.

Deve-se ter em mente a concepção de projetos que possibilitem a execução de edifícios mais eficientes, logrando com essa postura o conforto dos usuários e o uso racional da energia, reduzindo o consumo para iluminação, por condicionamento do ar e por aquecimento da água.

Um dos principais desafios para a arquitetura, hoje em dia, é conciliar o conforto ambiental e a eficiência energética das edificações. A maioria das edificações desperdiça relevantes oportunidades de poupar energia e custos, por não considerar, desde a fase de projeto arquitetônico, construção, até a utilização final, os importantes avanços ocorridos nas áreas de arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologia construtiva vinculados à eficiência energética.

Atualmente, há vários estudos sobre eficiência energética e conforto, com relação a desempenho térmico de áreas envidraçadas, enfocando, principalmente, edifícios comerciais, onde grande parcela do consumo energético é atribuída a sistemas de condicionamento de ar. Geralmente, nesses estudos, encontra-se especial atenção do desempenho térmico de materiais com relação à iluminação natural, e, somente em poucos trabalhos existe o enfoque no ganho de calor solar.

Na arquitetura moderna, as janelas desempenham um importante papel na redução da demanda energética em relação às cargas de aquecimento e resfriamento e aos padrões de iluminação exigidos. Portanto, a inter-relação entre o projeto das janelas e o desempenho térmico de edificações tem sido largamente explorada.

Trebilcock et al. (2003) analisaram algumas estratégias de projeto para aprimorar o desempenho térmico e energético de três residências, no Chile. Através de simulação computacional, concluíram que as estratégias mais eficientes na redução da demanda de energia foram a inclusão de sistema de envidraçamento duplo, o que apresentou uma redução de 22%, além do aumento da isolação, que conferiu 29% de redução na demanda energética.

Pedrini & Szokolay (2003) desenvolveram uma ferramenta de diagnóstico do consumo de energia direcionada às primeiras fases do projeto arquitetônico em clima quente. A pesquisa é resultado do estudo combinado do processo de projeto arquitetônico teórico e prático, das estratégias de redução do consumo de energia, do comportamento energético e de métodos de predição do consumo energético de edificações. Os resultados foram associados à escala de classificação do desempenho energético o Australian Building Greenhouse Rating Scheme (BANNISTER, 1999 citado por PEDRINI & SZOKOLAY, 2003).

Essa classificação consiste de uma a cinco estrelas: quanto maior o número de estrelas, mais eficiente é a edificação. Conforme a TAB. 1, a escala original foi normalizada para atender às características de ocupação dos modelos simulados.

TABELA 1

Classificação de desempenho energético para a análise paramétrica

Número de estrelas	Classificação original (kWh/m ²)	Classificação corrigida para a ocupação usada nas simulações (kWh/m ²)
★(1)	387	546
★★(2)	323	466
★★★(3)	259	386
★★★★(4)	194	306
★★★★★(5)	130	227

Fonte: PEDRINI & SZOKOLAY, 2003 e 2005.

Para uma determinada simulação de entrada de dados, considerando possibilidades de combinação de proteção externa e consumo de energia para dois tipos de vidro (incolor e verde) foi possível concluir que, com a simples troca do vidro incolor pelo verde acarretou um aumento na classificação da edificação. Enquanto o desempenho energético, com o vidro incolor, oscilou entre 2 e 5 estrelas, com a utilização do vidro verde a variação ficou restrita a 4 ou 5 estrelas. Além disso, a

influência das proteções solares foi reduzida, ao se utilizar o vidro verde. Portanto, nota-se a nítida influência do tipo de vidro no consumo energético de uma edificação.

A tipologia e o tamanho ideal da janela com a finalidade de minimizar o consumo de energia em edificações tem sido amplamente explorado através de simulações computacionais.

A relação entre a área envidraçada e a área total da fachada é utilizada como parâmetro em estudos sobre a influência das características arquitetônicas no consumo de energia (TOLEDO et al., 1995). Esta relação é conhecida como WWR – Window Wall Ratio – e, em conjunto com as características óticas do envidraçamento, são consideradas as principais características de projeto que influem consideravelmente no desempenho energético e no conforto ambiental das edificações. Quando este índice ultrapassa 50%, ou seja, a área de janela é maior que 50% da área da fachada, o desempenho tende a decrescer, sendo necessário o uso do ar-condicionado.

Gómez & Lamberts (1995) fizeram uma simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios, e chegaram à conclusão que as cargas térmicas e, conseqüentemente o consumo elétrico, são maiores no caso de uma maior área de janela (WWR), no caso da utilização de vidros simples comuns, sem brises. Além disso, para uma redução no WWR de 70% para 30% o consumo elétrico reduziu de 15 a 25%, principalmente em prédios retangulares.

Inanici & Demirbilek (2000) estabeleceram valores ótimos de WWR e tamanhos de janelas orientadas ao sul, sob o ponto de vista de desempenho térmico, com a finalidade de minimizar as cargas térmicas de aquecimento e refrigeração em cinco diferentes regiões climáticas na Turquia. Concluíram que o WWR de 25% da janela orientada ao sul era o ideal em climas quentes, devido à necessidade de se diminuir o ganho de calor, no verão. Por outro lado, tamanhos maiores de janelas eram preferíveis em climas frios, devido à necessidade de se aumentar os ganhos de calor, no inverno. Isso quer dizer que tamanhos maiores de janelas resultavam em um aumento da carga

de refrigeração, enquanto causavam uma diminuição da carga de aquecimento, devido ao ganho de calor solar.

Miyazaki et al. (2005) investigaram uma janela com painel fotovoltaico semitransparente composta por envidraçamento duplo, através de simulação computacional, em Tokyo (Japão). Analisaram o efeito deste tipo de janela no consumo de energia de edifícios comerciais, em relação às cargas de aquecimento e resfriamento, iluminação natural e produção de eletricidade. O objetivo do estudo era encontrar a transmitância ótima do painel semi-transparente, bem como a relação WWR ideal, para minimizar o consumo energético total anual, considerando as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento, a iluminação natural e a produção de eletricidade. Realizaram uma comparação da janela com envidraçamento duplo e simples, considerada como referência. Aumentando-se o WWR, o consumo total de energia também se ampliava. Em contrapartida, o consumo total de energia do ambiente com a janela fotovoltaica diminuiu com o aumento do WWR, porque a produção de eletricidade aumentou com o WWR. A janela fotovoltaica com WWR de 50% pôde reduzir o consumo total de eletricidade em torno de 18%, ao se comparar com a janela de vidro simples e WWR de 30%. As principais conclusões desse trabalho foram:

- Sem dispositivos de controle de iluminação artificial, valores menores de transmitância do painel fotovoltaico forneceram menor consumo de eletricidade, independentemente do fator WWR.

- Com controle de iluminação, os valores ótimos de transmitância do painel fotovoltaico ficaram em 80% para um WWR de 30%, 60% para WWR de 40%, e 40% para WWR de 50%. Conforme se diminuía a transmitância, era necessário aumentar o WWR, para haver economia de energia.

Além disso, os resultados mostraram que uma transmitância solar de 40% e um índice WWR de 50% alcançavam o mínimo consumo de eletricidade na edificação, quando a iluminação artificial era conjugada com a natural. E, ao se utilizar a janela fotovoltaica, o consumo de eletricidade reduziu para 55% comparado à janela com vidro simples e WWR de 30% e sem controle de iluminação.

Krarti et al. (2005) avaliaram, através de simulação computacional, o potencial de iluminação natural na economia de energia associado ao uso de iluminação artificial. Os desempenhos de iluminação natural foram investigados para diversas combinações de geometrias de edificações, tamanho das aberturas, bem como tipologias de vidros, para quatro localizações geográficas nos Estados Unidos. Os resultados obtidos ilustram que, para todas as situações analisadas, um aumento na razão entre área de janela e área de piso resulta em maior economia de energia elétrica. Além disso, a transmitância do vidro das janelas possui um impacto significativo na iluminação natural. À medida que a transmitância era reduzida, a economia de iluminação artificial também era reduzida. Porém, ao se combinar esses dois fatores (transmitância do vidro e área de janela), concluíram que, para valores de transmitância do vidro maiores que 0,5, ao se aumentar a área de janela em relação ao piso para mais de 0,5, o uso de iluminação natural não fornecia significativa economia de energia elétrica.

Projetos insensíveis à consciência ambiental, de edifícios comerciais modernos, materiais de construção impróprios e excesso da área envidraçada são alguns dos fatores que causam, hoje em dia, graves problemas ambientais. As consequências são a utilização irracional de iluminação artificial durante o dia, em locais onde cortinas pesadas são utilizadas como proteção da radiação solar direta, e o aumento do consumo elétrico necessário para minimizar os efeitos do calor, gerado pela iluminação artificial.

O uso de iluminação natural é um dos fatores mais importantes a serem levados em consideração em projetos de janelas. A iluminação natural afeta as cargas térmicas de aquecimento e refrigeração das edificações, em termos do ganho de calor solar, bem como o ganho de calor proveniente da iluminação artificial quando há instalação de dispositivos para controle de iluminação.

Lam & Li (1999) relataram, através da simulação computacional de desempenho energético de um edifício comercial em Hong Kong, que a carga térmica para refrigeração e o consumo anual de eletricidade foram reduzidos em 11% e 13% respectivamente, devido à utilização de iluminação natural.

Bodart & De Herde (2002), em estudo realizado na Bélgica, avaliaram, através de simulação computacional, o impacto da economia de energia elétrica no consumo energético de edificações comerciais, através da combinação de aspectos de iluminação natural e de desempenho térmico. Os resultados mostraram que a utilização da iluminação natural pode reduzir o consumo de energia elétrica com iluminação artificial de 50 a 80%. Além disso, a economia global de energia não provém apenas da redução do consumo de energia com iluminação artificial, mas também da redução das cargas térmicas internas, que alcançaram 40%, para um determinado tipo de envidraçamento utilizado em edifícios de escritórios.

Ragab (2003) realizou uma revisão das considerações tradicionais em projetos de fachadas e analisa o consumo energético de diferentes sistemas de envidraçamento em edifícios comerciais, utilizando sistemas de iluminação natural variados, na cidade de Abu Dhabi, localizada nos Emirados Árabes. Os resultados obtidos demonstram potenciais de economia de energia através da iluminação artificial, com a utilização de novas técnicas de iluminação natural como, por exemplo, a utilização de espelhos como ferramenta de iluminação direta, acentuando a utilização de iluminação natural, bem como inovações nos sistemas de proteção solar.

Dessa forma, pode-se depreender que o aproveitamento da luz natural é uma questão relevante quando se objetiva uma edificação energeticamente eficiente. O principal cuidado é com a escolha do vidro, para que a edificação não se transforme em uma caixa concentradora de calor.

Grandes áreas envidraçadas oferecem maior iluminação natural, porém permitem excessivos ganhos ou perdas de calor, enquanto aumentam a carga térmica para resfriamento ou aquecimento, e, conseqüentemente, o consumo de energia.

Ghisi & Tinker (2004) propõem uma metodologia para predizer o potencial de economia de energia na iluminação, utilizando o conceito de área envidraçada ideal, quando há efetiva integração do sistema de iluminação natural com o artificial. Essa integração ocorre apenas quando o sistema de iluminação artificial pode ser acionado

ou não, em função dos níveis de iluminação natural que alcançam as áreas de trabalho. A análise energética foi executada através de simulação computacional utilizando o programa Visual DOE, para as condições climáticas das cidades de Leeds (Inglaterra) e Florianópolis (Brasil). Foram utilizadas salas de dez tamanhos diferentes e de cinco diferentes proporções entre comprimento e largura. Para determinar a área envidraçada ideal, as simulações foram realizadas considerando áreas envidraçadas de 0 a 100%, com incremento de 10%. A partir daí, a sala que obtivesse o menor consumo energético era aquela de área ideal de janela. O potencial de economia de energia foi determinado para cada sala utilizando o método baseado no “Fator de Luz do Dia”. Os autores chegaram à conclusão de que a economia de energia na iluminação em Leeds foi de 10,8% a 44,0% em todos os tamanhos e proporções de salas, para uma iluminância externa de 500 lux. Já em Florianópolis, a economia ficou entre 20,6% e 86,2% para uma iluminância externa de 10000 lux.

O trabalho de Jorge et al. (2005) analisa a aplicabilidade de uma correlação, desenvolvida previamente a partir de um modelo simplificado, para predição da economia de energia elétrica associada à iluminação de edificações comerciais, quando se utilizam controladores do tipo “diming” para aproveitamento da luz natural. Foram realizadas várias simulações computacionais para determinação dos coeficientes de correlação considerando-se três cidades brasileiras representativas de diferentes climas e latitudes. Verificou-se que, para valores de “ A_w/A_p ” (razão entre as áreas das janelas e áreas de piso) superiores a 0,4, não ocorrem variações significativas de economia de energia elétrica.

Com relação a aspectos de conservação de energia em ambientes condicionados, Tribess et al. (1997) analisam, através de simulações numéricas, alguns fatores que devem ser levados em consideração na definição e projeto de uma edificação, visando diminuições de consumo energético sem detrimento do conforto térmico dos seus ocupantes. Um andar típico de um prédio de escritórios, na cidade de São Paulo, foi utilizado como modelo para analisar o efeito das condições internas e do envidraçamento sobre a carga térmica, através do software ESP-r (Energy Simulation Program – research). No modelo analisado as vedações externas eram compostas por

painéis de concreto, revestidas internamente com gesso e externamente com granito. A área envidraçada foi definida conforme disposto no Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (15% da área de piso), considerando-se quatro alternativas de vidros, com 8mm de espessura: incolor, verde, bronze e incolor com aplicação de películas refletivas. Alguns valores foram adotados, baseados em normas vigentes: taxa de ocupação da sala, taxa de iluminação, ventilação, além de algumas condições internas: temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, umidade relativa e resistência térmica da vestimenta. Os resultados obtidos comprovam que ao se utilizar, preferencialmente, vidros bronze ou verde (ao invés de incolor), há uma redução significativa da carga térmica (em 3,3% no valor máximo e 3,1% no total diário) e, conseqüentemente, do consumo de energia devido ao ar-condicionado. Esta redução pode ser ainda maior com a utilização de películas refletivas (em 8,0% no valor máximo e 7,9% no total diário). É importante ressaltar que o uso dessas películas pode reduzir sensivelmente a iluminação natural, aumentando a carga térmica devido ao acréscimo de iluminação artificial.

Na maior parte dos casos, quando se utilizam vidros que reduzem a transmissão de energia térmica para o interior da edificação, a transmissão de luz visível também é reduzida. Ou seja, por um lado, economiza-se energia para refrigeração, mas, por outro, há necessidade de complementação com iluminação artificial, aumentando novamente este consumo. Isto significa que a redução da carga térmica pode ser suplantada pela necessidade de luz artificial adicional. Desta maneira, a má especificação técnica dos vidros pode fazer com que haja um aumento do consumo de energia.

O trabalho de Fernandes (1998) analisa a influência dos principais vidros utilizados na construção civil no consumo de energia em edificações, através de dados de fator de luz do dia e fator solar fornecidos pelos fabricantes, e realiza a simulação de um ambiente para uma análise comparativa entre os vidros.

O consumo de energia despendido através de aparelhos de ar condicionado é muitas vezes maior que o consumo com iluminação artificial, quando ambos estão

presentes. Isto não significa que não deva haver cuidados com a iluminação artificial e, muito menos, menosprezo com a iluminação natural. Significa que, na especificação do tipo de vidro a ser utilizado, deve-se priorizar as suas características térmicas em relação às luminosas. Desta forma, os resultados obtidos indicam que, apesar dos vidros refletivos transmitirem menos luz, são bem mais econômicos que os laminados e o incolor, do ponto de vista de consumo energético.

As cargas térmicas resultantes da interação das fontes internas de calor com a envoltória e desta com o meio externo são variáveis com o tempo. Isso ocorre devido ao caráter dinâmico das trocas de calor, em função dos mecanismos de transferência de calor e da variação das condições climáticas. Desta forma, a única maneira de intervir no comportamento térmico do edifício é através da alteração das características dos elementos de vedação da envoltória.

Hernandez Neto et al. (1999b) avaliaram o efeito das características térmicas da envoltória na carga térmica de uma edificação de ocupação mista, que possui alguns andares em que o condicionamento de ar visa o conforto térmico das pessoas e outros em que se objetiva manter condições adequadas para o bom funcionamento de equipamentos eletro-eletrônicos, na cidade de São Paulo. Foram avaliadas as cargas térmicas máximas e totais diárias de um andar típico de uso exclusivo de equipamentos e de outro típico de conforto, para três tipos de paredes (de baixo, médio e alto isolamento) e três condições climáticas (São Paulo, Recife e Curitiba) através do programa computacional BLAST. De forma geral, os autores concluíram que o efeito da envoltória é menor em andares de equipamentos do que naqueles de conforto, devido a uma maior geração interna de calor e à necessidade do sistema de condicionamento de ar, que deve estar ligado 24 horas por dia, o ano inteiro. Isto resulta numa influência pequena da envoltória na carga térmica total num edifício de ocupação mista. Por outro lado, há uma influência significativa da envoltória no perfil de carga térmica ao longo do dia. Uma envoltória com características de maior isolamento térmico causa um achatamento no perfil de carga térmica, permitindo que o sistema de ar condicionado trabalhe próximo ao seu ponto ótimo de operação. Desta forma, o sistema opera com maior eficiência, diminuindo o consumo de energia.

Com relação ao sistema de envidraçamento, Hernandez Neto et al. (1999a) analisaram, do ponto de vista energético, algumas alternativas de materiais transparentes que podem ser utilizados em caixilhos, considerando as condições climáticas de três cidades brasileiras (São Paulo, Recife e Porto Alegre), em edifícios típicos de escritórios. Foram realizadas várias simulações, utilizando o software BLAST, e algumas condições foram determinadas:

- o perfil das cargas térmicas e seus componentes, a capacidade da unidade de resfriamento e o seu consumo energético anual, de uma instalação de ar-condicionado utilizada em um edifício comercial de 20 pavimentos, com fachada em pele de vidro;
- consideração dos seguintes vidros: plano incolor 6mm (referência para comparações), policarbonato cinza, vidro refletivo bronze e eletrocromico com e sem polarização.

Através dos resultados das simulações, as reduções de consumo energético anual com o condicionamento térmico ficaram entre 8 e 17%, para o vidro refletivo bronze em relação ao incolor. Ao se comparar as reduções obtidas para o vidro eletrocromico polarizado, as reduções ficaram entre 7 e 14%. Além disso, verificaram que o uso de diferentes tipos de envidraçamento não afetou significativamente o valor máximo da carga térmica, quando o ambiente possui uma alta geração de calor por fontes internas. Porém, isso não invalida o uso de novas tecnologias que contribuam para a melhoria do conforto dos ocupantes de um ambiente condicionado em outros aspectos, tais como o ofuscamento causado pela diminuição de incidência de luz natural ou pela radiação solar diretamente sobre as pessoas.

Na Itália, um trabalho desenvolvido por Beccali & Ferrari (2003) apresentou resultados de um estudo sobre economia de energia em edifícios comerciais, utilizando várias tipologias de vidros, dispositivos de proteção solar (brises) e estratégias de controle da iluminação artificial. Esse estudo compara diferentes soluções e estratégias tecnológicas a fim de verificar, em diferentes localidades, aquela mais apropriada para viabilizar o uso da iluminação natural, considerando sua taxa anual, bem como o

consumo de energia de resfriamento e aquecimento, garantindo condições de conforto térmico e visual no interior do ambiente. Nesse caso, uma sala comercial foi selecionada para atuar como um protótipo de testes, com a finalidade de analisar o desempenho térmico e energético das diferentes tipologias estudadas, comparando-se a economia de energia e índices de conforto, durante o período de um ano. No estudo, foram consideradas três tipologias de vidros: incolor, de baixa emissividade (*low-e*) e vidro eletrocromico¹ duplo. Os seguintes parâmetros foram avaliados:

- redução do consumo de energia com relação à iluminação;
- redução da demanda de energia para aquecimento e refrigeração;
- redução das horas de desconforto causado pelo ofuscamento.

Os resultados mostraram que, sem utilização de protetor solar, a menor porcentagem de desconforto devido ao ofuscamento foi obtida com o vidro eletrocromico. Além disso, a ausência de dispositivo de proteção solar produziu, também, uma redução na demanda de resfriamento, devido ao mínimo uso de iluminação artificial e também ao baixo ganho de calor interno. Deve-se notar que o vidro eletrocromico obteve o melhor desempenho energético somente no caso de não haver controle algum na iluminação interna. Na realidade, mesmo com a probabilidade de se controlar a iluminação em 50%, o uso das outras tipologias de vidros contribuiu para uma maior economia de energia.

Outro estudo envolvendo otimização de energia através de fechamentos transparentes em edifícios comerciais é o desenvolvido por Jain (2003), nos Estados Unidos, que investiga a habilidade de um sistema de envidraçamento em responder às mudanças das condições ambientais climáticas, de acordo com a hora do dia e ano, de forma a reduzir a demanda energética para aquecimento, resfriamento e iluminação. Para tanto, são analisados vidros com várias camadas, como os eletrocromicos e fotocromicos², os quais regulam o fluxo de energia através da edificação. As análises

¹ Vidro eletrocromico: tem suas propriedades óticas alteradas quando submetido a uma diferença de potencial. Sua principal vantagem é a possibilidade de ser ligado a sistemas de controle geral e, por meio de algoritmos, ter sua eficiência otimizada (CARAM, 1998).

² Vidro fotocromico: tem suas propriedades óticas alteradas quando exposto à luz, voltando ao normal após cessamento da exposição. Não é sensível aos efeitos do ganho de calor solar. (CARAM, 1998)

são realizadas em um modelo de simulação computacional, onde são determinados os valores de coeficiente de sombreamento e transmitância no visível de todas as camadas do sistema envidraçado, para o clima local, predominantemente frio (cidade de Phoenix (USA)). Para garantir a eficiência do sistema de envidraçamento, foi realizado um estudo comparativo entre:

- vidros com um valor fixo de coeficiente de sombreamento e transmitância no visível, de um sistema convencional de envidraçamento;
- vidros com um valor fixo de coeficiente de sombreamento e transmitância no visível;
- vidros com um valor fixo de coeficiente de sombreamento e transmitância no visível, baseados no horário de incidência de radiação solar e temperatura externa do ar.

Através dos resultados globais obtidos nesse estudo, o vidro eletrocromico foi considerado o de maior desempenho, com uma redução significativa nas cargas de aquecimento e resfriamento. Tal fato se deve ao coeficiente de sombreamento e transmitância no visível do vidro, que dependem da temperatura externa ambiente, a qual está diretamente relacionada à energia utilizada no edifício.

A pesquisa desenvolvida por Corner (2001) enfoca a janela como elemento térmico na construção, fazendo considerações em clima tropical úmido (cidade do Rio de Janeiro), no período do verão. Avalia o comportamento térmico de várias esquadrias-tipo, através de simulações computacionais, utilizando janelas em um protótipo de dimensões reduzidas, de habitação popular.

Pereira (2003) analisa a resposta termo-energética de duas edificações, alterando-se o tipo de vidro na fachada, visto a grande influência exercida pelas superfícies semitransparentes na transferência de calor em um ambiente fechado. Estuda seis diferentes superfícies semitransparentes, utilizando três tipos de vidros e três tipos de películas. Para isso, são feitas simulações computacionais utilizando o software Energy Plus, onde se avaliam a evolução das temperaturas internas, a transferência de calor em janelas e a carga térmica sensível de resfriamento das

edificações. Os resultados ilustram que as diferenças entre as taxas de transferência de calor através das janelas e as cargas térmicas sensíveis de resfriamento são significativas. Não foram observadas diferenças expressivas em se tratando da evolução das temperaturas internas.

O trabalho de Saleh et al. (2004), desenvolvido no Egito, sugere um método para melhorar o ganho de calor solar e, por conseguinte, a conservação de energia em sistemas condicionadores de ar, considerando a possibilidade de modificar o ângulo de incidência da radiação direta nas janelas, através de uma rotação horizontal de painéis de janelas. Desta forma, investiga a influência do ângulo de incidência, sua magnitude e direção, em um dado instante ou período. Para a realização deste estudo, foi utilizado um versátil programa computacional, que pode ser aplicado em quaisquer localidades e períodos do ano, e para qualquer orientação e tipo de envidraçamento. Com isso, o projetista pode selecionar um ângulo de rotação ótimo para o vidro da janela, o qual aumenta ou diminui o ganho de calor solar, dependendo do objetivo. Dois ângulos de rotação foram obtidos, sendo o primeiro com a finalidade de reduzir a carga térmica do sistema de condicionamento de ar, e o segundo para diminuir o consumo de energia.

Como se pode notar, a grande maioria dos trabalhos desenvolvidos com relação aos desempenhos térmico e energético de materiais transparentes utiliza ferramentas de simulação computacional, havendo poucos trabalhos experimentais enfocando o ganho de calor solar de ambientes compostos desses materiais. Esse trabalho pretende, de certa forma, contribuir para preencher essa lacuna.

4.4 FACHADAS TRANSPARENTES E ALGUNS PARÂMETROS RELACIONADOS AO CONFORTO AMBIENTAL

Neste item, são apresentadas algumas características relacionadas diretamente a determinados parâmetros utilizados para selecionar materiais transparentes que assegurem o conforto ambiental e melhor desempenho energético das edificações.

Em se tratando de adequação de fechamentos transparentes, os principais parâmetros considerados, sob o ponto de vista da eficiência energética, são o Fator Solar, Ganho de Calor Solar, Coeficiente de Sombreamento e Coeficiente de Ganho de Calor Solar.

Geralmente, o Fator Solar e o Coeficiente de Sombreamento são encontrados em catálogos técnicos de vidros e películas de controle solar.

4.4.1 Fator Solar

O Fator Solar (FS) é definido como a soma da porcentagem da transmissão solar direta que ocorre através do vidro mais a parcela da energia absorvida pelo vidro e reirradiada para o interior (GIVONI, 1981).

$$FS = \tau + \alpha(U/h_e) \quad (4)$$

onde:

FS = Fator Solar

τ = transmitância

α = absortância

U = transmitância térmica total ($W/m^2\ ^\circ C$)

h_e = coeficiente superficial externo de transmissão de calor ($W/m^2\ ^\circ C$)

Considerando o envidraçamento constituído de material homogêneo e com espessura constante (CROISSET, 1970), a transmitância térmica total (U) é obtida por:

$$U = \frac{1}{R} \quad (5)$$

Sendo R a resistência térmica total do componente, dada por

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \quad (6)$$

Onde:

h_i = coeficiente superficial interno de transmissão de calor ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

h_e = coeficiente superficial externo de transmissão de calor ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

λ = condutividade térmica do material (W/m °C)

d = espessura do componente (m)

Usualmente, a resistência térmica d/λ é pequena para envidraçados, em comparação com os outros termos da equação, devido à pequena espessura dos vidros utilizados nas janelas. Quanto à condutividade térmica do vidro, o valor considerado é $1,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (RIVERO, 1986).

Assim, desprezando-se o termo d/λ , considera-se a resistência térmica total como (ASHRAE, 1997):

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = \frac{(h_e + h_i)}{h_i h_e} \quad (7)$$

Portanto,

$$U = \frac{1}{R} = \frac{h_i h_e}{(h_e + h_i)} \quad (8)$$

$$\frac{U}{h_e} = \frac{h_i}{(h_e + h_i)} \quad (9)$$

A fração da energia solar incidente absorvida e reirradiada para o interior é denominada de N_i , pela ASHRAE (1997), que considera, de forma genérica, igual a aproximadamente um terço, resultando em:

$$FS = \tau + (1/3)\alpha \quad (10)$$

Cabe lembrar que, segundo a ASHRAE (1997), este valor é adotado para determinadas condições de temperatura e velocidade de vento e, além disso, os valores dos coeficientes superficiais interno e externo são: $h_i = 8,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $h_e = 22,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, para a condição de ar em repouso (convecção natural) do lado interno da vidraça e com vento de $6,67 \text{ m/s}$ do lado externo da vidraça.

Quanto maior o Fator Solar, mais o vidro permite a passagem de energia. A fração de $1/3$ referente à contribuição por absorção, significa pouco em se tratando de um vidro incolor. No entanto, para vidros com grande absorção, este percentual começa a ser significativo. Por exemplo, para um vidro que absorva 60% da energia incidente, cerca de 20% será reirradiada para o interior em forma de calor, valor bastante significativo, principalmente no caso dos vidros intitulados refletivos, os quais apresentam, quase sempre, grande absorção.

A importância do estudo da fração reirradiada para o interior é devida ao controle do ganho de calor através dos vidros, pois este depende da transmissão da radiação e da absorção através destes materiais, uma vez que a energia absorvida se transforma em calor, a temperatura do vidro se eleva, ocorrendo, conseqüentemente, um aumento da transmissão por convecção e radiação em direção aos meios externo e interno.

É importante ressaltar que, neste trabalho, os valores para N_i são calculados, para os diferentes tipos de vidros analisados, baseados no trabalho desenvolvido por Santos (2001), descrito no capítulo referente à metodologia.

4.4.2 Ganho de Calor Total

O Ganho de Calor Total , ou a transmissão total da radiação, é definido como a soma do Fator Solar multiplicado pela radiação solar incidente, e da transferência de calor devida à diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior (ASHRAE, 1997).

$$q = FS(I_o) + U(t_e - t_i) \quad (11)$$

Onde:

q = ganho de calor através do vidro (W/m^2)

FS = fator solar

I_o = energia incidente (W/m^2)

U = transmitância térmica do material ($W/m^2\ ^\circ C$)

$(t_e - t_i)$ = diferença entre a temperatura do ar externo e interno ($^\circ C$)

O termo $U(t_e - t_i)$ se refere às trocas de calor por diferença de temperatura e representa ganho quando $t_e > t_i$ e perda quando $t_i > t_e$.

4.4.3 Coeficiente de Sombreamento

O Coeficiente de Sombreamento (CS) desenvolvido pela Ashrae (1997) é amplamente utilizado como indicador do ganho de calor solar, uma vez que é definido como a razão entre o Ganho de Calor Solar de um vidro qualquer analisado e o de um vidro padrão de 3mm incolor.

$$CS = \frac{\text{Ganho de Calor Solar do vidro analisado}}{\text{Ganho de Calor Solar do vidro padrão}} \quad (12)$$

Deve-se observar que um maior Coeficiente de Sombreamento não significa maior proteção à radiação solar. Pelo contrário, quanto menor for esse índice em um determinado vidro, maior a proteção oferecida pelo mesmo. Por exemplo, um vidro com $CS = 0,26$ transfere menos energia que outro de $0,38$. Portanto, quanto menor o Coeficiente de Sombreamento, menor o ganho de calor, e, conseqüentemente, maior proteção contra a radiação solar.

4.5 TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA PARA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS TRANSPARENTES

Indubitavelmente, a variação das propriedades espectrofotométricas dos vidros (transmitância, absorvância e refletância), pode interferir na escolha do vidro adequado, principalmente na fase de projeto de uma edificação.

Henríquez Guerrero (1996) realizou um estudo numérico e experimental sobre janelas termicamente efetivas, isto é, aquelas que reduzem a energia transmitida para dentro ou fora de um determinado ambiente. Analisou vidros comerciais simples e painéis de vidro duplo de diferentes espessuras e espaçamento entre vidros, preenchidos com ar e pcm³ (incolor e colorido). A técnica espectrofotométrica foi utilizada na determinação da transmitância e refletância das amostras. Nesse estudo, os resultados comprovaram que o comportamento de todos os vidros analisados era similar, sendo apenas que o aumento da espessura causa uma diminuição na transmitância; porém, essa redução é relativamente pequena, não se justificando assim, por motivos econômicos, o aumento da espessura como estratégia de se reduzir a transmitância da radiação solar. Quanto à refletância, o vidro duplo com pcm provocou uma redução nesse coeficiente, com aumento na absorvância.

Caram (1996 e 1998) obteve valores de transmitância para cada região do espectro solar, para diversos tipos de vidros e películas poliméricas, considerando incidência normal da radiação solar.

Por conseguinte, Santos (2002) estudou materiais transparentes e a influência da variação do ângulo de incidência em parâmetros de conforto térmico e de iluminação. Utilizou a análise por espectrofotometria para a obtenção dos valores de refletância e transmitância para as diferentes regiões do espectro solar, com ângulos de incidência variados, de 0° a 80°. Para obter dados de refletância, foi necessária a

³ pcm (phase change material): material de mudança de fase (Henríquez Guerrero, 1996)

montagem de um dispositivo que desviasse o feixe de luz, para que a incidência sobre a amostra fosse em ângulos variados, e ainda que o feixe medido, após incidir sobre a amostra, fosse o feixe refletido e não o transmitido. A partir daí, foi desenvolvida uma metodologia para cálculo do ganho de calor e luz natural.

Considerando a importância da radiação solar incidente em ângulos variados, Caram (2002) elaborou recomendações de especificações de vidros em projetos arquitetônicos, através da análise do comportamento ótico de alguns materiais transparentes (TAB. 2).

TABELA 2 – Características óticas de materiais transparentes

TIPO DE VIDRO	ÂNGULO	TRANSMITÂNCIA(%)	REFLETÂNCIA (%)	ABSORTÂNCIA (%)
Float Comum Incolor 3mm	0	85	10	5
	20	85	10	5
	40	83	12	5
	60	75	19	6
	80	39	55	6
Float Comum Incolor 5mm	0	81	10	9
	20	81	10	9
	40	78	12	10
	60	71	18	11
	80	36	53	11
Float Comum Bronze 5mm	0	55	7	38
	20	54	8	38
	40	51	9	40
	60	43	14	43
	80	18	47	35
Float Comum Verde 5mm	0	54	7	39
	20	53	7	40
	40	50	10	40
	60	43	15	42
	80	20	50	30
Float Comum Cinza 5mm	0	49	7	44
	20	48	7	45
	40	44	9	47
	60	38	13	49
	80	16	47	37
Laminado - verde (vidro incolor e PVB verde)	0	63	8	29
	20	63	8	29
	40	61	10	29
	60	53	18	29
	80	17	52	31
Laminado - verde (vidro verde e PVB incolor)	0	43	7	50
	20	42	7	51
	40	39	8	53
	60	30	16	54
	80	7	52	41
Refletivo a vácuo - 5mm azul médio (CEB 130)	0	24	22	54
	20	24	22	54
	40	23	22	55
	60	19	24	57
	80	12	54	34
Refletivo a vácuo - 5mm azul intenso médio(CEB114)	0	14	22	64
	20	13	22	65
	40	12	23	65
	60	11	28	61
	80	7	56	37
Refletivo pirolítico Verde 6mm	0	26	10	64
	20	26	11	63
	40	24	12	64
	60	19	18	63
	80	7	48	45
Refletivo pirolítico Bronze 6mm	0	31	12	57
	20	30	12	58
	40	28	12	60
	60	24	18	58
	80	10	49	41
Refletivo pirolítico Prata 4mm	0	50	32	18
	20	49	32	19
	40	48	33	19
	60	45	39	16
	80	22	62	16

Fonte: CARAM, 2002 (adaptada).

4.6 EXPERIMENTO EM PROTÓTIPOS

A pesquisa experimental desenvolvida em protótipos com relação à análise de desempenho térmico de materiais tem pouca referência em literatura. Durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa bibliográfica, somente um trabalho foi encontrado sobre análise de desempenho térmico de vidros em protótipos e/ou células-teste, citado a seguir.

Etzion & Erell (2000) avaliaram, experimentalmente, uma fachada envidraçada no Centro de Arquitetura e Planejamento Urbano, em Israel. O sistema de envidraçamento foi instalado em um protótipo de edifício, de 2,7 x 3,5 m, sendo a maior dimensão orientada norte-sul, monitorado no verão e inverno, através de seqüências de medições de no mínimo uma semana. As paredes do protótipo foram construídas com blocos vazados de concreto, com revestimento de argamassa acrílica, pintadas na cor branca. A cobertura era composta de uma laje de concreto desempenado de 12 cm de espessura. O interior do protótipo foi rebocado, sendo as paredes pintadas de branco e o piso ladrilhado. Os vidros foram instalados em grandes janelas, de 1,4 x 2,1 m, centralizados na fachada sul.

Todos os protótipos foram expostos às mesmas condições ambientais, sem ocupação durante as medições, e sem fontes internas de calor. Dessa forma, foi possível fazer a comparação de uma janela utilizada como referência com a janela experimental. Nesse trabalho, o sistema de coleta dos dados registrava as seguintes informações:

- condições climáticas ambientais: temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, radiação solar global incidente no vidro, velocidade e direção do vento;
- condições climáticas internas: temperatura de bulbo úmido, níveis de iluminação em uma superfície de trabalho próxima à janela, e temperatura de globo, em um ponto fixado no protótipo de teste.

- condições do sistema de envidraçamento: perfil de temperatura de cada superfície envidraçada, perfil de temperatura no interior do espaço ventilado e taxa de fluxo de ar através do mesmo, radiação global incidente em um plano paralelo ao vidro.

Observa-se que o trabalho supracitado utiliza uma metodologia similar àquela utilizada nesta pesquisa, onde células-teste são utilizadas para avaliação do desempenho térmico de materiais transparentes.

O sistema proposto pelos autores é composto de dois componentes envidraçados rotativos, ventilados, dispostos em uma estrutura: vidro incolor selado hermeticamente, e vidro absorvente com baixo coeficiente de sombreamento. O vidro absorvente é fixado a uma pequena distância do vidro incolor, formando uma camada de ar entre eles, a qual é fechada nas laterais e aberta nas extremidades inferior e superior, para que o ar flua livremente. No inverno, o vidro absorvente faceia o interior da edificação, reduzindo o ofuscamento, mas permitindo o aquecimento por convecção e radiação do ambiente interno. A radiação solar é transmitida através do vidro externo incolor, e absorvida pelo vidro interno, aquecendo-o. O aquecimento do ambiente é alcançado por dois processos, sendo o primeiro sob a forma de radiação de onda longa (calor), emitida a partir do vidro absorvente, que aquece o ar interno pelo contato com as superfícies. Além disso, há o aquecimento por convecção, pelo fluxo de ar entre os dois painéis de vidro, que pode ser simplesmente por termodinâmica, ou com o auxílio de um ventilador. Dessa forma, o desconforto visual e os danos causados ao mobiliário pela radiação ultravioleta são reduzidos significativamente. No verão, o sistema é rotacionado, de forma que o vidro absorvente faceie o exterior do edifício, absorvendo a radiação solar excessiva, dissipando o calor para o ar externo e interceptando a radiação solar de onda curta. O efeito do vidro absorvente, quando fixado nessa posição, é de filtrar quase que totalmente a radiação solar. A energia absorvida pelo vidro externo é dissipada pela radiação de onda longa, sendo transmitida para o interior da edificação pelo vidro incolor interno, já que o mesmo é opaco a comprimentos de onda longa. A energia liberada pelo vidro aquecido também se depara com um fluxo de ar termodinâmico no espaço entre os dois componentes de vidro, prevenindo o

sobreaquecimento do ar e removendo a energia desnecessária. Previne-se, também, o sobreaquecimento do espaço interior, bem como se melhora o conforto visual.

Segundo os autores (ETZION & ERELL, 2000), o vidro incolor tem uma transmitância de aproximadamente 85% em uma incidência normal, mas, em ângulos maiores, principalmente acima de 70°, o valor da transmitância diminui consideravelmente. Além disso, a qualidade da iluminação natural depende de muitos fatores, tais como o tamanho e orientação das aberturas, geometria da sala, refletância das superfícies internas, e tipo de sistema de envidraçamento.

Nos dias ensolarados e claros de inverno, quando o pico de radiação solar global era em torno de 900 W/m², a temperatura superficial máxima do vidro absorvente era em torno de 45-50°. No verão, o vidro absorvente (que faceava o exterior) registrou temperaturas menores que no inverno. As temperaturas superficiais máximas oscilavam entre 40 e 45°C, ou aproximadamente 10°C acima da temperatura externa do ar. Essa diferença pode ser explicada por dois fatores: na localidade considerada (Sede Boqer), os níveis diários de radiação são muito menores no verão que no inverno; além disso, no verão a superfície externa do vidro absorvente está exposta diretamente ao efeito do vento. Por conseguinte, no inverno, há a camada de ar entre o vidro incolor e o absorvente, fazendo com que a energia absorvida pelo vidro seja emitida para o interior sob a forma de radiação de onda longa, além de aquecer o ar em contato com o vidro, explicando, assim, o menor valor de temperatura do vidro no verão.

A principal vantagem desse sistema de envidraçamento é a flexibilidade em atender às demandas de verão e inverno, em várias localidades. Na maioria de climas temperados, a energia solar é bem-vinda no inverno, como um meio de reduzir a carga de aquecimento. Porém, surge o problema de sobreaquecimento no verão, devido às grandes áreas envidraçadas utilizadas nas fachadas.

A tipologia de envidraçamento sugerida fornece os totais benefícios do aquecimento solar passivo pelo ganho direto, amplamente conhecido como o melhor método de aquecimento solar. Além disso, elimina os efeitos indesejáveis característicos de grandes áreas envidraçadas, como ofuscamento e desconforto visual, através de um processo simples que reduz a penetração de radiação solar no verão.

A eficiência energética desse tipo de janela é similar àquela conseguida com o aquecimento solar através do ganho direto. Além disso, sabendo-se definir o vidro absorvente ideal, o sistema fornece conforto visual e proteção da excessiva radiação de onda curta.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais analisados, os dados climáticos da região em estudo, os procedimentos de ensaio, os equipamentos utilizados na pesquisa e o método de obtenção do ganho de calor total.

A metodologia adotada baseia-se na análise de diversos vidros, através de medições realizadas “in loco”, em células-teste, localizadas no campo experimental da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Unicamp, com o intuito de verificar as temperaturas superficiais dos vidros e temperaturas de bulbo seco internas de cada célula-teste. Além dessas medidas de temperatura, as variáveis ambientais foram monitoradas através de uma estação meteorológica.

5.1 MATERIAIS ESTUDADOS

Após seleção prévia de vidros planos, laminados e refletivos, os materiais analisados nesse trabalho foram doados pela companhia vidreira CEBRACE, “joint-venture” entre o grupo inglês Pilkington, detentor da marca Blindex, e o grupo francês Saint-Gobain, detentor das marcas Saint-Gobain Glass e Santa Marina Vitrage.

A CEBRACE forneceu o material em placas de 0,99 m² de área, para as medições em células-teste, e também em pequenas amostras retangulares, de aproximadamente 3cm x 5cm, para os ensaios em laboratório.

A relação do material disponível é a seguinte:

VIDROS PLANOS

- Vidro bronze 4 mm
- Vidro verde 4 mm
- Vidro cinza 4 mm
- Vidro incolor 4 mm
- Vidro mini-boreal 4 mm

VIDROS LAMINADOS

- Vidro laminado verde com película incolor - 8 mm (composto de 2 vidros planos verdes de 4mm e PVB incolor)
- Vidro laminado incolor com película verde - 8 mm (composto de 2 vidros planos incolores de 4mm e PVB verde)

VIDROS REFLETIVOS

PIROLÍTICOS:

- Vidro antélio verde esmeralda - 6 mm
- Vidro antélio prata - 4 mm
- Vidro antélio bronze - 4 mm
- Vidro reflectafloat - 4 mm

METALIZADOS A VÁCUO:

- Vidro CEB azul intenso médio⁴ - 4 mm
- Vidro CEB azul médio - 4 mm
- Vidro CEB prata neutro médio⁵ - 4 mm

As FIG. 6 a 9 mostram as amostras dos vidros analisados.

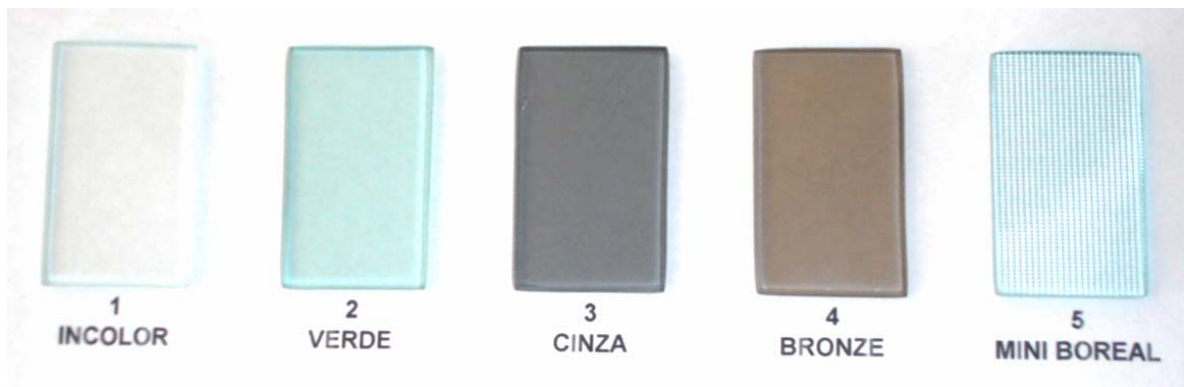


FIGURA 6 – Vidros planos (incolor, verde, cinza e bronze)

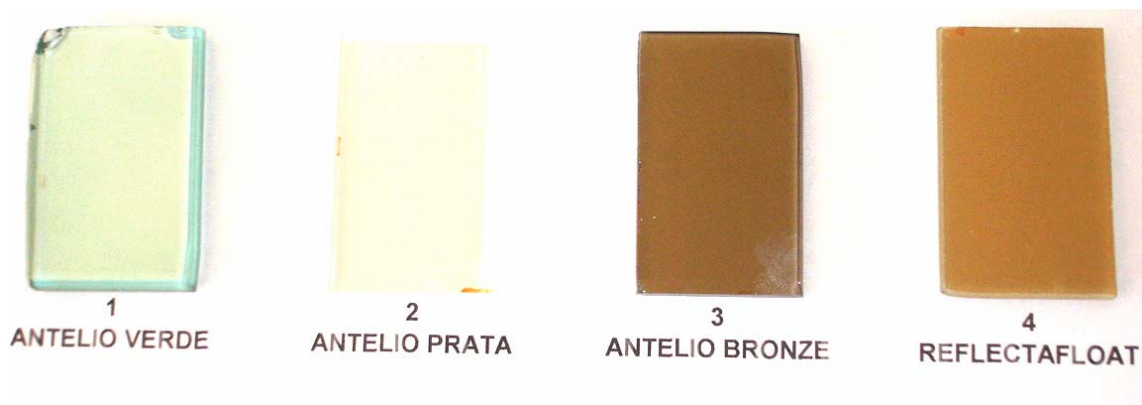


FIGURA 7 - Vidros refletivos pirolíticos (antélio verde, antélio prata, antélio bronze e reflectafloat)

⁴ A nomenclatura **CEB azul intenso médio** provém do catálogo do fabricante (Cebrace). Porém, neste trabalho é adotado o termo **CEB azul intenso**.

⁵ A nomenclatura **CEB prata neutro médio** provém do catálogo do fabricante (Cebrace). Porém, neste trabalho é adotado o termo **CEB prata neutro**.

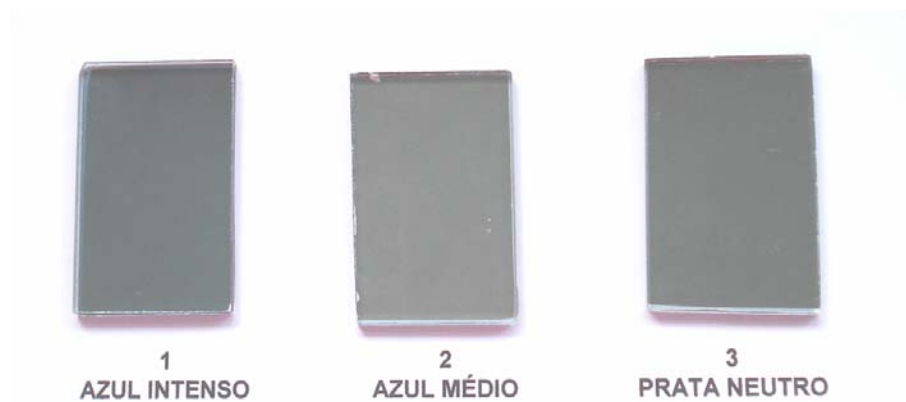


FIGURA 8 – Vidros refletivos metalizados a vácuo (azul intenso, azul médio e prata neutro)

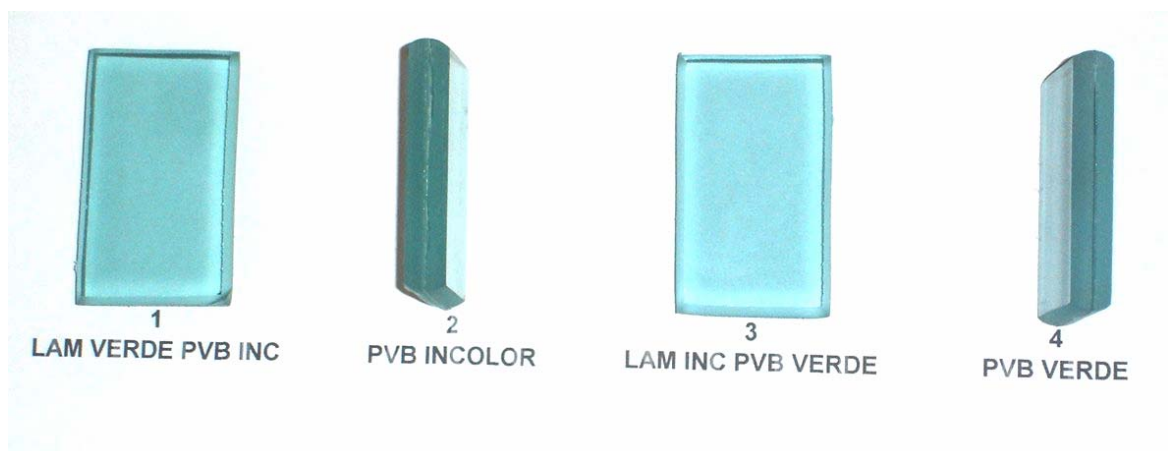


FIGURA 9– Vidros laminados (verde com PVB incolor e incolor com PVB verde)

5.2 DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO DE CAMPINAS

As coordenadas geográficas da cidade de Campinas são: latitude 22°54'S, longitude 47°03'O e 694 m de altitude. A região possui topografia levemente ondulada, em zona de planície, exposta à intensa ventilação e insolação.

O período de verão compreende os meses de novembro a março e o período de inverno, de junho a agosto. O verão possui maior duração que o inverno, indicando a predominância do calor sobre o frio na cidade durante o ano (CHVATAL, 1998). Na TAB. 3 encontram-se dados climáticos para a região de Campinas.

TABELA 3
Dados climáticos da região de Campinas, período de 1998 a 2005⁶

mês	temp. média máxima (°C)	temp. média mínima (°C)	amplitude média (°C)	Umidade relativa (%)	chuva total (mm)	nebulosidade média	direção ventos	velocidade ventos (m/s)	insolação diária média (h)
JAN	29,4	19,9	9,5	84,1	287,0	6,5	SE	2,4	5,3
FEV	29,5	19,6	9,9	85,0	202,6	5,8	C	2,6	6,4
MAR	29,7	19,2	10,5	83,0	138,7	4,9	SE	2,8	6,6
ABR	28,7	17,6	11,1	82,0	65,3	3,7	SE	3,0	7,4
MAI	25,6	14,1	11,5	81,7	86,6	4,2	C	3,1	5,8
JUN	25,3	13,3	12,0	81,4	28,8	3,1	SE	2,9	5,8
JUL	24,8	12,7	12,1	78,8	28,7	3,1	SE	3,1	5,5
AGO	27,1	13,9	13,2	72,5	29,2	3,2	SE	3,2	6,2
SET	28,9	15,7	13,2	73,5	57,0	3,5	SE	4,1	5,9
OUT	31,9	17,3	14,6	77,9	112,8	4,6	SE	4,2	6,3
NOV	29,0	17,8	11,2	78,0	154,9	5,2	SE	3,8	6,5
DEZ	29,2	19,1	10,1	81,0	221,5	6,1	SE	3,1	5,7

Pode-se observar que, nesse período, outubro foi o mês mais quente, com médias máximas de 31,9°C. Em seguida, os meses de janeiro e fevereiro registraram médias máximas de 29,4 e 29,5°C, respectivamente. Por outro lado, os meses mais frios são junho e julho, com 13,3 e 12,7°C, respectivamente. A umidade relativa média do ar é de 76% nos meses de julho a novembro e de 83% de dezembro a junho. A época das chuvas compreende os meses de dezembro a fevereiro, destacando-se janeiro como o mais chuvoso. Os ventos predominantes são de sudeste, e as velocidades, na maior parte dos meses, entre 2,5 e 3,0 m/s. Nos meses de setembro a novembro a velocidade do vento foi próxima de 4,0 m/s.

Com relação às horas de insolação, nota-se que embora os meses de verão tenham uma duração do dia maior que no inverno, a insolação média diária é menor,

⁶ Dados cedidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica - Instituto Agrônomo de Campinas, 2006.

devido à maior quantidade de nuvens, e, conseqüentemente, maior índice pluviométrico. A maior média ocorre no mês de abril, com 7,4 horas de sol.

Embora sejam considerados os dados climáticos gerais para a região de Campinas, a monitoração do microclima local é de grande importância para o estabelecimento de relações comparativas com as leituras dos sensores instalados nas células-teste. As variáveis ambientais monitoradas pela estação meteorológica são: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade (m/s) e direção (°) dos ventos predominantes, radiação solar incidente (W/m^2) e índice pluviométrico (mm).

5.3 ÁREA DE ESTUDO

No presente trabalho, foram realizadas medições de campo em seis protótipos do tipo célula teste, localizados em área da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Campinas-SP.

O projeto executivo de cada célula-teste foi proposto tendo como referência as dimensões, materiais construtivos e detalhamentos daquelas existentes na USP de São Carlos, onde são estudados vários tipos de materiais. Desta forma, algumas adaptações foram necessárias para viabilizar a melhor situação para o estudo dos materiais transparentes. Dentre elas, pode-se citar as dimensões das aberturas, que foram definidas baseadas no Código de Obras do Município de Campinas, bem como em padrões de janelas disponíveis no mercado local, com a intenção de realizar comparações futuras.

As seis células-teste implantadas foram distribuídas da seguinte maneira: uma célula-teste para referência e controle, com a utilização permanente de fechamento de vidro incolor 4mm; as outras cinco foram destinadas às análises de desempenho dos materiais, sendo utilizado, em cada uma, um material diferente. Dessa

forma, grupos de seis tipos de vidro foram analisados, simultaneamente, de acordo com os materiais disponíveis.

As células-teste estão distanciadas de forma que não haja sombreamento das paredes ou sombras de vento, a fim de garantir as mesmas condições de implantação para todas (FIG. 10). Há uma estação meteorológica instalada próxima às células-teste, porém livre de obstruções, para assegurar a validação dos dados coletados.



FIGURA 10 – Vista geral das células-teste, em fase final de construção

Cada célula-teste foi construída sobre uma base de radier de concreto desempenado (3,20 x 3,70m), contendo piso interno de concreto revestido com argamassa de cimento desempenada. As paredes são de tijolos de barro maciço sem revestimento ($\frac{1}{2}$ tijolo / 10,0 cm espessura), assentados com argamassa comum de cimento e pintados na cor branca (interna e externamente). As dimensões externas são de 2,20 x 2,70 m e internas de 2,00 x 2,50 m, área útil de 5,00 m² e pé direito de 2,40 m. As fachadas maiores (2,70 m) estão orientadas a Norte e a Sul, enquanto as menores (2,20 m) a Leste e Oeste.

Para minimizar o ganho de calor solar através da cobertura, adotou-se um sistema composto por laje pré-moldada, ático ventilado e filme de alumínio polido. A laje pré-moldada de cobertura é composta de cerâmica e concreto, pintada de branco, com

ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro nos oitões das faces leste/oeste. As telhas da cobertura são do tipo fibrovegetal, 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 as faces Norte e Oeste, com dimensões de 1,20 x 1,00 m, e peitoril de 1,10 m. Quando uma das fachadas está sendo avaliada a outra tem sua abertura vedada por um painel com resistência térmica equivalente (Anexo B) 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, o vidro foi colocado numa moldura de madeira sobre batente, com alças e fechos de travamento, ficando o local envidraçado efetivo com as dimensões de 1,06 x 0,86 m, e área de 0,91 m². Essas dimensões foram definidas de acordo com o Código de Obras do Município de Campinas, que recomenda à área envidraçada o valor de no mínimo 10% da área do piso, e dimensão mínima de 0,60 m². Além disso, essas dimensões são padrões de janelas disponíveis no mercado.

As áreas envidraçadas são fixas, isto é, não possuem aberturas para ventilação, sendo o interior das células-teste um ambiente fechado. Isto foi definido com a intenção de se restringir as variáveis, pois a ventilação poderia interferir na temperatura interna, e, por conseguinte, no desempenho do vidro.

Finalmente, todas as faces externas das células-teste foram pintadas de branco, para aumentar a reflexão da radiação solar. Internamente, todas as paredes foram, igualmente, pintadas na cor branca, obedecendo ao critério usual das edificações existentes.

As FIG. 11 a 21 ilustram implantação, planta, corte, fachadas e detalhes das células-teste.

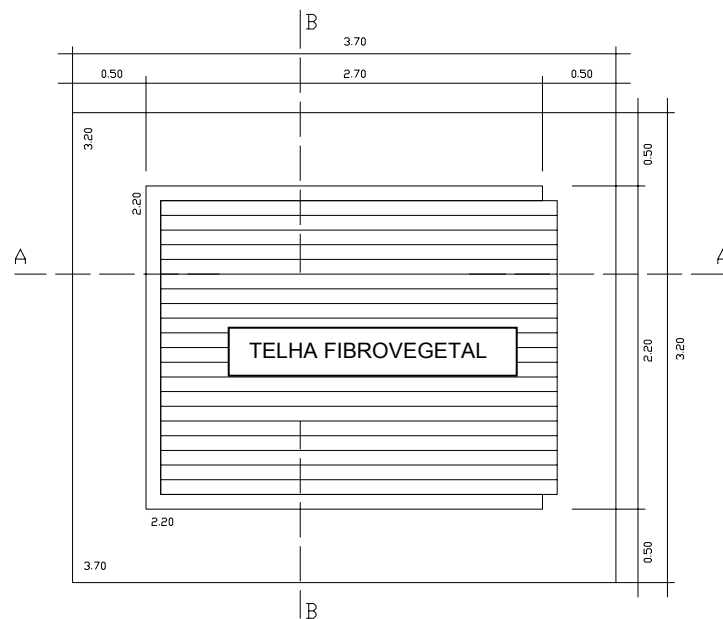


FIGURA 11 – Implantação

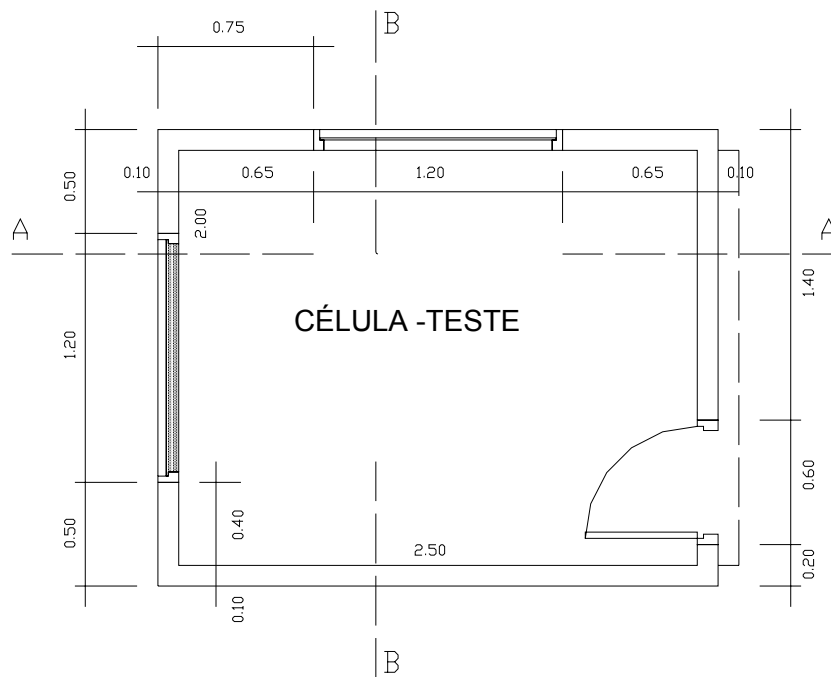


FIGURA 12 – Planta

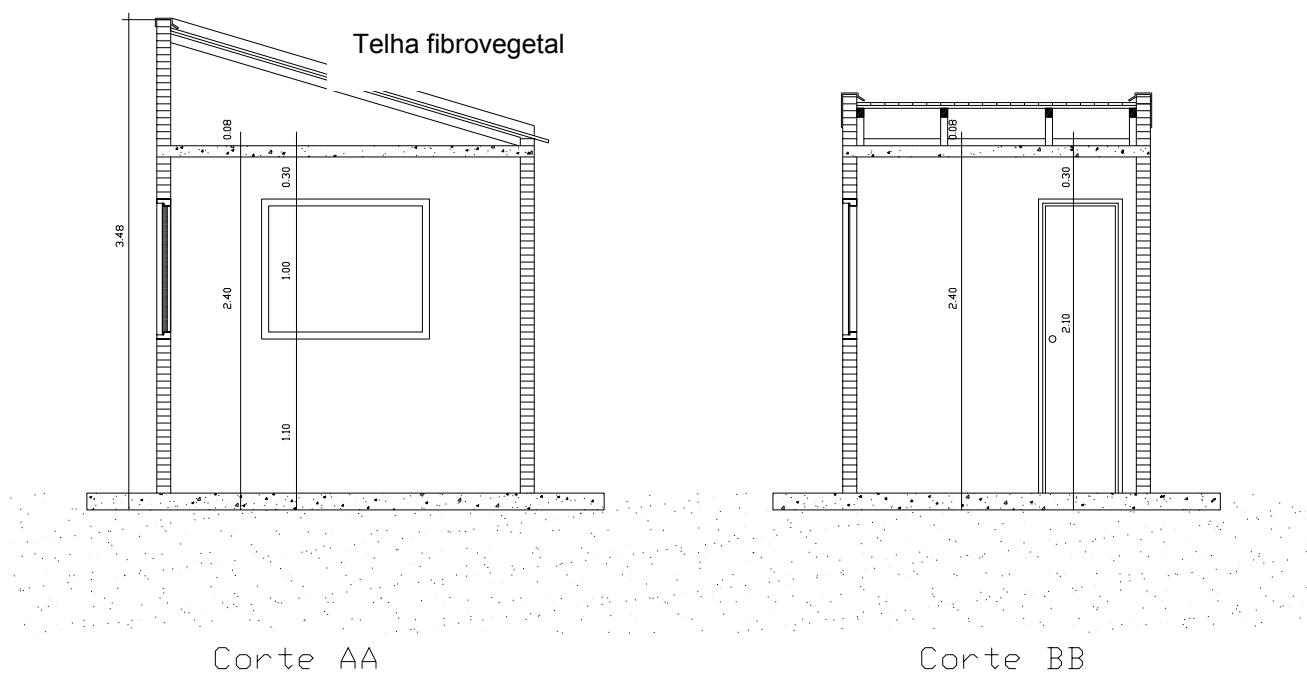


FIGURA 13 – Cortes

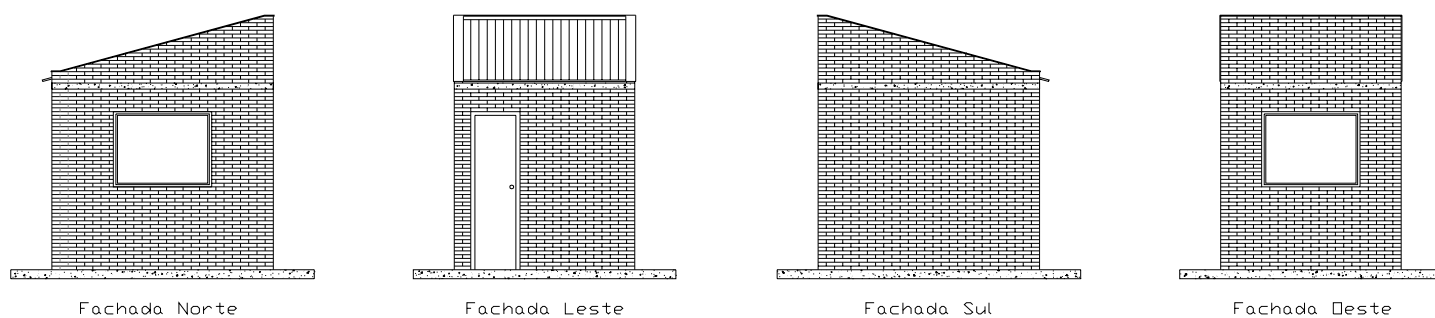


FIGURA 14 - Fachadas



FIGURA 15 – Vista das células-teste em construção



FIGURA 16 – Vista das células-teste com vidros instalados



FIGURA 17 – Face Norte



FIGURA 18 – Face Leste



FIGURA 19 – Face Sul



FIGURA 20 – Face Oeste

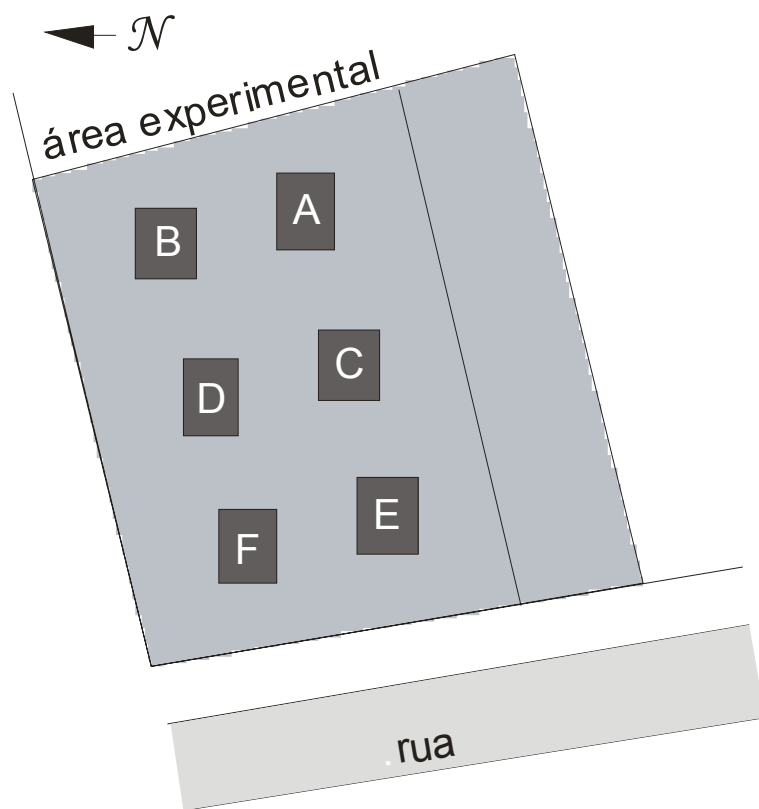


FIGURA 21 – Área experimental com identificação das células-teste (sem escala)

Fonte: GUTIERREZ, 2004

As células-teste A e D são destinadas à referência, permanecendo constantemente com vidro verde e vidro incolor planos, respectivamente, enquanto as demais são utilizadas para as análises com os diferentes tipos de vidros.

Dessa forma, é possível analisar o desempenho térmico e energético dos tipos de vidros disponíveis. As medições foram realizadas em duas fachadas (Norte e Oeste), em um período de no mínimo uma semana para cada fachada, para cada tipologia de material, sob condições climáticas reais.

5.4 EQUIPAMENTOS

5.4.1 Estação Meteorológica

As variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar e índice pluviométrico) foram medidas por uma estação meteorológica, marca Campbell Scientific, composta por:

- Tripé (CM 6);
- Termo higrômetro (CS 500);
- Sensor de direção - (conjunto 03001);
- Piranômetro (LI 200x LI-Cor);
- Pluviômetro (TB4-L).

Todos os sensores da estação foram calibrados pela Campbell Scientific, antes do início das medições.

A FIG. 22 ilustra a estação meteorológica instalada junto às células-teste, enquanto a FIG. 23 mostra um esquema geral da mesma, contendo a estrutura e os diversos componentes. Na FIG. 24 estão contidos os sensores individuais da estação.



FIGURA 22 – Estação meteorológica

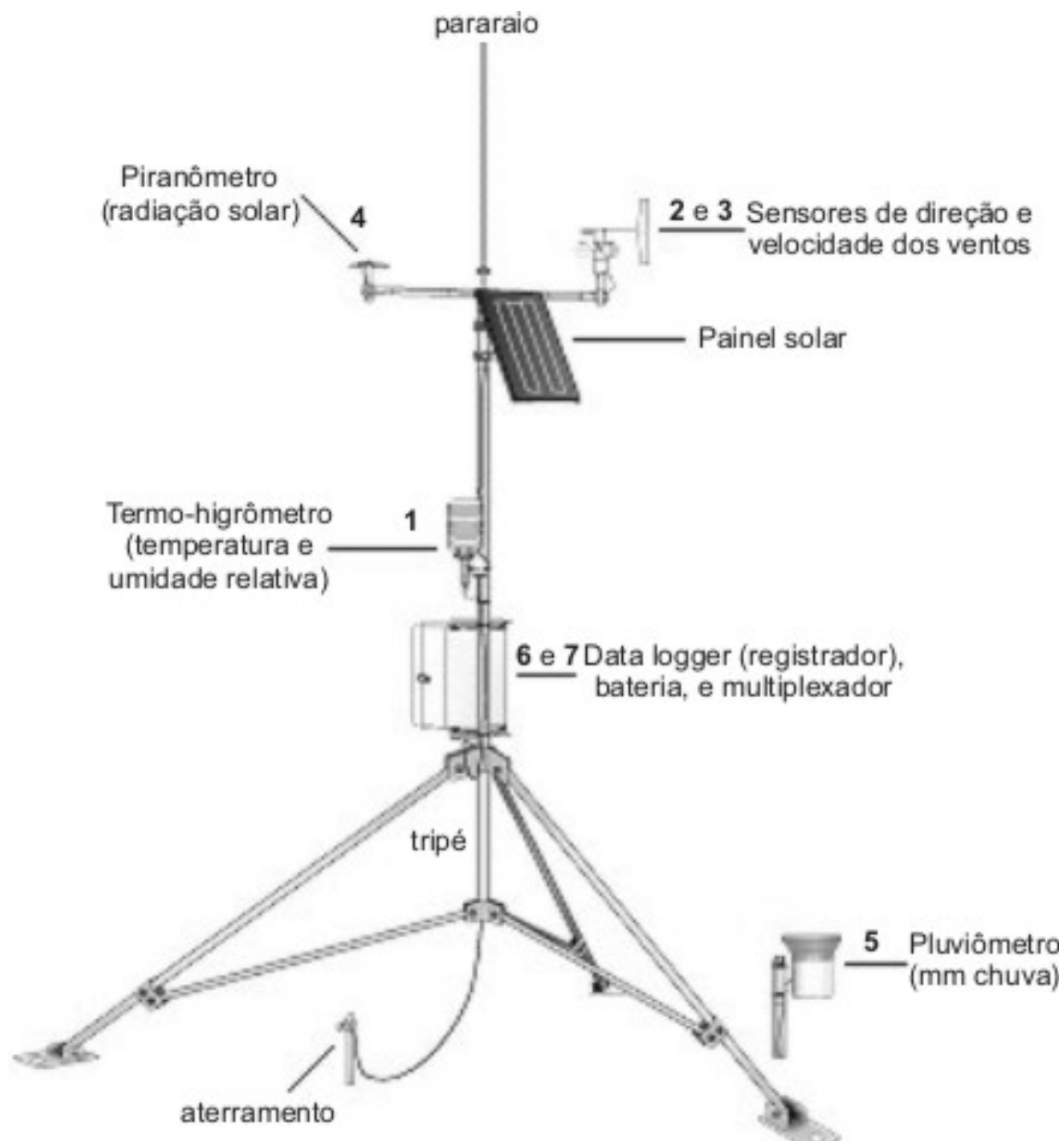
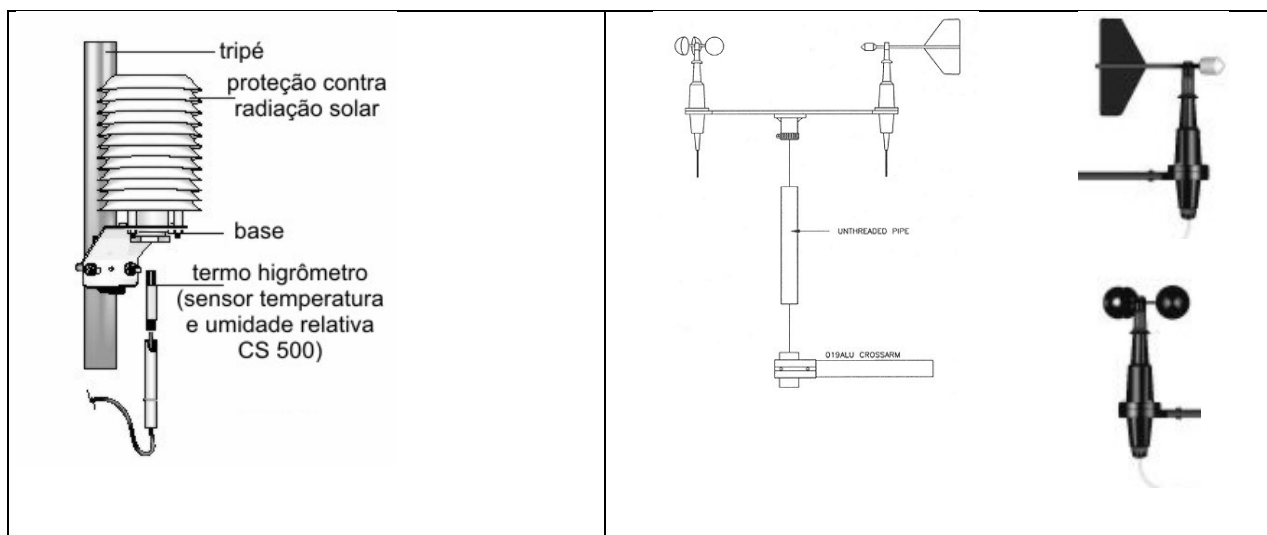
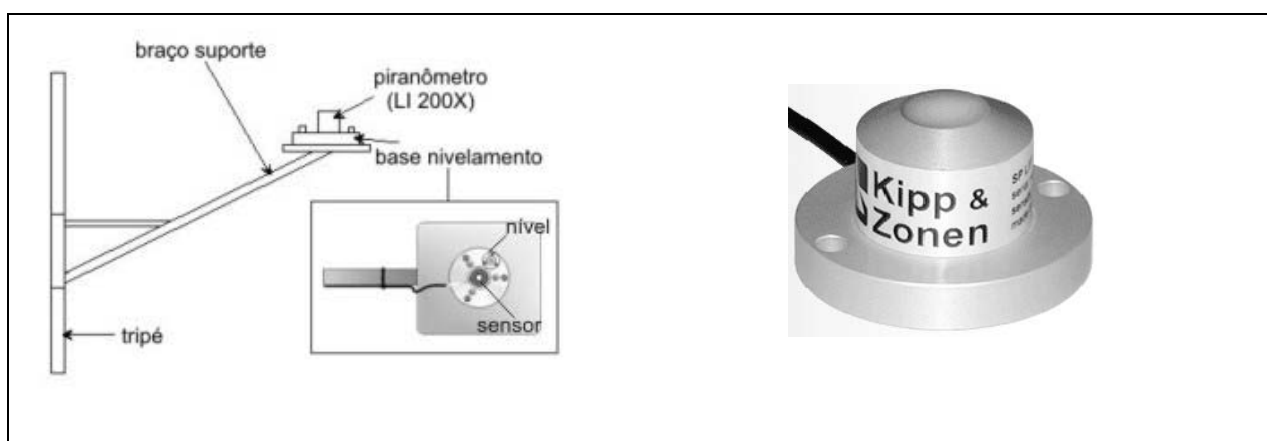


FIGURA 23– Estrutura da Estação Meteorológica Campbell Scientific



Temperatura e umidade relativa

Direção e velocidade dos ventos



Radiação Solar



Pluviômetro

Data logger e multiplexador

FIGURA 24 – Componentes da Estação Meteorológica Campbell Scientific

A instalação e montagem da estação meteorológica, bem como do sistema de aquisição de dados e toda a configuração dos parâmetros de coleta foram executados pelos representantes técnicos da Campbell Scientific do Brasil.

A seguir serão relacionadas, resumidamente, as características da estação.

Montagem e instalação do tripé - o tripé possui altura variável, podendo atingir uma altura máxima de até 3,5m. Deve ser nivelado e ter sua base fixada no solo, através de hastes metálicas. Deve ser colocado sobre solo com baixo albedo, como gramado, por exemplo. A instalação de um fio-terra é necessária para proteção contra descargas elétricas nos equipamentos nele fixados. Conta também com a presença de um pára-raios.

Termohigrômetro - atua no intervalo de temperatura de -34°C a $+50^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de 0 a 90%, com precisão de $\pm 3\%$, a 20°C , com proteção para radiação térmica (abrigo meteorológico).

Sensores de velocidade e direção do vento - devem ser colocados a uma altura de 3m do solo. O suporte que os sustentam deve ser orientado na direção norte-sul. O sensor de velocidade do vento (anemômetro) acusa velocidade de 0 a 60m/s, com precisão de 0,5m/s (valor considerado adequado, quando se realizam medidas externas). O sensor de direção do vento varre de 0 a 355° , com precisão de 5° .

Piranômetro - este componente necessita ser nivelado, o que pode ser feito através de seu próprio nível de bolha. Além disso, não deve ser sombreado pela haste do tripé. Portanto, o suporte deve ser posicionado na direção leste-oeste. A precisão típica do equipamento é de $\pm 3\%$, a 20°C . Sua sensibilidade é para comprimentos de onda no intervalo de 400 a 1100nm, compreendendo a região do visível e infravermelho-próximo. Possui uma base de nivelamento, que deve ser limpa periodicamente. Este equipamento mede a radiação solar total incidente numa superfície horizontal.

Pluviômetro - não deve ser acoplado diretamente na torre. É montado próximo ao tripé, na vertical, e possui 15 cm de diâmetro e 61 cm de altura. Deve ser colocado a uma altura de 76 cm do solo, que deve ser gramado. Utiliza o sistema de báscula.

5.4.2 Termopares

Os dados relativos às células-teste foram coletados através de termopares tipo T (cobre-constantan), ANSI (padrão americano), conectados ao multiplexador, que possui 32 canais os quais possibilitam a conexão de todos os termopares instalados em cada uma das células-teste, sendo possível leituras simultâneas.

Foram fixados cinco termopares em cada uma das células-teste, distribuídos da seguinte forma:

- 1 termopar no centro da célula-teste, a uma altura de aproximadamente 1,30m;
- 1 termopar no centro da superfície interna do vidro;
- 1 termopar no centro da superfície externa do vidro;
- 1 termopar na superfície interna da parede oposta daquela que contém o elemento estudado (vidro);
- 1 termopar inserido em um termômetro de globo, no centro da célula-teste.

Especificamente neste trabalho, as análises foram feitas a partir da coleta de dados de dois sensores em cada uma das células-teste, sendo o primeiro referente às medições das temperaturas de bulbo seco do ambiente interno e o segundo às temperaturas superficiais internas dos vidros.

Para minimizar a influência da radiação solar incidente nas leituras dos termopares, os mesmos foram cobertos com uma fita metalizada (3M). Além disso, para aumentar o contato do sensor com a superfície utilizou-se a pasta térmica.

A FIG. 25 ilustra o posicionamento dos sensores, tanto na face interna quanto na externa do vidro. As medições referentes às temperaturas superficiais externas dos vidros não são consideradas no presente trabalho.



FIGURA 25 – Termopares colados no vidro

5.4.3 Espectrofotômetro

As análises óticas dos vidros foram realizadas em espectrofotômetro marca CARY 5G (FIG. 26), localizado no Instituto de Química da USP/São Carlos. O instrumento permite a aquisição de dados de transmissão e absorção, e consiste de uma fonte de luz, monocromadores, células de referência e detectores.



FIGURA 26 – 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 pela 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.

As amostras foram ensaiadas no intervalo correspondente à região do espectro solar, isto é, de 300 a 2500nm.

Os dados obtidos pelos ensaios espectrofotométricos permitiram a execução de curvas e a integração das áreas correspondentes a cada região do espectro, assim como a integração da área total das curvas obtidas.

Os resultados são apresentados em gráficos que ilustram a porcentagem da transmissão e absorção em função do comprimento de onda.

5.5 COLETA DE DADOS

Para a realização das medições foi utilizado um sistema de aquisição de dados composto por duas unidades básicas, que fazem a coleta automática e o armazenamento dos dados meteorológicos e também das temperaturas das células-teste:

- Registrador automático (data logger CR 10X – measurement and control system);
- Multiplexador⁷ com 32 canais (AM 416), conectado ao data logger.

Além dessas duas unidades básicas, o sistema possui os seguintes acessórios:

- Painel solar, 10W, para suprimento de energia da bateria, orientado a norte, com inclinação de 10° para a latitude de Campinas;
- Bateria recarregável 12V (PS12LA, regulador de voltagem, filtro e proteção contra raios);
- Cabo serial padrão (RS 232, SC25PS);
- Módulo externo de memória (SM192);
- Interface serial para módulo de memória (SC32A);
- Teclado externo;
- Software PC 208W Data Logger Support Software, versão 3.3, Campbell Scientific.

O sistema de aquisição de dados efetuou as leituras dos sensores e termopares (através do multiplexador), sendo armazenadas no data logger. Em seguida, foram transferidas ao módulo de memória (cabo RS 232) e, através de sua interface serial, descarregadas no microcomputador - software PC 208W Campbell Scientific.

⁷ Multiplexador é um equipamento que possui várias entradas e uma saída, efetuando uma rotatividade dos dados de saída conforme a configuração do intervalo de aquisição de dados.

Foram realizados alguns testes iniciais, como forma de treinamento dos usuários, com o sistema de aquisição de dados (modo de coleta e descarga) e uso do software, com assessoria de representantes técnicos da Campbell Scientific do Brasil.

A leitura dos sensores foi configurada, em intervalos pré-estabelecidos, registrando os dados a cada 30 segundos, com totalizações a cada 10 minutos. Portanto, a cada 10 minutos eram coletados dados para cada sensor, para cada célula-teste com uma das tipologias em ensaio, para uma dada orientação, durante uma semana (7 dias). Portanto, por dia, há 144 dados de cada variável, sendo 6 variáveis da estação e 30 sensores, totalizando 36288 dados semanais.

Foram adquiridos dados diários das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, índice pluviométrico, direção e velocidade dos ventos), e das variáveis medidas nas células-teste (temperaturas de bulbo seco e globo, e temperaturas superficiais), expostos nas fachadas norte ou oeste durante uma semana para cada orientação.

Os dados coletados pelo sistema foram avaliados em etapas:

- 1) dados brutos sem tratamento;
- 2) seleção de dados;
- 3) gráfico dos elementos atmosféricos externos;
- 4) análise comparativa do comportamento térmico dos elementos transparentes, considerando:
 - as variáveis ambientais monitoradas pela estação meteorológica;
 - a célula-teste de referência e cada uma das células-teste, com diferentes tipologias;
 - as células-teste entre si.

5.6 ARRANJO EXPERIMENTAL

As medições foram realizadas nos anos de 2004 e 2005, sendo que as primeiras consistiram de testes iniciais e adequação dos termopares nas células-teste. Dessa forma, os resultados apresentados neste trabalho são referentes ao ano de 2005, no período de junho a agosto.

Para facilitar as análises, os vidros foram agrupados em cinco “famílias”, divididos de acordo com as tipologias, com o objetivo de comparar vidros de igual ou diferente composição, em cada período.

Cabe lembrar que, em todas as famílias, há a comparação do vidro incolor (considerado referência) com os demais.

Família 1 – 10 a 16/06 (oeste) e 21 a 27/06 (norte) – o objetivo é a comparação de três tipos diferentes de vidros verdes (laminado, refletivo e plano), e dois vidros laminados entre si.

Célula-teste A: vidro verde plano 4mm

Célula-teste B: vidro laminado incolor com PVB verde 8mm

Célula-teste C: vidro antélio prata 4mm

Célula-teste D: vidro incolor plano 4mm

Célula-teste E: vidro antélio verde esmeralda 6mm

Célula-teste F: vidro laminado verde com PVB incolor 8mm

Família 2 – 29/06 a 04/07 (norte) e 06 a 11/07 (oeste) – o objetivo é a comparação dos vidros planos entre si.

Célula-teste A: vidro verde plano 4mm

Célula-teste B: vidro antélio verde esmeralda 6mm

Célula-teste C: vidro cinza plano 4mm

Célula-teste D: vidro incolor plano 4mm

Célula-teste E: vidro bronze plano 4mm

Célula-teste F: vidro mini-boreal plano 4mm

Família 3 – 13 a 17/07 (oeste) e 19 a 24/07 (norte) – o objetivo é a comparação de três vidros refletivos pirolíticos (antélios verde, prata e bronze), dois vidros planos (incolor e verde) e dois vidros verdes de diferentes tipologias (refletivo e plano).

Célula-teste A: vidro verde plano 4mm

Célula-teste B: vidro antélio verde esmeralda 6mm

Célula-teste C: vidro antélio prata 4mm

Célula-teste D: vidro incolor plano 4mm

Célula-teste E: vidro antélio bronze 4mm

Célula-teste F: vidro reflectafloat 4mm

Família 4 – 26 a 31/07 (norte) e 02 a 07/08 (oeste) – o objetivo é a comparação de três vidros refletivos metalizados a vácuo (azul intenso, azul médio e prata neutro) entre si e um pirolítico (reflectafloat) com os metalizados a vácuo.

Célula-teste A: vidro verde plano 4mm

Célula-teste B: vidro CEB azul intenso 4mm

Célula-teste C: vidro CEB azul médio 4mm

Célula-teste D: vidro incolor plano 4mm

Célula-teste E: vidro CEB prata neutro 4mm

Célula-teste F: vidro reflectafloat 4mm

Família 5 – 09 a 14/08 (oeste) e 16 a 21/08 (norte) – o objetivo é a comparação de três vidros refletivos pirolíticos (antélio verde, prata e reflectafloat) entre si e com o vidro refletivo obtido através de outro processo (metalizado a vácuo, prata neutro). Além disso, comparam-se vidros da cor prata, de diferentes tipologias (antélio e metalizado a vácuo).

Célula-teste A: vidro verde plano 4mm

Célula-teste B: vidro antélio verde esmeralda 6mm

Célula-teste C: vidro antélio prata 4mm

Célula-teste D: vidro incolor plano 4mm

Célula-teste E: vidro CEB prata neutro 4mm

Célula-teste F: vidro reflectafloat 4mm

5.7 MÉTODO DE OBTENÇÃO DO GANHO DE CALOR TOTAL

O Ganho de Calor Total (q) é definido como a soma do Fator Solar multiplicado pela radiação incidente, e da transferência de calor devida à diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior (ASHRAE, 1997).

$$q = (\tau + N_i \cdot \alpha) \cdot (I_o) + U(t_e - t_i) \quad (13)$$



Fator solar

Onde:

q = ganho de calor através do vidro (W/m^2)

τ = transmitância

α = absorptância

N_i = fração da energia solar incidente absorvida e reirradiada para o interior

I_o = energia incidente (W/m^2)

U = transmitância térmica do material ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

$(t_e - t_i)$ = diferença entre a temperatura do ar externo e interno ($^\circ C$)

Para o cálculo do ganho de calor solar em cada célula-teste, cada componente da fórmula será determinado conforme segue:

Para obter o ganho de calor total de cada célula-teste, é necessário obter, separadamente, cada componente da fórmula (13), cujo procedimento é descrito a seguir.

Transmitâncias e absorptâncias:

Neste trabalho, a análise espectrofotométrica é realizada com incidência normal da radiação solar. A partir dos resultados obtidos no espectrofotômetro, estabelece-se uma regra de três com os valores registrados por Santos (2002) e Caram (2002), que analisaram as características óticas de materiais transparentes para diferentes ângulos de incidência (de 0 a 80°).

Ressalte-se que, para os vidros metalizados a vácuo, as características óticas adotadas são aquelas do próprio trabalho de Santos (2002) e Caram (2002). Isto se deve ao fato de que, durante os ensaios espectrofotométricos, repetidos por quatro vezes para cada amostra, dois vidros tipo CEB apresentaram incoerência nos resultados referentes à absorção e reflexão. Como no total são analisados três vidros CEB, optou-se por utilizar os resultados de Santos e Caram, que foram obtidos em um outro espectrofotômetro, com o auxílio de um dispositivo para medida de reflexão a ângulos variados, enquanto os resultados deste trabalho foram obtidos com o próprio equipamento configurado no modo absorção. Apesar dessa diferença, optou-se por utilizar esses resultados para a maioria dos vidros, com maior segurança em relação à validade dos resultados.

Para o vidro mini boreal, considerando que possui propriedades de material translúcido, difundindo a luz e a radiação solar, os dados de absorptância, refletância e transmitância utilizados neste trabalho são aqueles obtidos para incidência normal da radiação, não havendo equipamentos disponíveis para determinação dessas

propriedades óticas com variação de ângulos de incidência. Portanto, esse vidro foi excluído do cálculo de ganho de calor total.

Coeficientes de trocas superficiais de calor externo (h_e), interno (h_i) e Coeficiente global de transferência de calor (Fator U)

O fator U, citado anteriormente, engloba as trocas térmicas envolvidas no conjunto das diversas camadas constituintes do elemento de vedação, e ainda as trocas por radiação e convecção nas duas faces do mesmo, sendo o inverso da Resistência Térmica Total (R), e dado por:

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_i} \quad (14)$$

Neste trabalho, os valores de h_e e h_i foram adotados a partir do trabalho de Santos et al. (2001), conforme tabela 4.

TABELA 4 – Valores de h_e e h_i dos materiais transparentes para diferentes velocidades do vento (V_o). Fonte: Santos et al. (2001)

Material Transparente	h_r		Superfície	h_i $V_o=0$	h_e em função de V_o (m/s) e h_c médio						
	Int.	Ext.			0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Vidros <i>float</i> sem tratamento superficial	5,6	5,6	Vertical	8,7	8,7	9,1	9,7	10,4	11,0	11,7	12,4
			Horizontal	7,5	9,4	9,7	10,2	10,8	11,4	12,0	12,7
Camada refletiva pirolítica interna	1,2	5,6	Vertical	4,3	8,7	9,1	9,7	10,4	11,0	11,7	12,4
			Horizontal	6,1	9,4	9,7	10,2	10,8	11,4	12,0	12,7
Camada refletiva a vácuo interna	1,0	5,6	Vertical	4,1	8,7	9,1	9,7	10,4	11,0	11,7	12,4
			Horizontal	2,9	9,4	9,7	10,2	10,8	11,4	12,0	12,7
Películas refletivas	1,6	5,6	Vertical	4,7	8,7	9,1	9,7	10,4	11,0	11,7	12,4
			Horizontal	3,5	9,4	9,7	10,2	10,8	11,4	12,0	12,7
Policarbonatos e acrílico	6,0	6,0	Vertical	9,1	9,1	9,5	10,1	10,8	11,4	12,1	12,8
			Horizontal	7,9	9,8	10,1	10,6	11,4	11,8	12,4	13,1

Dessa forma, foram adotados os seguintes valores de h_e e h_i , para os vidros analisados, considerando a velocidade do vento como sendo 2,0 m/s, conforme se verificou nos dados coletados pela estação meteorológica, durante os períodos analisados:

- Vidros planos: $h_i = 8,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$
 $h_e = 11,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidros pirolíticos: $h_i = 4,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$
 $h_e = 11,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidros metalizados a vácuo: $h_i = 4,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$
 $h_e = 11,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidros laminados: $h_i = 8,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$
 $h_e = 11,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Por conseguinte, os valores de U foram calculados:

- Vidros planos 4mm: $U = 4,7653 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidros pirolíticos 4mm: $U = 3,0537 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidro pirolítico 6mm: $U = 3,0352 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidros metalizados a vácuo 4mm: $U = 2,9515 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Vidros laminados 8mm: $U = 4,6761 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Fração da energia solar incidente absorvida e reirradiada para o interior (Fator N_i)

O fator N_i foi calculado para cada tipo de vidro:

$$N_i = \frac{U}{h_e} \cong \frac{h_i}{h_e + h_i}$$

- Vidro plano 4mm: $N_i = 0,4332$
- Vidro pirolítico 4mm: $N_i = 0,2776$
- Vidro pirolítico 6mm: $N_i = 0,2759$
- Vidro metalizado a vácuo 4mm: $N_i = 0,2683$
- Vidro laminado 8mm: $N_i = 0,4251$

Radiação solar incidente

Para o cálculo desse fator, foi utilizado o programa Radisol (Granja, 2002), que visa a obtenção de dados para cálculo de radiação solar na envolvente de edificações, através da definição de dias típicos de verão e inverno para a região de Campinas, SP, e fornece as quantidades de radiação solar para diversas orientações, em superfícies horizontais e verticais. O piranômetro da estação meteorológica mede a radiação solar total em plano horizontal. Utilizou-se, portanto, o programa Radisol, que fornece, separadamente, os valores de radiação solar, tanto horizontal quanto vertical, para cada orientação de fachada. Os gráficos comparativos entre a radiação solar obtida no piranômetro e a fornecida pelo Radisol se encontram no anexo F.

No programa Radisol, os dados de entrada foram fixados para a cidade de Campinas, sendo necessário não só registrar o dia de interesse (calendário de dias corridos), como também a quantidade de horas de insolação.

Sendo assim, para cada período analisado selecionou-se um dia (geralmente o dia intermediário do período em análise), e, de acordo com dados fornecidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas, as horas de insolação foram registradas, para cada mês.

Um exemplo de dados de entrada e cálculos encontra-se na TAB. 5.

TABELA 5 – Dados de entrada e cálculos do programa Radisol
 (Granja,2002)

Dados Entrada		Cálculos	
G_{sc}	1353	δ	21,59
n	196	ω_s	1,4029
Φ	-22,9	H_0	6.439,25
a	0,25	N	10,82
b	0,56	K_t	0,5347
H.I.	5,5	K_d	0,1839
t	12	w	0
β	90	r_d	0,1451
		c	0,5837
		d	0,4949
		r_t	0,1565
		l_0	951,27

Dados de entrada:

- $G_{sc} \rightarrow$ constante solar = 1353 W/m²
- $n \rightarrow$ número do dia do ano
- $\Phi \rightarrow$ latitude da cidade de Campinas
- a e $b \rightarrow$ coeficientes da equação de Ångström
- H.I. $\rightarrow$ horas de insolação
- $t \rightarrow$ tempo solar
- $\beta \rightarrow$ ângulo entre a superfície em questão e a horizontal

Dados calculados:

- $\delta \rightarrow$ declinação
- $\omega_s \rightarrow$ ângulo horário do anoitecer
- $H_0 \rightarrow$ radiação extraterrestre diária numa superfície horizontal (W/m²)
- $N \rightarrow$ número médio total de horas de insolação possíveis
- $K_t \rightarrow$ índice de transparência H/H_0 , obtido a partir da equação de regressão

de Ångström

- K_d → relação D/H_0 , média mensal da radiação difusa diária pela radiação extraterrestre em superfície horizontal
- w → ângulo horário
- r_d → coeficiente para cálculo das intensidades horárias de radiação difusa
- c → coeficiente da equação de Collares-Pereira et al. (1979)
- d → coeficiente da equação de Collares-Pereira et al. (1979)
- r_t → coeficiente para relação entre a radiação total horária e a total diária (Collares-Pereira et al., 1979)
- I_0 → radiação extraterrestre horária numa superfície horizontal (W/m^2)

A partir dessa primeira planilha, o programa gera valores de radiação solar horárias, tanto horizontal como vertical, para cada orientação, conforme exemplificado na TAB. 6.

TABELA 6 – Valores para radiação solar vertical ($I_{t,v}$) e co-seno do ângulo de incidência

TEMPO SOLAR	VERTICAL – OESTE	
	$\cos\theta$	$I_{t,v}$
0	0,000	0,00
1	-0,241	0,00
2	-0,465	0,00
3	-0,658	0,00
4	-0,805	0,00
5	-0,898	0,00
6	-0,930	0,00
7	-0,898	23,35
8	-0,805	88,95
9	-0,658	147,73
10	-0,465	192,77
11	-0,241	220,50
12	0,000	229,80
13	0,241	362,42
14	0,465	443,33
15	0,658	451,02
16	0,805	383,49
17	0,898	259,28
18	0,930	0,00
19	0,898	0,00
20	0,805	0,00
21	0,658	0,00
22	0,465	0,00
23	0,241	0,00

θ : ângulo de incidência
 $I_{t,v}$: intensidade de radiação solar total horária no plano vertical

Assim, para cada período de medição, foram selecionados os ângulos de maior radiação incidente, utilizados nos valores correspondentes de transmitância e absortância obtidos em espectrofotômetro.

Portanto, os ângulos de incidência determinados, para cada família, foram:

FAMÍLIA 1 (10/06 a 27/06)	NORTE – DIA 175 (24/06)		OESTE – DIA 164 (13/06)	
	65°	7 horas		
	55°	8 horas		
	45°	10 horas	80°	12 horas
	45°	12 horas	65°	14 horas
	45°	14 horas	35°	16 horas
	55°	16 horas	25°	17 horas
	65°	17 horas		

FAMÍLIA 2 (29/06 a 11/07)	NORTE – DIA 182 (01/07)		OESTE – DIA 189 (08/07)	
	65°	7 horas		
	55°	8 horas		
	50°	10 horas	80°	12 horas
	45°	12 horas	60°	14 horas
	50°	14 horas	35°	16 horas
	55°	16 horas	25°	17 horas
	65°	17 horas		

FAMÍLIA 3 (13/07 a 24/07)	NORTE – DIA 202 (21/07)		OESTE – DIA 196 (15/07)	
	65°	7 horas		
	60°	8 horas		
	50°	10 horas	80°	12 horas
	45°	12 horas	60°	14 horas
	50°	14 horas	35°	16 horas
	60°	16 horas	25°	17 horas
	65°	17 horas		

FAMÍLIA 4 (26/07 a 07/08)	NORTE – DIA 209 (28/07)		OESTE – DIA 216 (04/08)	
	65°	7 horas		
	60°	8 horas		
	50°	10 horas	80°	12 horas
	55°	12 horas	60°	14 horas
	50°	14 horas	35°	16 horas
	60°	16 horas	25°	17 horas
	65°	17 horas		

FAMÍLIA 5 (09/08 a 21/08)	NORTE – DIA 230 (18/08)		OESTE – DIA 223 (11/08)	
	70°	7 horas		
	65°	8 horas		
	60°	10 horas	80°	12 horas
	55°	12 horas	60°	14 horas
	60°	14 horas	35°	16 horas
	65°	16 horas	20°	17 horas
	70°	17 horas		

Diferença entre a temperatura do ar externo e interno ($t_e - t_i$)

Através das medições realizadas nas células-teste, as temperaturas externas foram registradas pela estação meteorológica, enquanto que as temperaturas internas (bulbo seco) foram registradas através dos termopares localizados no centro geométrico de cada célula-teste, a uma altura de 1,30m.

Com isso, para cada horário determinado, tem-se o valor exato das temperaturas de interesse (externas e internas), para cada período de análise.

6. RESULTADOS

Este capítulo está subdividido em quatro partes:

- Resultados obtidos em espectrofotômetro, com incidência normal;
- Resultados obtidos em espectrofotômetro, com variação do ângulo de incidência;
- Resultados obtidos nas células-teste, separadamente para cada família de vidros.
- Resultados do cálculo do ganho de calor total para os vidros.

6.1 ESPECTROFOTÔMETRO – INCIDÊNCIA NORMAL

Os resultados experimentais obtidos no espectrofotômetro estão apresentados em gráficos e tabelas, possibilitando uma boa visualização do que ocorre em termos de transmitância e absorvância dentro dos intervalos estudados, para cada amostra de vidro, sujeita à incidência normal da radiação.

As amostras foram ensaiadas no intervalo de 300 a 2500 nm, compreendendo as três regiões espectrais. A partir dos dados obtidos no equipamento, foram traçadas as curvas e integradas as áreas de interesse correspondentes às regiões do espectro. Ao se integrar separadamente a região do ultravioleta, observou-se uma distorção nos resultados, com valores bem mais altos do que o esperado, tendo em conta a pequena porcentagem dessa faixa na radiação total incidente, mesmo realizando os ensaios quatro vezes, para cada amostra. A porção de radiação ultravioleta que chega à superfície terrestre é aproximadamente de 1 a 5% e, embora não possa ser desprezada devido aos efeitos que causa (CARAM, 1998), neste trabalho essa proporção é desconsiderada, principalmente devido ao seu enfoque principal, que é o de calcular o ganho de calor solar através dos materiais transparentes.

Portanto, são apresentadas as áreas referentes às regiões do visível, infravermelho e total, compreendendo a faixa de 380 a 2200 nm. A região do visível está associada à intensidade de luz branca transmitida, influenciando diretamente no grau de iluminação de um ambiente, enquanto que o infravermelho é fonte de calor, interferindo nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor. O valor total de radiação transmitida, refletida e absorvida são importantes variáveis no cálculo do ganho de calor solar, que depende das propriedades óticas do material, do fator solar, da radiação solar incidente, do coeficiente global de transferência de calor (fator U) e da diferença de temperatura entre os ambientes externo e interno.

Ressalte-se, também, que, apesar dos ensaios terem sido realizados até 2500nm, os resultados são apresentados até 2200nm, pois, conforme Caram (1998), do ponto de vista de aproveitamento de energia solar, comprimentos de onda superiores a esse valor chegam de forma bastante reduzida à superfície, sendo absorvidos pelo vapor de água e dióxido de carbono presentes na atmosfera.

As refletâncias foram obtidas a partir dos valores de transmitância e absorptância medidos no espectrofotômetro, através da expressão:

$$\tau + \alpha + \rho = 1 \quad (15)$$

Onde:

τ - transmitância

α - absorptância

ρ - refletância

A seguir os resultados espectrofotométricos são apresentados em gráficos e tabelas, para as regiões espectrais consideradas.

As FIG. 27 a 40 mostram os resultados de transmitância espectral, para cada vidro analisado. Os resultados de absorptância espectral são apresentados nas FIG. 41 a 54.

A TAB. 7 apresenta os valores de transmitância, absorptância e refletância para os vidros analisados.

Os histogramas das FIG. 55 a 58 ilustram, em ordem crescente, a absorptância (total e infravermelho) e transmitância (total e infravermelho) para cada vidro.

GRÁFICOS DE TRANSMITÂNCIA

VIDROS PLANOS

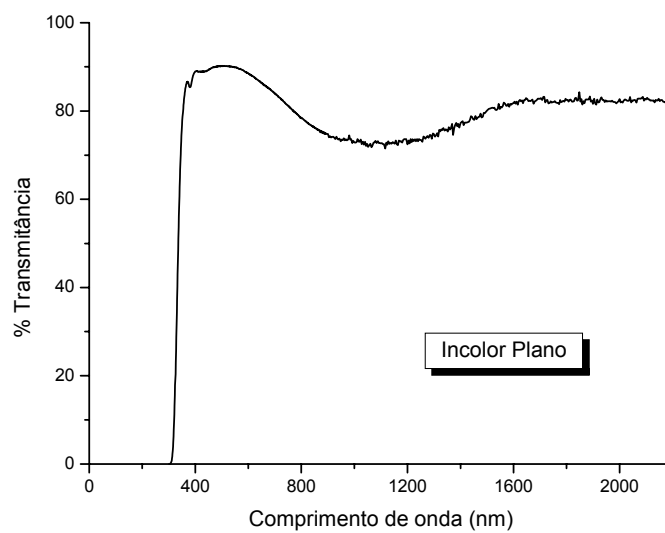


FIGURA 27 - Transmitância espectral do vidro incolor plano

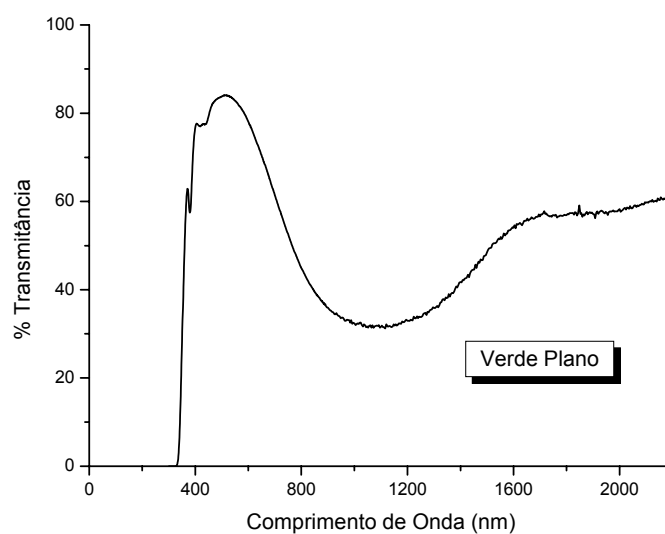


FIGURA 28 - Transmitância espectral do vidro verde plano

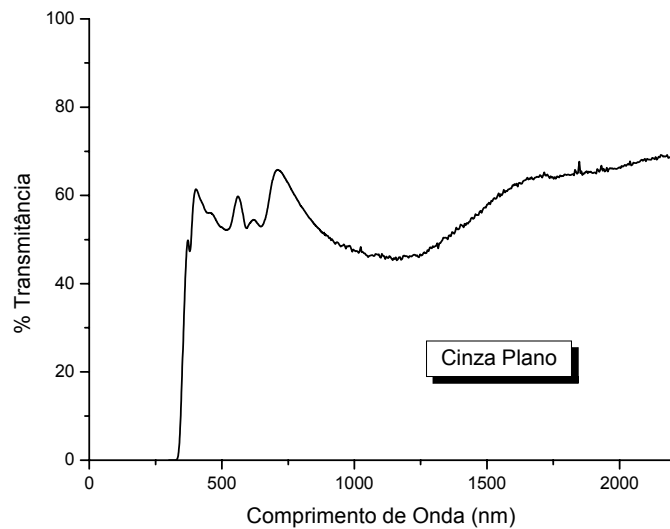


FIGURA 29 - Transmitância espectral do vidro cinza plano

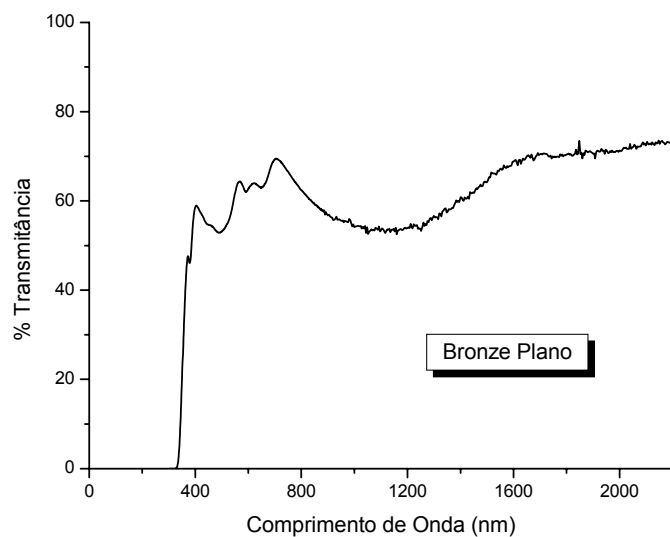


FIGURA 30 - Transmitância espectral do vidro bronze plano

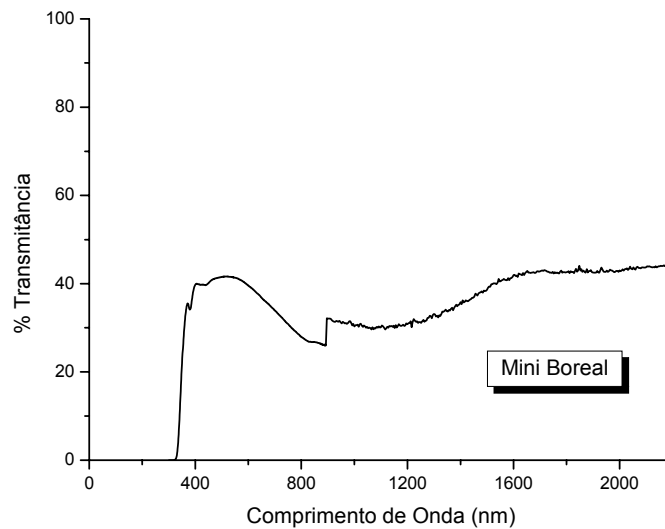


FIGURA 31 – Transmitância espectral do vidro impresso mini-boreal

VIDROS REFLETIVOS PIROLÍTICOS

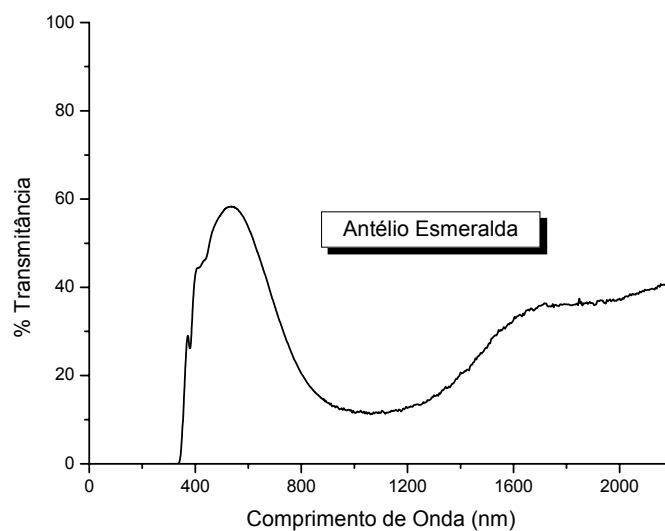


FIGURA 32 - Transmitância espectral do vidro antélio esmeralda

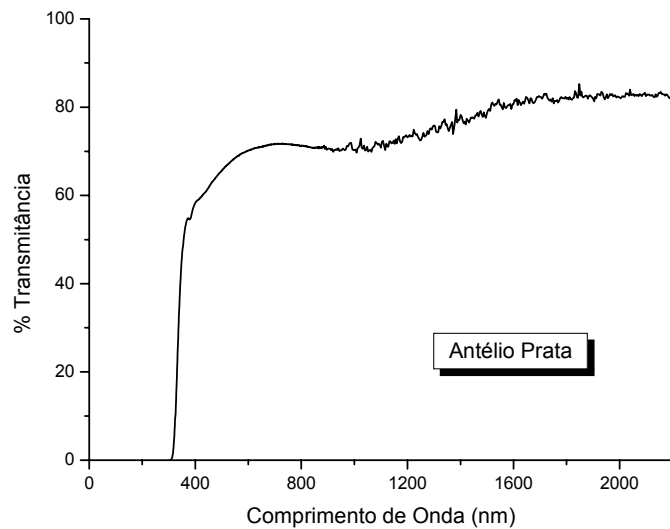


FIGURA 33 - Transmitância espectral do vidro antélio prata

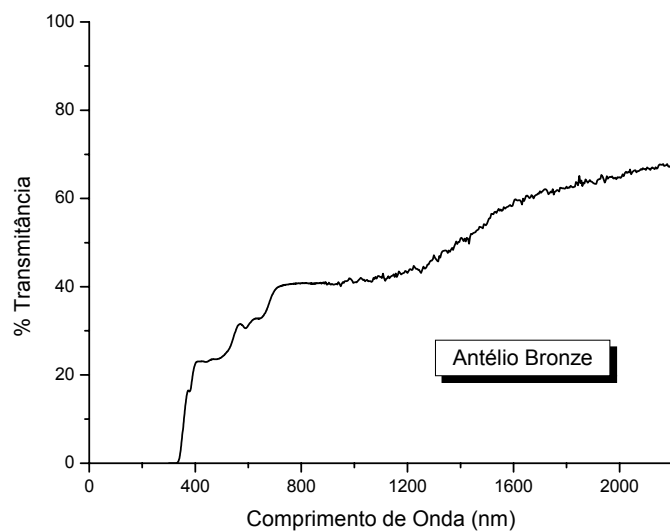


FIGURA 34 - Transmitância espectral do vidro antélio bronze

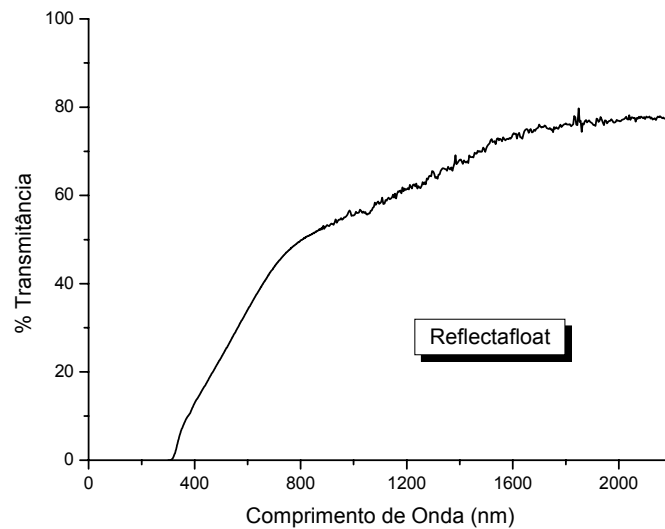


FIGURA 35 - Transmitância espectral do vidro reflectafloat

VIDROS REFLETIVOS METALIZADOS A VÁCUO

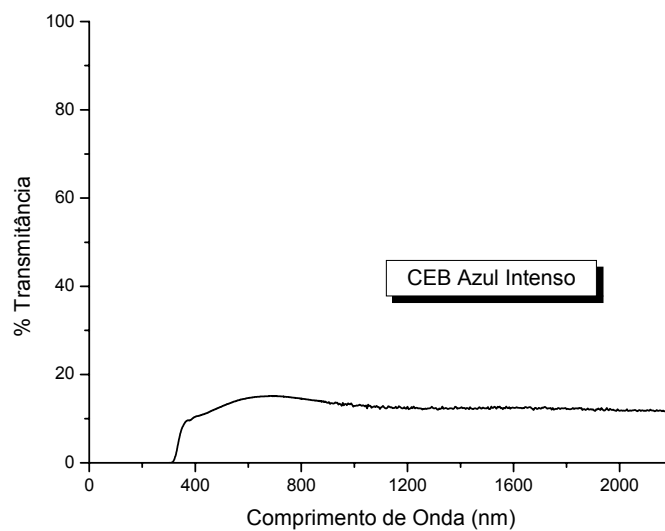


FIGURA 36 - Transmitância espectral do vidro azul intenso

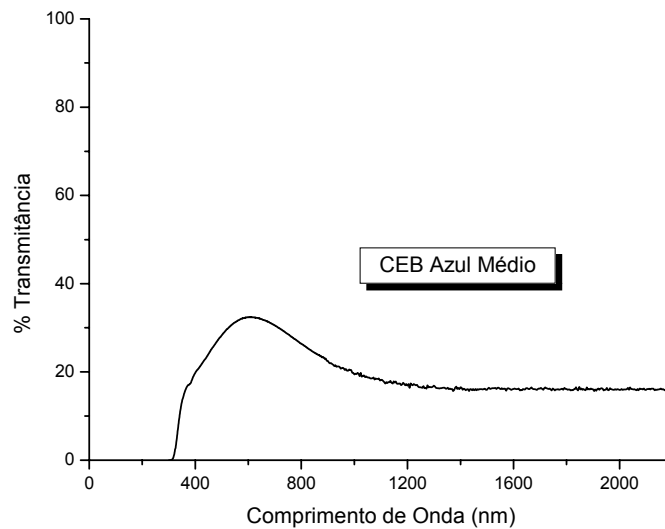


FIGURA 37 - Transmitância espectral do vidro azul médio

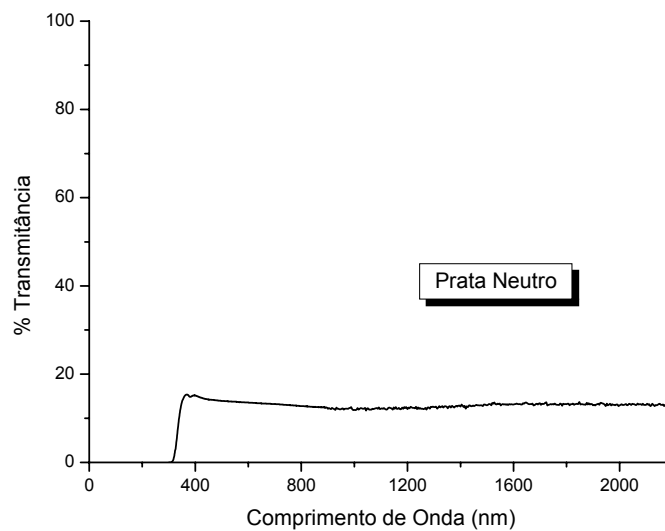


FIGURA 38 - Transmitância espectral do vidro prata neutro

VIDROS LAMINADOS

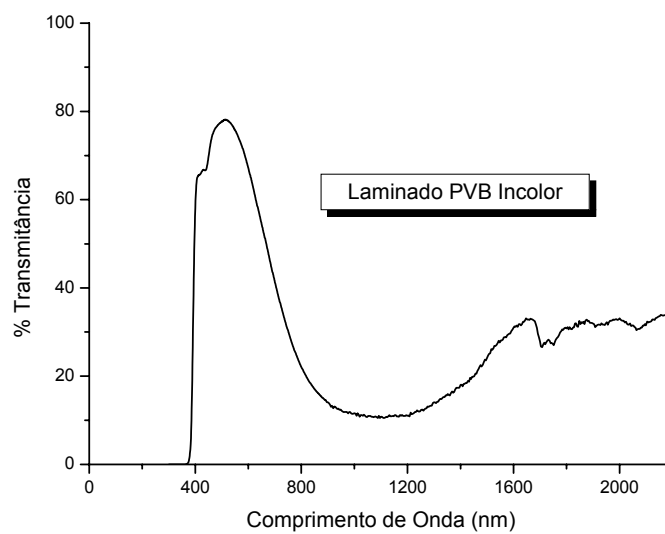


FIGURA 39 - Transmitância espectral do vidro laminado verde com PVB incolor

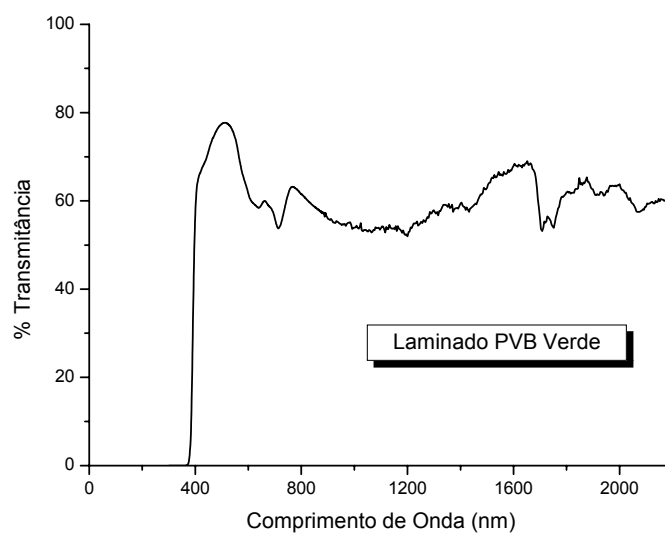


FIGURA 40 - Transmitância espectral do vidro laminado incolor com PVB verde

GRÁFICOS DE ABSORTÂNCIA

VIDROS PLANOS

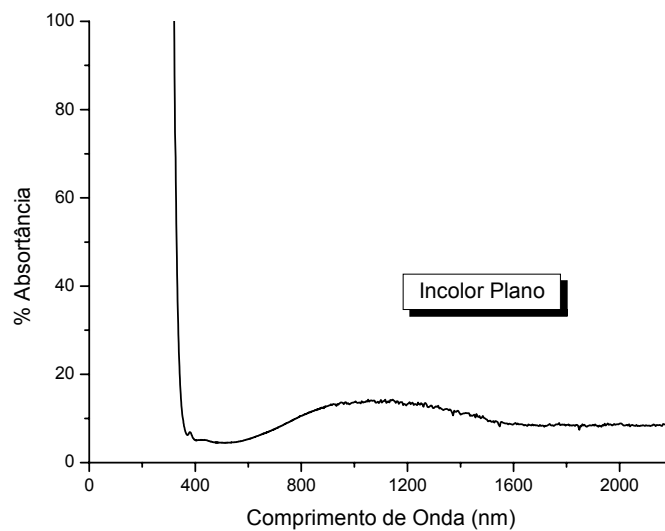


FIGURA 41 – Absortância espectral do vidro incolor plano

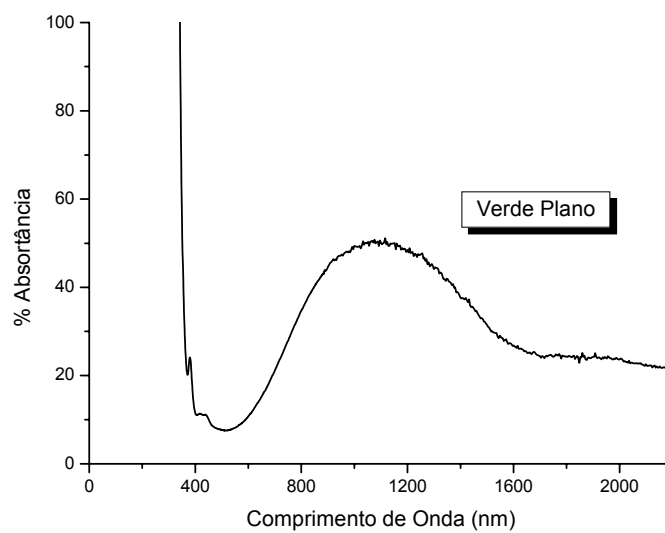


FIGURA 42 - Absortância espectral do vidro verde plano

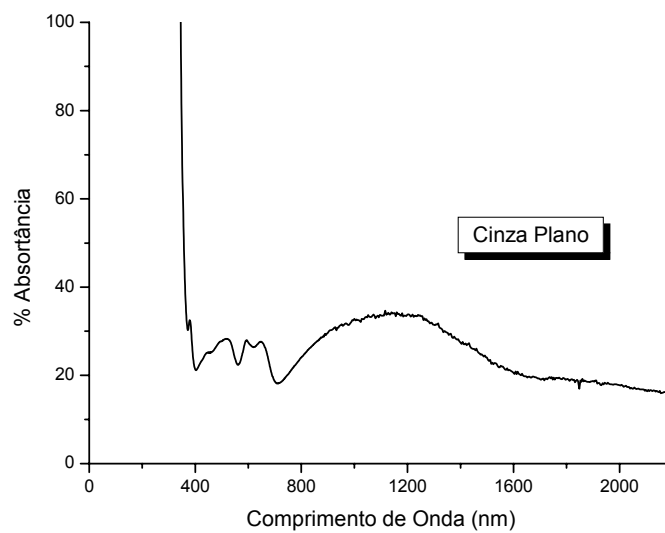


FIGURA 43 - Absortância espectral do vidro cinza plano

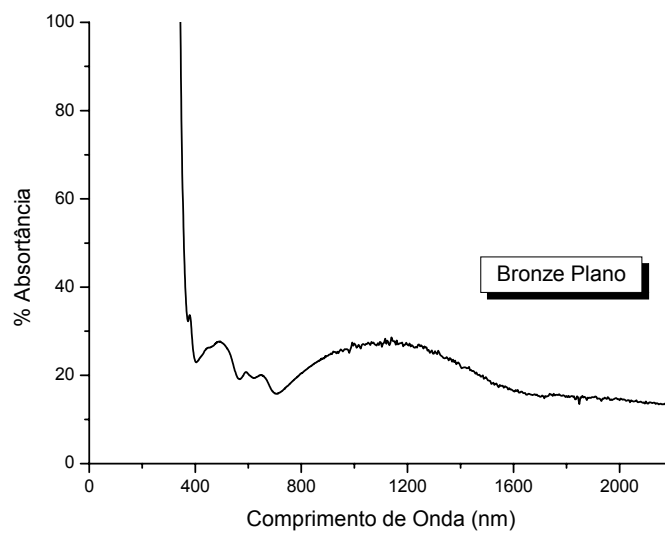


FIGURA 44 - Absortância espectral do vidro bronze plano

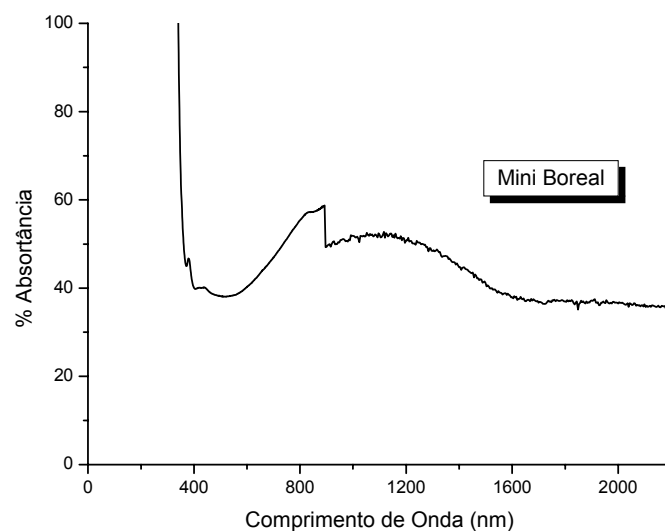


FIGURA 45 – Absortância espectral do vidro impresso mini-boreal

VIDROS REFLETIVOS PIROLÍTICOS

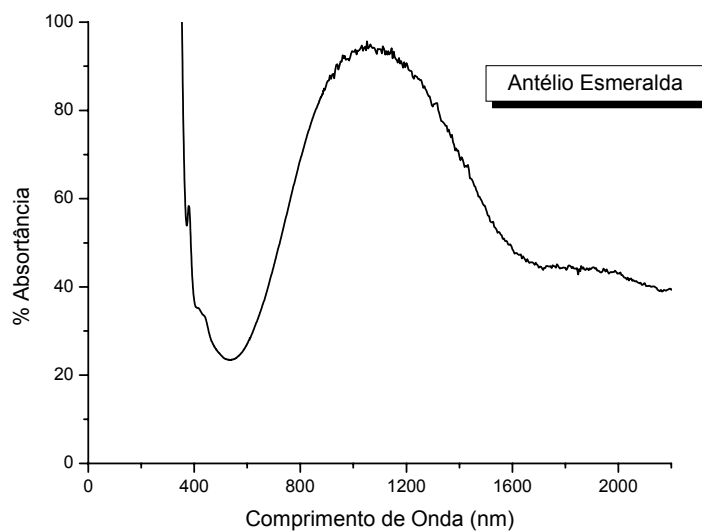


FIGURA 46 - Absortância espectral do vidro antélio esmeralda

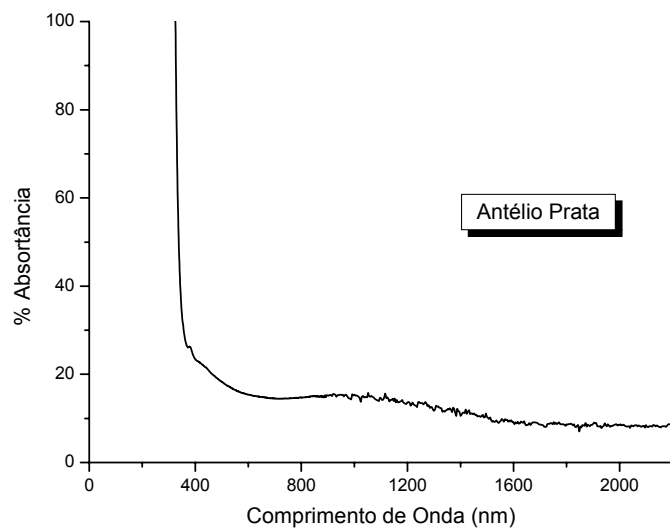


FIGURA 47 - Absortância espectral do vidro antélio prata

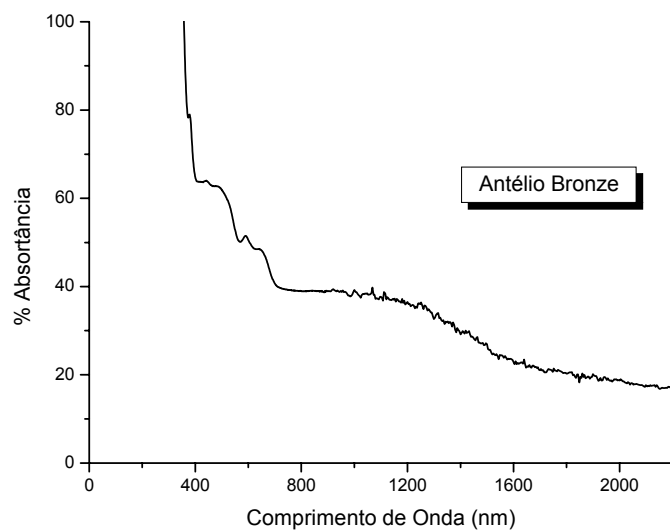


FIGURA 48 - Absortância espectral do vidro antélio bronze

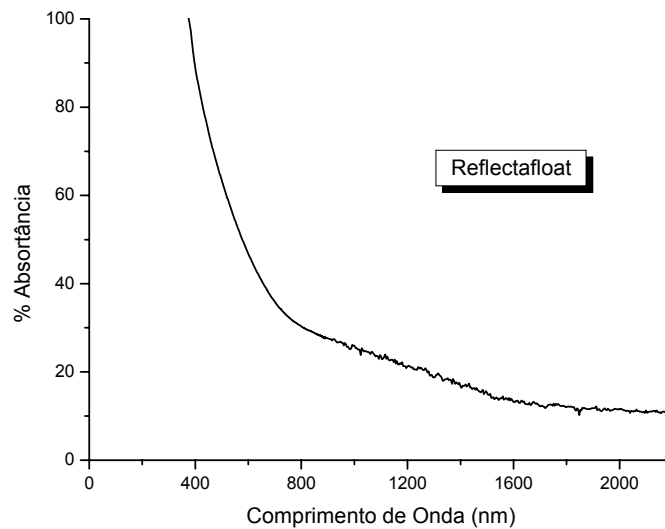


FIGURA 49 - Absortância espectral do vidro reflectafloat

VIDROS REFLETIVOS METALIZADOS A VÁCUO

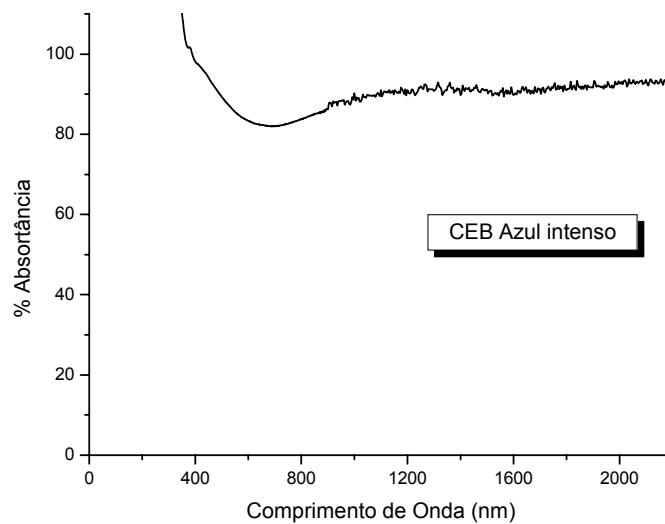


FIGURA 50 - Absortância espectral do vidro azul intenso

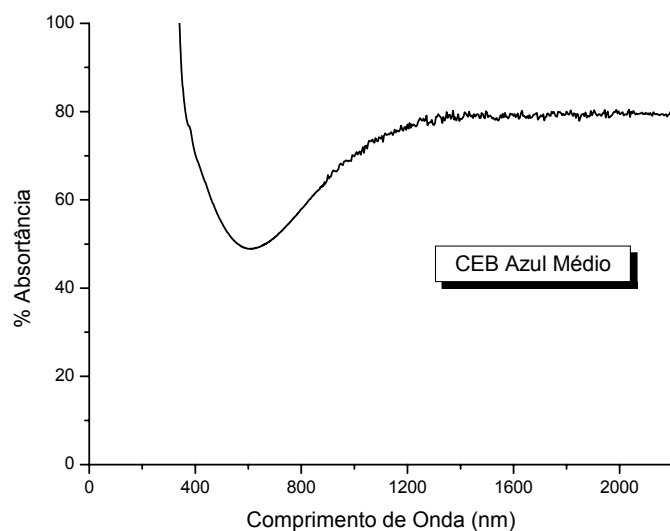


FIGURA 51 - Absortância espectral do vidro azul médio

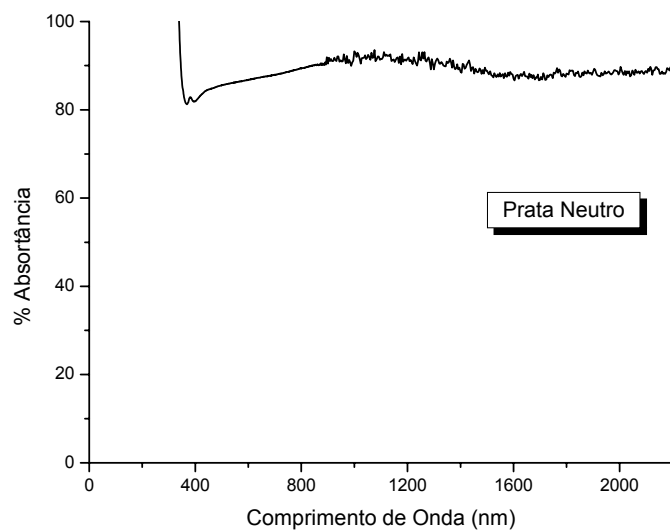


FIGURA 52 - Absortância espectral do vidro prata neutro

VIDROS LAMINADOS

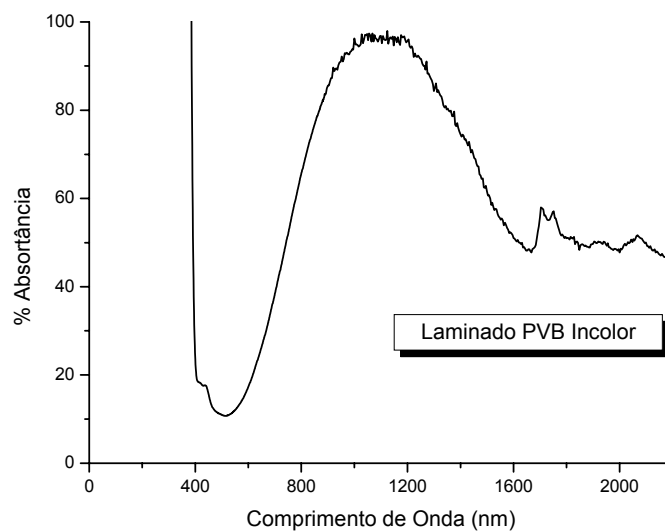


FIGURA 53 - Absortância espectral do vidro laminado verde com PVB incolor

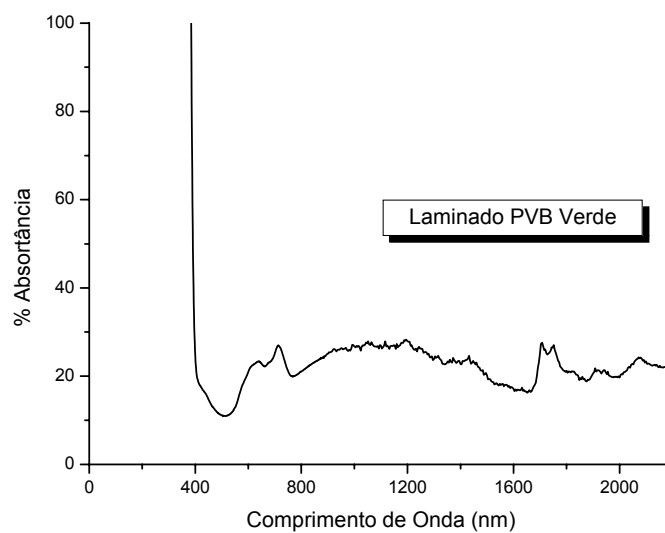


FIGURA 54 - Absortância espectral do vidro laminado incolor com PVB verde

TABELA 7 – Valores de transmitância, absorptância e refletância dos vidros analisados.

NÚMERO	VIDROS	TRANSMITÂNCIA			ABSORTÂNCIA			REFLETÂNCIA		
		VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL
PLANOS										
1	Incolor - 4mm	87	78	80	6	10	9	7	12	11
2	Verde - 4mm	72	47	52	14	34	30	14	19	18
3	Cinza - 4mm	57	57	57	24	25	25	19	18	18
4	Bronze - 4mm	61	63	63	21	19	20	18	18	17
IMPRESSO										
5	Mini-boreal - 4mm	38	37	37	43	44	43	19	19	20
REFLETIVOS PIROLÍTICOS										
6	Antelio verde esmeralda - 6mm	45	26	30	36	64	58	19	10	12
7	Antelio prata - 4mm	67	78	75	17	11	12	16	11	13
8	Antelio bronze - 4mm	31	53	48	53	28	33	16	19	19
9	Reflectafloat - 4mm	31	68	60	54	17	25	15	15	15
REFLETIVOS METALIZADOS A VÁCUO										
10	CEB Azul intenso - 4mm	13	12	12	82	86	85	5	2	3
11	CEB Azul médio - 4mm	28	17	19	55	76	71	17	7	10
12	CEB Prata neutro - 4mm	13	12	12	82	85	85	5	3	3
LAMINADOS										
13	Vidro verde e PVB incolor - 8mm	58	23	30	27	68	59	15	9	11
14	Vidro incolor e PVB verde - 8mm	64	59	60	21	23	22	15	18	18

Observa-se que os valores de refletância, absorptância e transmitância obtidos neste trabalho diferem dos encontrados em literatura, conforme Santos (2002) e Caram (2002). Uma possível justificativa para essa diferença é a utilização do espectrofotômetro calibrado no modo absorção e/ou transmissão. Nas referências citadas, foi utilizado um dispositivo para medida de reflexão a ângulos variados. Além disso, o processo de fabricação de vidros sofre alterações no decorrer dos anos. Portanto, resultados apresentados em outros trabalhos podem se referir a vidros que não contenham exatamente a mesma composição que os desta pesquisa.

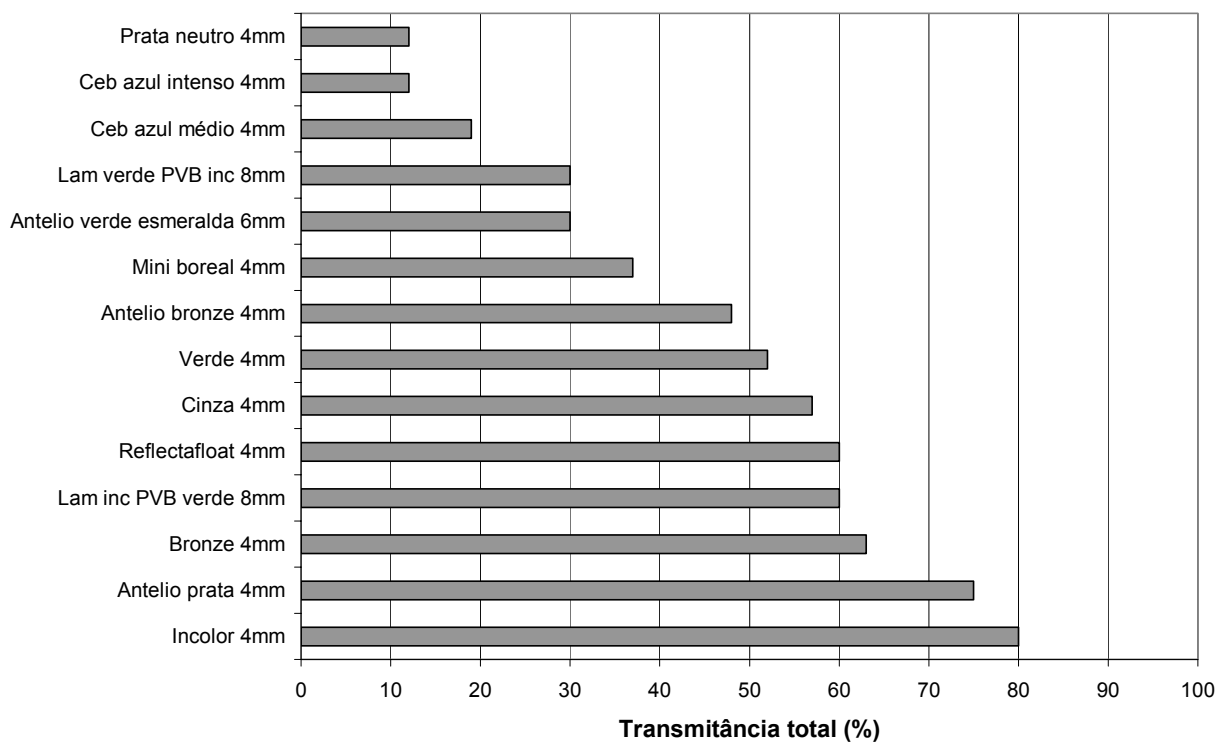


FIGURA 55 – Valores de transmitância total para cada vidro

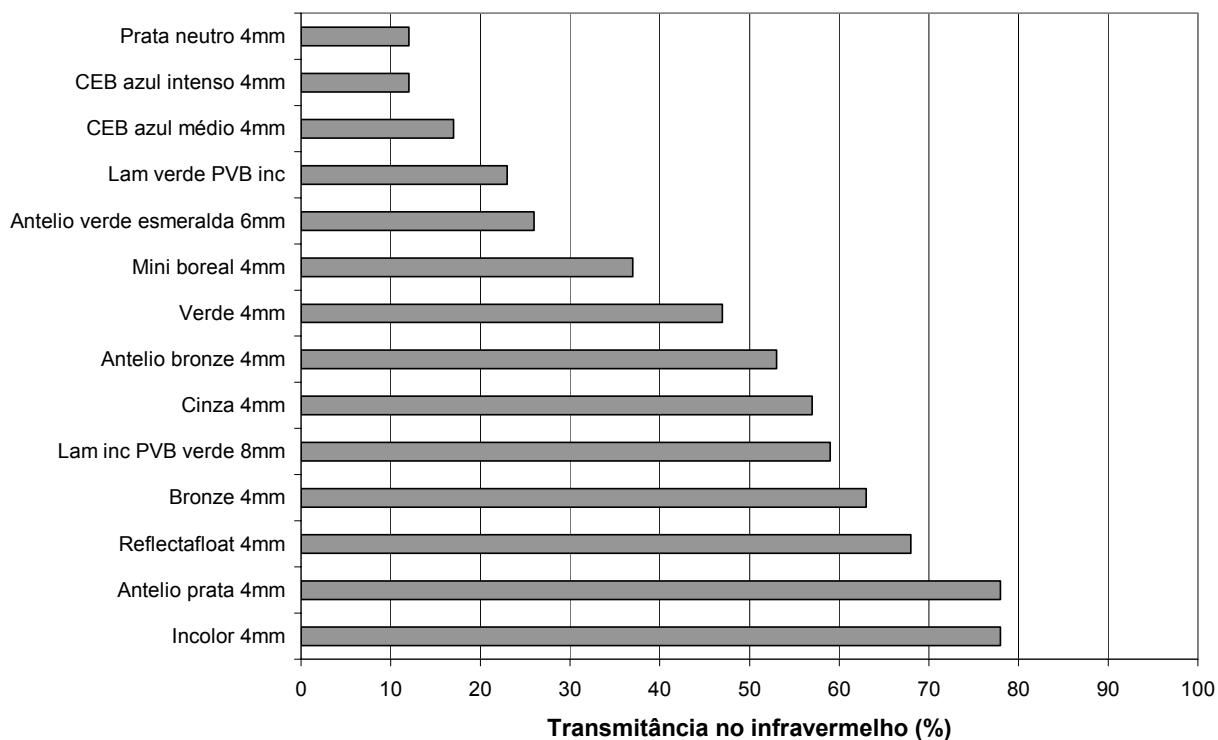


FIGURA 56 – Valores de transmitância no infravermelho para cada vidro

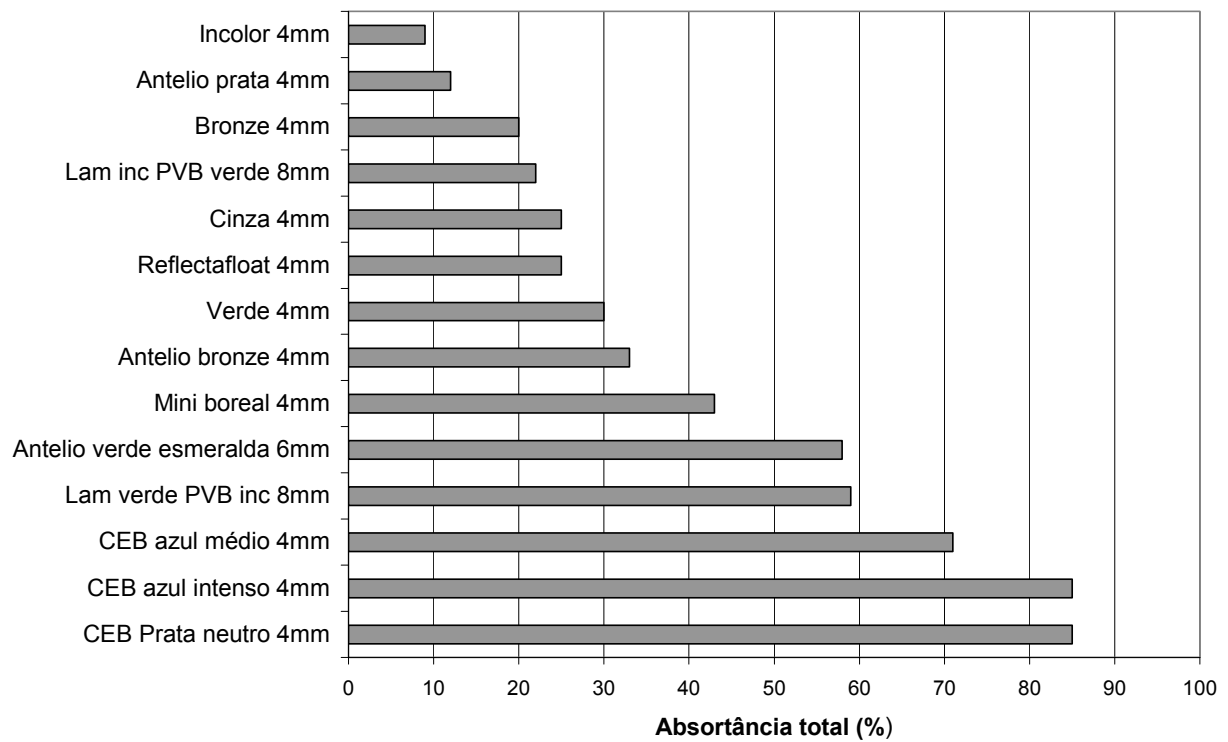


FIGURA 57 – Valores de absorção total para cada vidro

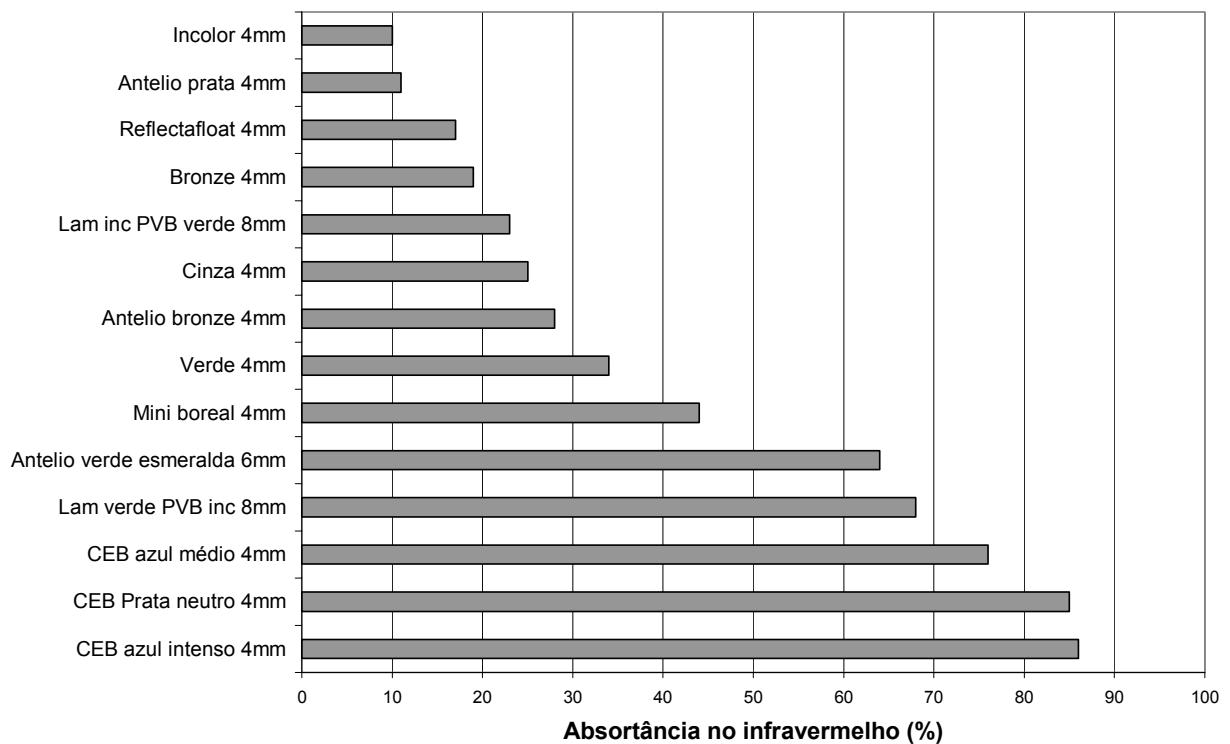


FIGURA 58 – Valores de absorção no infravermelho para cada vidro

VIDROS PLANOS

Os vidros incolor, verde, cinza e bronze apresentaram valores de transmitância no visível entre 57 e 87%, sendo o maior valor para o vidro incolor, seguido dos vidros verde (72%), bronze (61%) e cinza (57%). Quanto à absorptância no visível, os vidros planos apresentaram o mesmo comportamento, com valores entre 6 e 24%, porém, em seqüência inversa: o vidro cinza foi aquele de maior valor (24%), seguido pelos vidros bronze (21%), verde (14%) e incolor (6%).

Cabe ressaltar o comportamento do vidro mini-boreal, que apresentou 38% de transmitância e 43% de absorptância na região do visível.

Na região do infravermelho, tanto o vidro incolor como os coloridos apresentaram transmitância entre 47 e 78%, sendo o maior valor para o incolor, seguido dos vidros bronze (63%), cinza (57%) e verde (47%). Quanto à absorptância no infravermelho, os valores variaram de 10 a 34%, em seqüência inversa aos valores de transmitância: vidro verde (34%), vidro cinza (25%), vidro bronze (19%) e vidro incolor (10%).

O vidro mini-boreal apresentou um comportamento diferenciado, com 37% de transmitância e 44% de absorptância, na região do infravermelho.

Com relação à transmitância e absorptância totais, os vidros planos apresentaram valores de transmitância total entre 52 e 80%, com exceção do vidro mini-boreal, com 37%. O vidro incolor exibiu o maior valor (80%), seguido pelos vidros bronze (63%), cinza (57%) e verde (52%). Quanto a absorptância, os valores variaram de 10 a 34%, sendo o menor valor para o vidro incolor (9%), seguido pelos vidros bronze (20%), cinza (25%) e verde (30%).

VIDROS REFLETIVOS PIROLÍTICOS

O vidro antélio prata obteve o maior valor de transmitância, em todas as regiões consideradas, atingindo valores próximos no infravermelho e no total (78% e 75%, respectivamente) e 67% no visível.

Dentre os vidros pirolíticos, o verde esmeralda, de maior espessura, apresentou os menores valores de transmitância, nas regiões espectrais do infravermelho e total, com 26% e 30%, respectivamente. Ressalte-se que na região do visível, os vidros reflectafloat (4mm) e antélio bronze (4mm) exibiram os menores valores dentre todos os vidros pirolíticos, atingindo 31%. Embora o vidro verde esmeralda seja de maior espessura (6mm), nota-se que a transmitância não depende exclusivamente desse parâmetro, havendo outros fatores determinantes, como a composição e coloração do vidro.

Os vidros reflectafloat e antélio prata apresentaram alta transmitância no infravermelho, e baixa absorptância, podendo-se dizer que são fontes armazenadoras de calor.

A maior diferença entre esses dois vidros é que o antélio prata tem boa transmissão de luz visível, com 67%, e o reflectafloat apresenta apenas o valor de 31%, sendo esse também o valor para o vidro antélio bronze.

Com relação à transmitância total, o vidro verde esmeralda apresentou o menor valor (30%), seguido pelos vidros antélio bronze (48%), reflectafloat (60%) e antélio prata (75%).

VIDROS REFLETIVOS METALIZADOS A VÁCUO

Tanto o vidro prata neutro quanto o azul intenso apresentaram o mesmo comportamento para as distintas regiões espectrais, com 12% de transmitância total e no infravermelho, e 13% de luz visível. O vidro azul médio apresentou o maior valor de

transmitância no visível, com 28%. Mesmo sendo das mesmas espessuras, essa diferença na transmissão pode ser devida à presença dos óxidos que conferem a cor ao material.

Os valores de transmissão total foram de 19% para o vidro azul médio, e 12% para os outros dois vidros (azul intenso e prata neutro).

VIDROS LAMINADOS

Interessante observar que o vidro incolor com PVB verde apresentou o dobro de transmissão total (60%) que aquele com vidro verde e PVB incolor (30%). Essa proporção também pode ser observada na região do infravermelho, com 59% para o vidro incolor e PVB verde, e 23% para o vidro verde e PVB incolor.

Na região do visível os dois obtiveram valores de transmitância bem próximos, sendo 58% para o vidro verde e PVB incolor, e 64% para o vidro incolor e PVB verde.

Isso comprova que os dois vidros laminados possuem boa transmissão de luz visível, porém, na região do infravermelho, fonte de calor, o vidro incolor com película verde tem um valor bem maior de transmitância, atingindo 59%, contra 23% do vidro com película incolor, deixando maior quantidade de calor penetrar no ambiente. Esse vidro, apesar de ser laminado, funciona com comportamento semelhante ao incolor plano, com a diferença de possuir maior espessura (8mm).

DISCUSSÃO

Os vidros planos foram os que obtiveram os maiores valores de transmitância e, conseqüentemente, os menores de absorptância, dentre todos os materiais analisados, em todas as regiões do espectro. Porém, apresentam valores elevados de transmitância não só na região do visível, como também na do infravermelho, fonte de

calor. Além disso, apenas os vidros verde e cinza contam com um valor razoável de absorvência no infravermelho, com 34% e 25%, respectivamente, podendo-se inferir que os demais vidros planos não são os mais adequados quando se objetiva uma atenuação do ganho de calor solar.

No vidro mini boreal, os valores de transmitância nas várias regiões do espectro permaneceram constantes, com 38% na região do visível, e 37% nas regiões do infravermelho e total. Além disso, foi o que apresentou menor valor de transmitância, dentre os vidros comuns, isto é, sem nenhum tipo de tratamento. Tal fato está relacionado à irregularidade da superfície do vidro, mais rugosa que a dos demais vidros planos. A transmitância direta é reduzida se houver alguma rugosidade, difundindo a radiação solar incidente.

Sabe-se que o vidro ideal para fachadas em regiões quentes, e expostos diretamente à radiação solar, deve apresentar boa transmitância na região do visível, e pouca na do infravermelho, pois, para as condições climáticas predominantes no país, o recomendável é admitir a luz e rejeitar o calor. Portanto, o vidro ideal deve ter alta absorvência no infravermelho e baixa no visível.

Tanto na transmissão do infravermelho como para a transmitância total, os vidros antélio prata e incolor comum apresentaram os maiores valores: 78% no IV para os dois vidros; 80% e 75% no total, para o incolor e antélio prata, respectivamente. À absorvência desses vidros foram atribuídos os menores valores, entre 9 e 12%. Pode-se dizer que, neste caso, apesar dos dois vidros serem de tipologias diferentes, apresentam o mesmo comportamento com relação ao ganho de calor, levando-se em conta apenas as características espectrofotométricas, não sendo considerados ideais, pois absorvem pouco e transmitem bastante a radiação.

Os vidros metalizados a vácuo são os que menos transmitem, e mais absorvem, em todas as regiões, podendo-se dizer que seriam adequados sob o ponto de vista de ganho de calor, considerando somente as propriedades óticas, na escolha do vidro para um determinado ambiente. Porém, deve-se observar que a transmissão

na região do visível é baixa, não chegando a 30%, o que nos leva a concluir que esse tipo de vidro não é adequado para uma boa iluminação natural.

Os vidros pirolíticos antélio bronze e reflectafloat apresentam, aparentemente, um bom comportamento com relação à iluminação natural, pois transmitem 31% na região do visível. Porém, com relação ao ganho de calor, mostram altos valores de transmitância no infravermelho, com 53% (antélio bronze) e 68% (reflectafloat). Além disso, os valores de absorptância são de 17% (reflectafloat) e 28% (antélio bronze), não sendo considerados ideais, pois transmitem bastante e absorvem pouco infravermelho.

Pode-se dizer que, dentre os pirolíticos, o antélio esmeralda é o mais indicado na especificação de vidros, pois transmite pouco nas regiões do infravermelho (26%) e total (30%), e um valor considerável na região do visível (45%). Com relação à absorção, apresenta 58% de absorptância total, 64% no infravermelho e 36% no visível. Portanto, esse vidro possui duas características consideradas num vidro ideal: baixa transmitância e alta absorptância na região do infravermelho.

Dentre os dois vidros laminados, o composto por vidro verde e PVB incolor pode ser considerado mais indicado, pois apresenta baixa transmitância (23%) e alta absorptância (68%) na região do infravermelho.

A seguir, nas TAB. 8 a 11, são apresentados os resultados das características óticas, obtidos para os diferentes ângulos de incidência.

As FIG. 59 a 64 ilustram o comportamento dos vidros com relação à transmitância, absorptância e refletância, em função do ângulo de incidência.

6.2 ESPECTROFOTÔMETRO – DIFERENTES ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA

Neste trabalho os valores de transmitâncias, absortâncias e refletâncias adotados para ângulos diferentes da incidência normal, foram obtidos a partir dos dados de Caram (2002) e Santos (2002), por regra de três. Apenas para os vidros CEB (metalizados a vácuo), não foi adotada essa regra, conforme citado anteriormente.

São apresentados a seguir os resultados obtidos (TAB. 8 a 11), e os gráficos de transmitância, absortância e refletância, em função do ângulo de incidência, para cada vidro (FIG. 59 a 64).

TABELA 8 – Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros planos

VIDRO	ANG. INCID.	TRANSMITÂNCIA (%)			ABSORTÂNCIA (%)			REFLETÂNCIA (%)		
		VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL
PLANO INCOLOR 4 mm	0	87	78	80	6	10	9	7	12	11
	10	87	78	80	6	10	9	7	12	11
	20	87	78	80	5	10	9	8	12	11
	30	85	77	79	6	10	9	9	13	12
	40	83	76	77	8	9	10	9	15	13
	50	78	73	74	13	10	11	9	17	15
	60	73	70	70	13	10	11	14	20	19
	70	61	63	59	15	1	10	24	36	31
	80	36	40	35	14	3	11	50	57	54
PLANO VERDE 4 mm	0	72	47	52	14	34	30	14	19	18
	10	72	47	52	14	34	30	14	19	18
	20	70	46	51	15	35	31	15	19	18
	30	69	45	50	16	35	31	15	20	19
	40	67	44	48	17	34	31	16	22	21
	50	61	41	44	21	36	34	18	23	22
	60	53	38	41	27	36	33	20	26	26
	70	44	33	33	26	26	30	30	41	37
	80	23	25	18	22	13	21	55	62	61
PLANO CINZA 4 mm	0	57	57	57	24	25	25	19	18	18
	10	57	57	57	24	25	25	19	18	18
	20	56	56	56	24	26	26	20	18	18
	30	55	55	55	25	26	26	20	19	19
	40	52	53	52	27	27	27	21	20	21
	50	49	51	49	28	26	27	23	23	24
	60	45	48	46	31	25	29	24	27	25
	70	39	39	37	28	21	26	33	40	37
	80	24	27	24	19	14	17	57	59	59
PLANO BRONZE 4 mm	0	61	63	63	21	19	20	18	18	17
	10	61	63	63	21	19	20	18	18	17
	20	60	62	62	21	19	20	19	19	18
	30	59	62	60	22	19	22	19	19	18
	40	56	60	59	25	20	22	19	20	19
	50	52	58	55	26	19	24	22	23	21
	60	46	54	51	30	19	25	24	27	24
	70	39	44	42	28	15	23	33	41	35
	80	22	29	26	22	12	17	56	59	57

TABELA 9 – Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros refletivos pirolíticos

VIDRO	ANG. INCID.	TRANSMITÂNCIA (%)			ABSORTÂNCIA (%)			REFLETÂNCIA (%)		
		VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL
ANTÉLIO VERDE ESMERALDA 6 mm	0	45	26	30	36	64	58	19	10	12
	10	45	26	30	36	64	58	19	10	12
	20	45	25	30	35	64	57	20	11	13
	30	44	25	30	35	63	57	21	12	13
	40	42	23	28	37	65	58	21	12	14
	50	39	22	26	39	64	58	22	14	16
	60	36	21	23	37	61	57	27	18	20
	70	32	17	18	37	56	56	31	27	26
	80	22	12	11	23	36	39	55	52	50
ANTÉLIO PRATA 4 mm	0	67	78	75	17	11	12	16	11	13
	10	67	78	75	17	11	12	16	11	13
	20	67	76	74	17	13	13	16	11	13
	30	66	73	74	18	15	13	16	12	13
	40	66	73	73	18	14	13	16	13	14
	50	65	74	72	17	11	12	18	15	16
	60	63	68	70	15	8	10	22	24	20
	70	57	60	63	19	8	10	24	32	27
	80	45	40	47	23	8	10	32	52	43
ANTÉLIO BRONZE 4 mm	0	31	53	48	53	28	33	16	19	19
	10	31	53	48	53	28	33	16	19	19
	20	30	53	46	54	28	32	16	19	19
	30	28	52	45	57	28	36	15	20	19
	40	27	49	42	58	31	39	15	20	19
	50	25	48	40	58	30	39	17	22	21
	60	22	46	38	59	28	37	19	26	25
	70	19	39	32	60	28	36	21	33	32
	80	10	25	17	35	17	27	55	58	56
REFLECTAFLOAT 4 mm	0	31	68	60	54	17	25	15	15	15
	10	31	68	60	54	17	25	15	15	15
	20	31	66	59	54	19	26	15	15	15
	30	30	65	59	55	19	26	15	16	15
	40	30	65	58	55	18	26	15	17	16
	50	29	66	57	54	15	25	17	19	18
	60	27	61	55	52	11	23	21	28	22
	70	21	53	48	56	10	23	23	37	29
	80	9	33	32	55	10	23	36	57	45

TABELA 10 – Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros refletivos metalizados a vácuo. FONTE: Santos (2002) e Caram (2002).

VIDRO	ANG. INCID.	TRANSMITÂNCIA (%)			ABSORTÂNCIA (%)			REFLETÂNCIA (%)		
		VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL
CEB-114 AZUL INTENSO 5 mm	0	14	13	14	65	67	65	21	20	22
	10	14	13	14	65	67	65	21	20	22
	20	13	13	13	65	67	65	22	20	22
	30	13	13	13	63	66	65	24	21	23
	40	12	13	12	62	65	65	24	22	23
	50	11	13	12	61	64	63	28	23	25
	60	9	13	11	62	62	61	29	25	28
	70	8	13	10	55	53	54	37	34	36
	80	4	11	7	38	33	37	58	56	56
CEB-130 AZUL MÉDIO 5 mm	0	28	19	24	52	58	54	20	23	22
	10	28	19	24	52	58	54	20	23	22
	20	28	19	24	52	58	54	20	23	22
	30	27	19	23	50	58	54	23	23	22
	40	26	19	23	51	57	55	23	24	22
	50	23	19	21	54	57	56	23	24	23
	60	21	18	19	56	55	57	23	27	24
	70	18	18	17	51	50	51	31	32	32
	80	11	14	12	33	33	34	56	53	54
CEB PRATA NEUTRO 5 mm	0	20	18	19	49	60	53	31	22	28
	10	20	18	19	49	60	53	31	22	28
	20	18	18	18	51	59	54	31	23	28
	30	18	18	18	51	57	54	31	25	28
	40	17	18	17	52	57	54	31	25	29
	50	16	18	16	53	56	54	31	26	30
	60	14	18	15	51	54	53	35	28	32
	70	12	18	13	49	43	48	39	39	39
	80	7	14	9	36	32	35	57	54	56

TABELA 11 – Características óticas para ângulos de incidência variados: vidros laminados

VIDRO	ANG. INCID.	TRANSMITÂNCIA (%)			ABSORTÂNCIA (%)			REFLETÂNCIA (%)		
		VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL	VIS	IV	TOTAL
LAMINADO VERDE PVB INCOLOR 8 mm	0	58	23	30	27	68	59	15	9	11
	10	58	23	30	27	68	59	15	9	11
	20	57	21	29	28	70	60	15	9	11
	30	55	20	28	30	70	61	15	10	11
	40	54	19	26	31	70	62	15	11	12
	50	49	18	24	36	67	61	15	15	15
	60	42	15	20	38	65	60	20	20	20
	70	28	10	13	43	59	57	29	31	30
	80	9	3	5	33	42	57	58	55	58
LAMINADO INCOLOR PVB VERDE 8 mm	0	64	59	60	21	23	22	15	18	18
	10	64	59	60	21	23	22	15	18	18
	20	63	58	60	21	24	22	16	18	18
	30	62	58	59	21	24	22	17	18	19
	40	60	55	58	24	24	22	16	21	20
	50	56	54	55	24	22	22	20	24	23
	60	52	50	50	24	20	22	24	30	28
	70	38	40	38	30	20	24	32	40	38
	80	16	17	16	23	21	22	61	62	62

VIDROS PLANOS

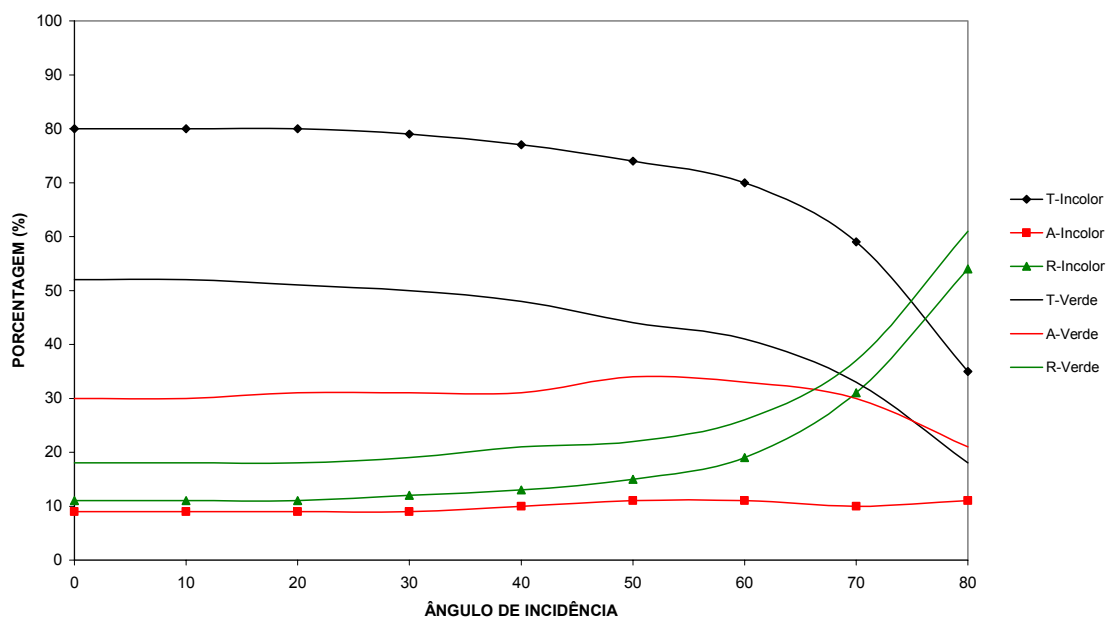


FIGURA 59 – Transmitância (T), Absortância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros planos incolor e verde.

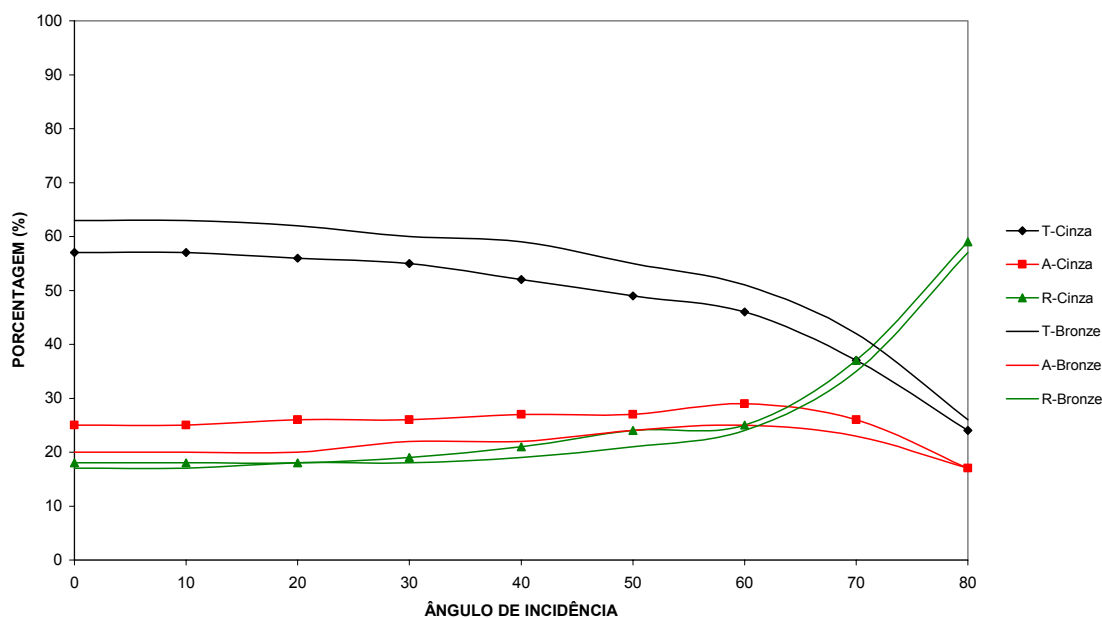


FIGURA 60 - Transmitância (T), Absortância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros planos cinza e bronze.

Comentários

Observa-se que quanto maior o ângulo de incidência, maior a refletância. A partir de 60°, as refletâncias se tornam muito intensas, independentemente do vidro analisado. Além disso, há uma diminuição da transmissão da radiação direta, a partir de 45°.

Os vidros planos apresentam alta transmitância a todo espectro, e baixa absorptância e refletância, conforme FIG. 59 e 60.

Considerando uma média entre os ângulos 40° e 60°, devido à maior probabilidade de uma fachada estar sujeita a esses ângulos, pode-se observar que, dentre os vidros planos, o incolor apresenta a mais alta transmitância em todo espectro analisado, assim como os menores valores de absorptância e refletância. Depois do vidro incolor, seguem os vidros bronze, cinza e verde (ordem crescente de valores de absorptâncias e refletâncias).

O vidro plano verde apresenta 60% de transparência à luz visível e 41% na região do infravermelho. Para o vidro bronze, a porcentagem de transmitância é de 52% no visível e 57% no infravermelho. Com relação ao vidro cinza, os valores de transmitância são em torno de 50%, tanto para o visível quanto para o infravermelho. Observa-se que o vidro verde, pelo fato de possuir mais óxidos responsáveis pela coloração que os outros vidros coloridos, apresenta o maior valor de absorptância total (33%) e também na região do infravermelho (35%).

A transmitância dos vidros coloridos é menor que a do vidro incolor, devido à absorção. A TAB. 8 ilustra que a atenuação ocorre justamente na região do infravermelho. No entanto, esta atenuação é devida à ocorrência da absorção. O vidro absorve a radiação e depois reirradia para o interior e exterior. O ideal seria que a radiação fosse refletida, nesta região do espectro. Mas, pode-se considerar que, dentre os vidros planos o verde seria o mais indicado para atenuação do ganho de calor solar de um ambiente, apresentando o maior valor de absorptância no infravermelho (35%).

VIDROS REFLETIVOS PIROLÍTICOS

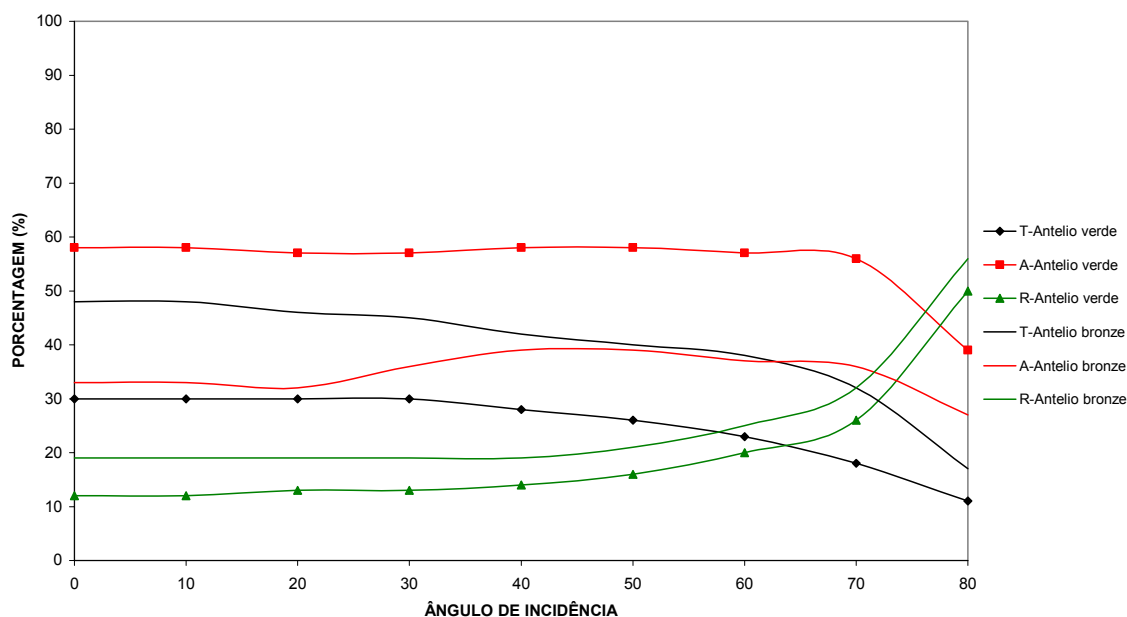


FIGURA 61 – Transmitância (T), Absortância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros pirolíticos verde e bronze.

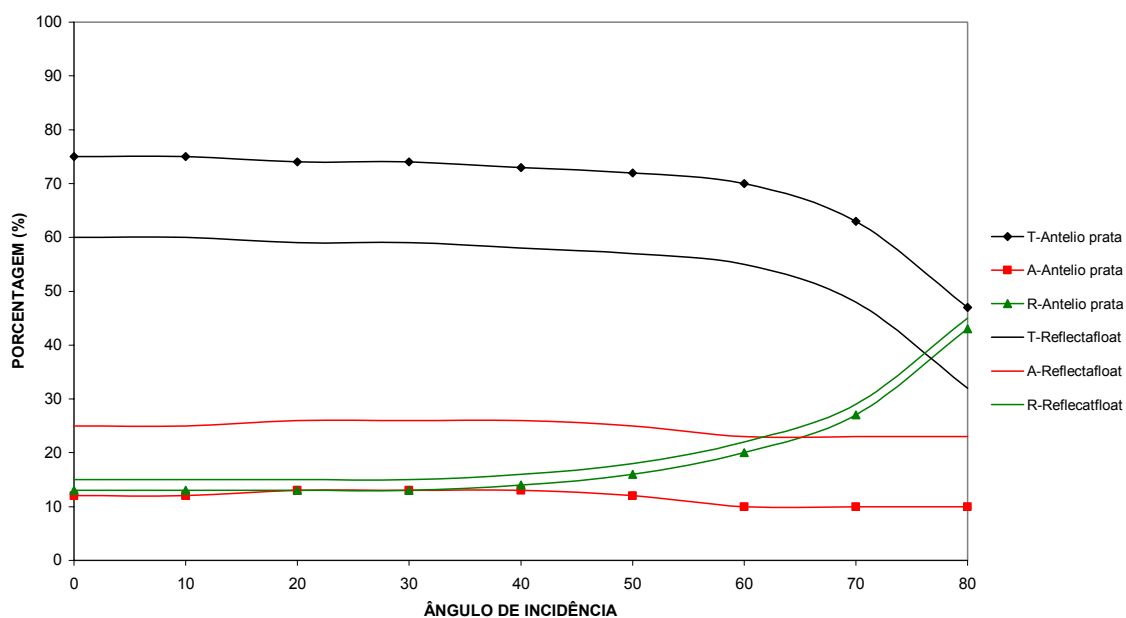


FIGURA 62 – Transmitância (T), Absortância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros pirolíticos prata e reflectafloat.

Comentários

Dentre os vidros refletivos pirolíticos, o antélio prata apresenta a maior transmitância total (72%), seguido pelos vidros reflectafloat (57%), antélio bronze (40%) e antélio esmeralda (26%). Vale lembrar que esses valores são uma média entre os ângulos de 40° a 60°.

Com relação à absorptância, o vidro verde esmeralda apresenta 58%, seguido pelos vidros antélio bronze (38%), reflectafloat (25%) e antélio prata (12%). O vidro verde esmeralda tem 6mm de espessura, enquanto que os demais pirolíticos são de 4mm. Este fato explica a menor transmitância e maior absorptância desse vidro. Quanto maior a espessura, menor a transmitância, devido à absorção.

Ressalte-se que o vidro antélio prata se comporta de maneira semelhante ao incolor comum, com, praticamente, os mesmos valores de transmitância, absorptância e refletância total. Entretanto, o antélio prata apresenta, dentre os vidros pirolíticos, a maior transmitância para a região do visível e infravermelho, e conseqüentemente, a menor absorptância nessas regiões.

O vidro verde esmeralda é o que mais absorve na região do infravermelho, com 63%, aproximadamente, além de ser o que menos transmite na região do infravermelho (22%). Portanto, em relação ao ganho de calor solar, pode-se dizer que, dentre os vidros refletivos pirolíticos, o verde esmeralda seria o mais indicado para atenuar o ganho de calor de um determinado ambiente.

Os vidros antélio bronze e reflectafloat absorvem uma parcela significativa de luz visível (em torno de 55%), enquanto que, na região do infravermelho, as porcentagens são de 30% para o antélio bronze e somente 15% para o reflectafloat. Portanto, pode-se inferir que o vidro reflectafloat não é um vidro adequado quando o objetivo é a redução do ganho de calor no ambiente. Quanto ao antélio bronze, apesar de contar com 30% de absorptância no infravermelho, apresenta 48% de transmitância, nessa região, não sendo indicado no controle do ganho de calor.

VIDROS REFLETIVOS METALIZADOS A VÁCUO

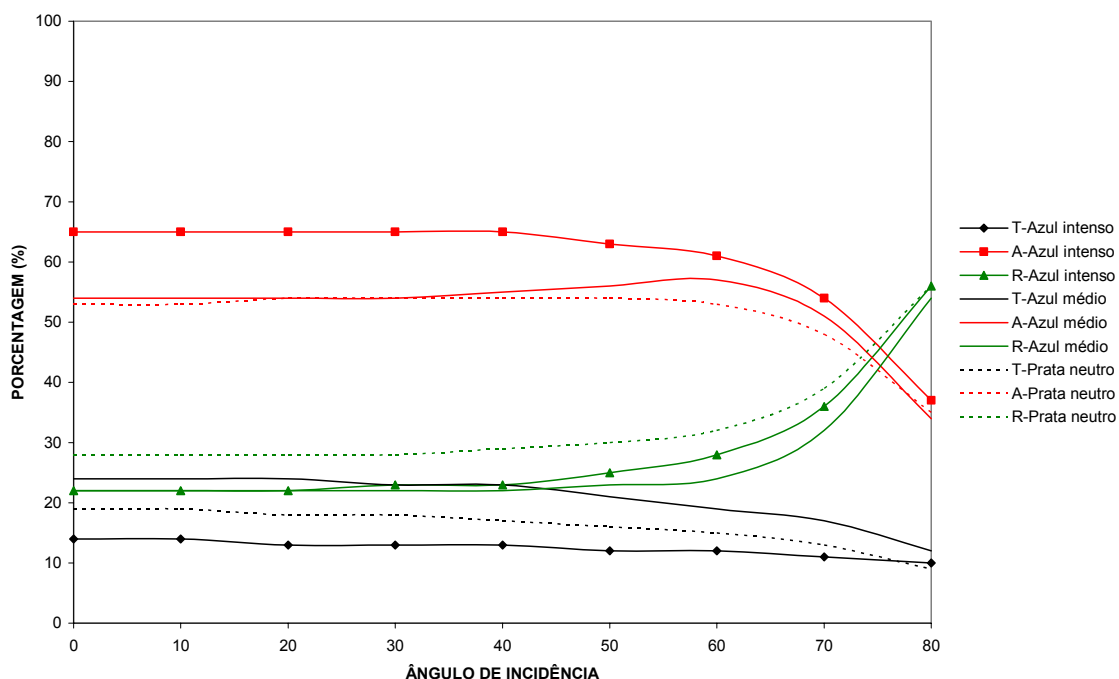


FIGURA 63 – Transmitância (T), Absortância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros metalizados a vácuo: azul intenso, azul médio e prata neutro.

Comentários

Os três vidros metalizados a vácuo apresentam baixa transmitância total, entre 12% e 16%. Na região do visível, os valores de transmitância também são baixos, sendo que vidro azul médio apresenta 23% de transmissão, o prata neutro 15% e o azul intenso 11%. Portanto, esses vidros não são indicados para ambientes que exijam índices elevados de iluminação natural.

Com relação à atenuação do ganho de calor solar, os três vidros CEB têm condições de serem utilizados, pois têm absortância alta na região do infravermelho, sendo o azul intenso aquele de maior porcentagem (64%), seguido pelo azul médio (57%) e pelo prata neutro (56%). Interessante observar que o vidro azul intenso, por apresentar uma coloração mais escura que o azul médio, possui um valor mais alto de absortância. Apesar desses vidros serem chamados de refletivos, observa-se que são

bastante absorventes, com valores totais de absorptância entre 54% e 64%. Além de esses vidros apresentarem alta absorptância na região do infravermelho, contam também com baixos valores de transmitância, nessa região, sendo essa uma outra característica de um vidro considerado ideal.

VIDROS LAMINADOS

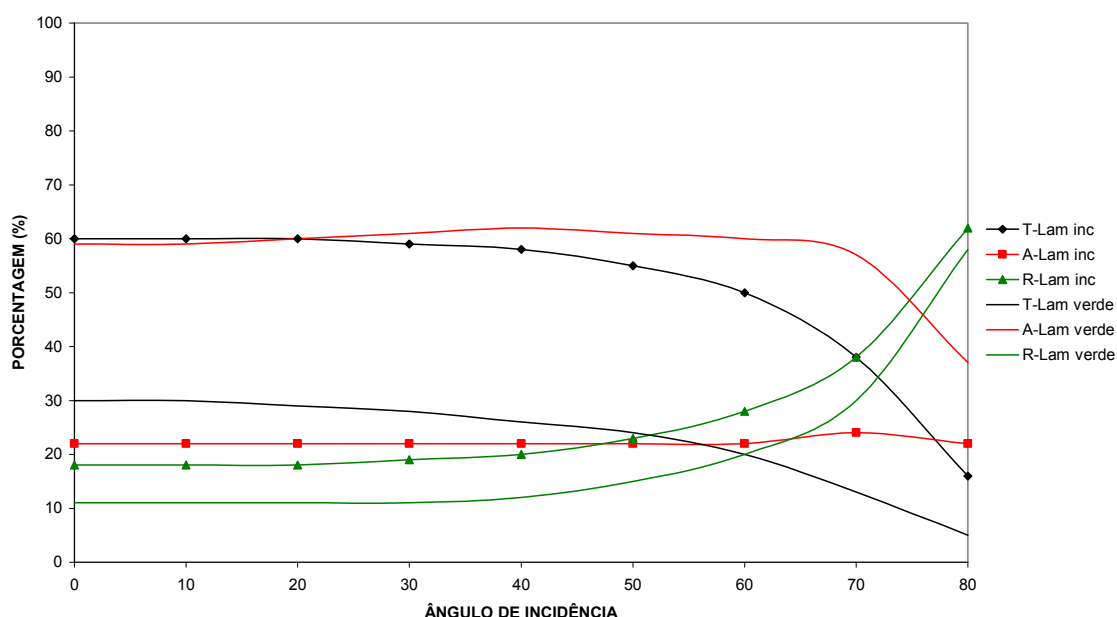


FIGURA 64 – Transmitância (T), Absortância (A) e Refletância (R) em função do ângulo de incidência: vidros laminados incolor com PVB verde e verde com PVB incolor.

Comentários

Com relação à transmitância, tanto o vidro laminado verde quanto o incolor apresentam comportamentos semelhantes aos seus vidros base, isto é, o vidro verde com PVB incolor se comporta como um vidro plano verde, enquanto que o vidro incolor com PVB verde se equipara ao vidro plano incolor.

O vidro incolor com película verde apresenta, também, comportamento semelhante ao incolor comum no que se refere a absorptância e refletância.

Em contrapartida, o vidro verde com película incolor apresenta valores de absorptância bem mais elevados que o vidro verde plano, devido, principalmente, à maior espessura, e maiores quantidades de óxidos responsáveis pela coloração.

Os dois tipos de vidros laminados apresentam altos valores de transmitância na região do visível. Porém, com relação ao infravermelho, o vidro verde com película incolor tem transmitância bem menor que aquele incolor com película verde.

Dentre os dois vidros laminados estudados, pode-se inferir que aquele com vidro verde e PVB incolor é o mais indicado com relação ao ganho de calor solar, pois apresenta altos valores de absorptância (67%) e baixos de transmitância (17%), na região do infravermelho. Ocorre que atualmente, os vidros laminados são em geral produzidos com vidros incolores e películas coloridas.

A seguir são apresentados e comentados os resultados obtidos nas células-teste.

Como os registros eram feitos a cada 10 minutos, foi calculada, com os seis valores do intervalo, uma média horária de cada parâmetro analisado, para cada dia e, a partir daí, a média horária do referido período (uma semana para cada fachada). Portanto, os gráficos ilustram uma média do comportamento das variáveis. No anexo E estão todos os valores nominais de cada parâmetro, para cada período e cada família, separadamente.

Com relação à radiação solar, os resultados obtidos a partir dos dados coletados pelo piranômetro, bem como aqueles resultantes da utilização do programa Radisol, estão apresentados no anexo F.

Ao citar as propriedades óticas dos vidros, em todos os comentários e discussões apresentados a seguir, foi considerada uma média entre os ângulos de 40° a 60°, devido à maior probabilidade de uma fachada estar sujeita a esses ângulos.

Os gráficos das variações das temperaturas superficiais dos vidros, temperaturas de bulbo seco internas e temperaturas externas, são apresentados nas figuras 65 a 84:

FIG. 65 a 68 – Família 1

FIG. 69 a 72 – Família 2

FIG. 73 a 76 – Família 3

FIG. 77 a 80 – Família 4

FIG. 81 a 84 – Família 5

6.3 CÉLULAS TESTE

FAMÍLIA 1 - Fachada Norte: 21 a 27/06/05
 - Fachada Oeste: 10 a 16/06/05

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DOS VIDROS

21 a 27/06/05 - Tsup interna dos vidros - NORTE

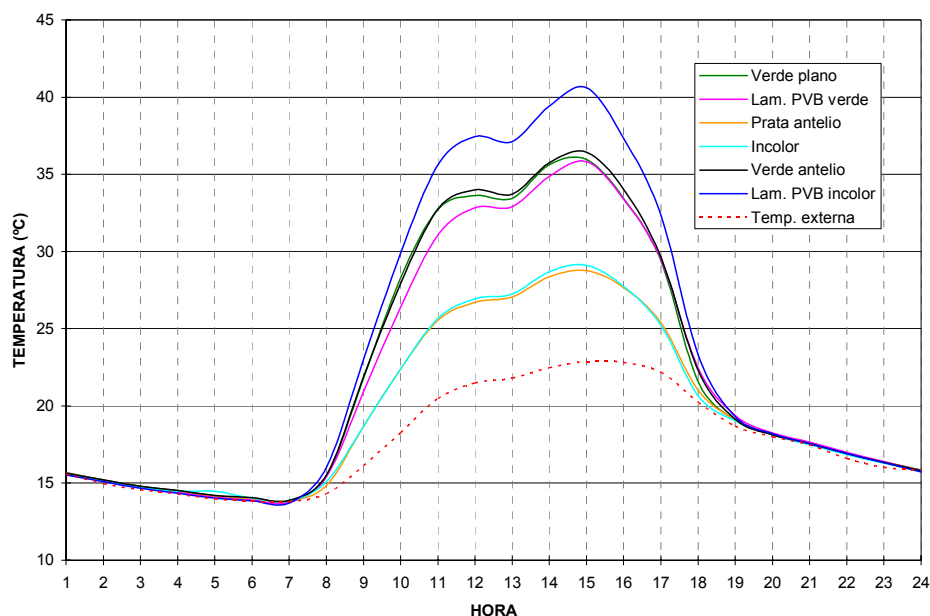


FIGURA 65 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte

10 a 16/06/05 - Tsup interna dos vidros - OESTE

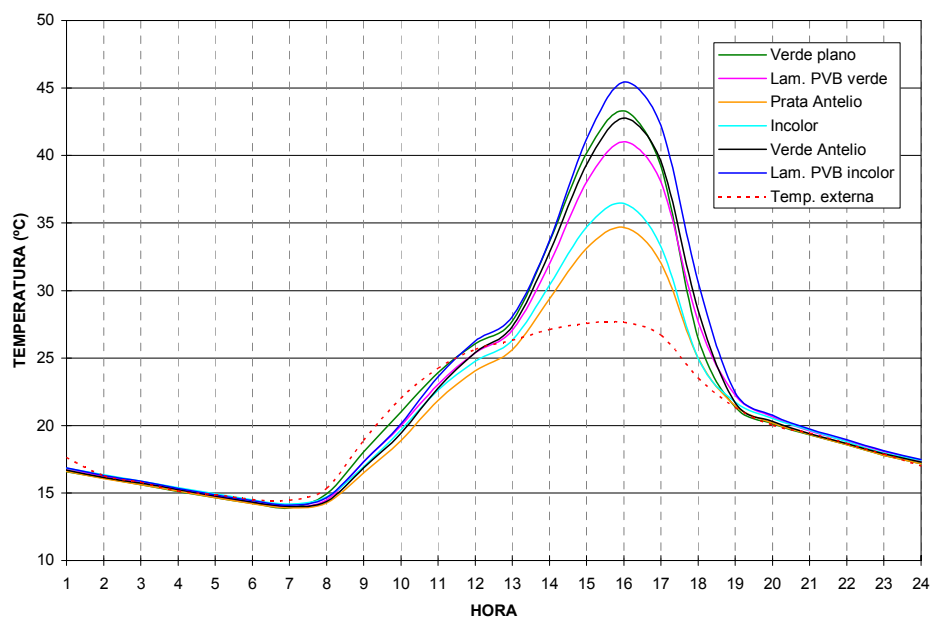


FIGURA 66 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa - Oeste

TEMPERATURAS DE BULBO SECO

21 a 27/06/05 - Tbs interna - NORTE

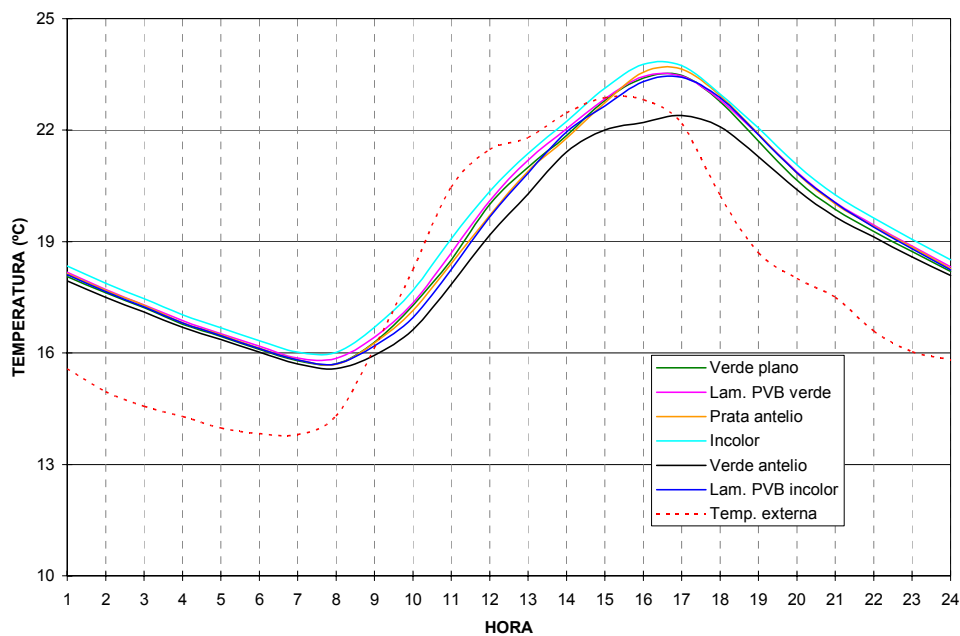


FIGURA 67 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Norte

10 a 16/06/05 - Tbs interna - OESTE

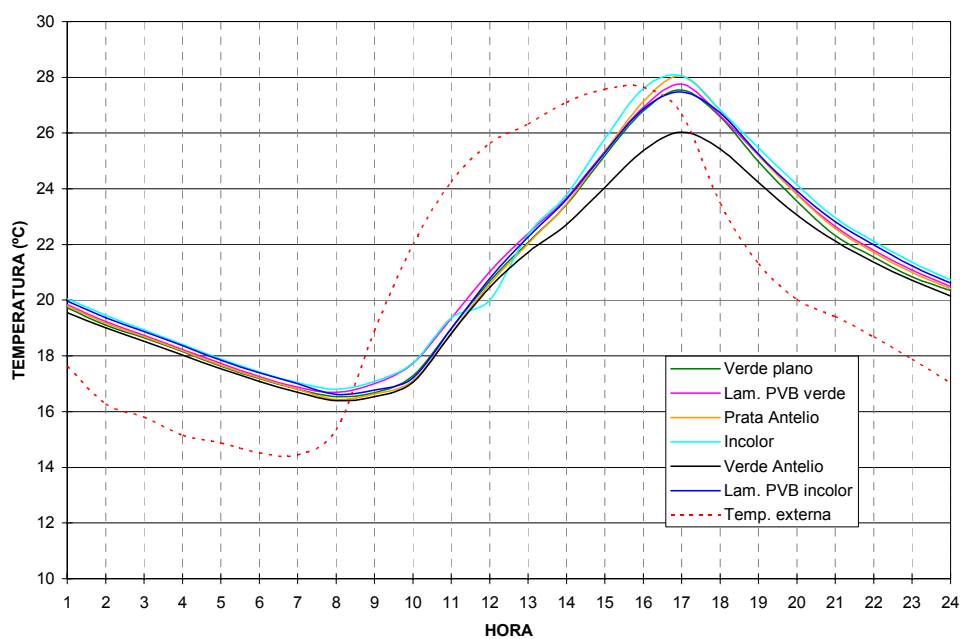


FIGURA 68 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Oeste

Temperatura superficial interna dos vidros

Os valores máximos de temperaturas superficiais foram registrados às 15h para a fachada norte e às 16h para a fachada oeste, para todos os vidros. A temperatura do ar atingiu o valor máximo de 23°C para face norte e 28°C para face oeste, em torno de 16horas.

Na fachada norte, os valores começam a se diferenciar a partir das 8h até 18h, período de incidência de radiação solar, havendo um aumento até às 15h, e um decréscimo, a partir de então, até 18h. Excluindo-se esse intervalo, não há, praticamente, variação entre as temperaturas superficiais. Cabe observar que, em torno de 13h, há uma ligeira queda nas temperaturas superficiais de todos os vidros, voltando à ascensão, até às 15h. Entre 8 e 18 horas, as temperaturas superficiais internas dos vidros se mantiveram superiores a do ambiente externo.

Na fachada oeste, assim como na norte, os valores apresentam diferenças a partir das 8h, até 19h. As temperaturas superficiais internas começam a ser superiores a temperatura externa do ar em torno de 12h, quando há maior incidência da radiação solar nesta face. As temperaturas superficiais internas continuam em ascensão até às 16h, regredindo até 19h. As maiores temperaturas são registradas quando o Sol incide mais frontalmente, em torno de 16h.

As temperaturas superficiais de todos os vidros, no início e no final do período estiveram entre 15 e 20°C, nas duas fachadas, porém, no final do dia eram ligeiramente mais elevadas, em torno de 1°C, principalmente na face oeste.

As máximas temperaturas de todos os vidros foram mais elevadas na face oeste, com variações de 35°C até 45°C, sendo o menor valor obtido para os vidros antélio prata e incolor, e o maior para o laminado verde com PVB incolor. A variação das máximas temperaturas na face norte foi aproximadamente entre 28°C para os vidros antélio prata e incolor, e 41°C para o laminado com PVB incolor.

Na face norte, dentre os três vidros de coloração verde, sendo um plano comum, um refletivo e um laminado, o plano (4mm) foi aquele de menores temperaturas superficiais internas, seguido pelo antélio verde (6mm) e pelo laminado verde com PVB incolor (8mm). As máximas temperaturas internas dos vidros verde plano e verde antélio foram bem próximas, em torno de 36°C; já o vidro laminado verde com película incolor atingiu 41°C. O vidro laminado verde com PVB incolor, por ser de maior espessura, aliado ao fato de conter mais óxidos responsáveis pela coloração e possuir alta absorvância (61%⁸), registra maiores temperaturas superficiais internas. Apesar do vidro verde antélio (6mm) ser de maior espessura que o verde comum (4mm), pode-se dizer que apresentam o mesmo comportamento com relação à variação de temperaturas superficiais, sendo o processo de fabricação o principal fator que os diferencia. Pode-se observar esse mesmo comportamento dos três vidros verdes na face oeste, porém atingindo valores mais elevados que na face norte.

Os valores das temperaturas superficiais internas dos vidros se comportam com a mesma sequência que os valores de absorvância, isto é, o vidro de maior temperatura superficial interna é aquele de maior absorvância, e assim sucessivamente. Além disso, os dois maiores valores de absorvância (vidro laminado verde com PVB incolor e verde antélio), apesar dos vidros possuírem diferentes espessuras, são para os vidros de coloração mais escura.

Temperatura de bulbo seco interna (TBS)

O valor máximo da temperatura de bulbo seco foi registrado às 16:30h para todas as células-teste, na face norte. Na face oeste, o máximo foi atingido às 17h, para todas as células-teste.

O ambiente interno esteve com as temperaturas maiores que a externa, até 8h (oeste) e 9h (norte). Na fachada Oeste, entre 8 e 16h, todas as células-teste estavam

⁸ Valor médio entre os ângulos de 40° a 60°

com temperaturas de bulbo seco menores que a externa. O mesmo ocorreu para face Norte, porém no período de 9 às 15h.

A célula-teste com vidro incolor bem como a com vidro antélio prata foram as que apresentaram as maiores temperaturas, nas duas fachadas, com uma diferença de cerca de 0,5°C, para todos os vidros, com exceção do verde antélio, para o qual a diferença foi de cerca de 2°C nas duas fachadas.

A célula-teste com vidro verde antélio foi a de menores temperaturas, nas duas fachadas.

DISCUSSÃO

O comportamento dos vidros comuns (verde e incolor) foi semelhante para as duas fachadas, cabendo registrar que o vidro verde obteve temperaturas superficiais internas maiores que o incolor, com diferença de 7°C para face norte e 6°C para oeste.

O vidro verde plano, devido aos óxidos responsáveis pela coloração, tem a temperatura superficial interna mais elevada que o incolor, sendo que absorve mais radiação, contando com o triplo da absorvência que o vidro incolor.

Dentre os dois laminados, o com vidro verde e PVB incolor registrou maiores temperaturas superficiais, nas duas fachadas. Esses valores eram esperados, pois o vidro verde com PVB incolor possui mais óxidos, com absorvência de 61%, enquanto o incolor com PVB verde apresenta absorvência de 22%.

Dentre os dois vidros refletivos analisados nesse período, o antélio verde apresentou temperaturas superficiais internas mais elevadas que o antélio prata, com uma diferença de aproximadamente 7°C nas duas faces. Tal fato pode ser comprovado devido à maior quantidade de óxidos responsáveis pela coloração no vidro verde.

Entretanto, apesar do vidro antélio verde ser um dos que registram as maiores temperaturas superficiais internas, a temperatura bulbo seco interna é a menor, podendo-se dizer que esse vidro se aquece bastante, porém, apenas uma pequena parcela deste calor vai para o interior, devido à alta absorção e baixa transmitância, principalmente na região do infravermelho.

Pode-se observar que o vidro incolor é o que mais transmite calor para o ambiente, tanto pela análise dos gráficos, como quando se levam em conta os valores de transmitância. Além disso, o comportamento de todos os vidros com relação à temperatura de bulbo seco, está em conformidade com os resultados de transmitância, isto é, quanto maior a transmitância do vidro, maior a temperatura no interior da célula-teste.

FAMÍLIA 2 - Fachada Norte: 29/06 a 04/07/05
 - Fachada Oeste: 06 a 11/07/05

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DOS VIDROS

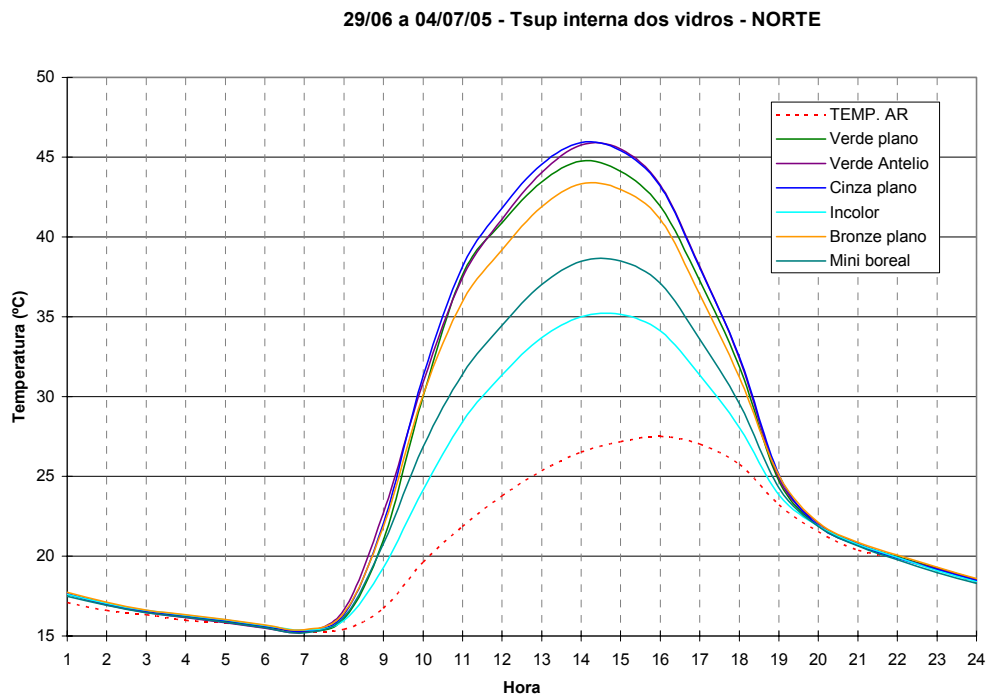


FIGURA 69 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte

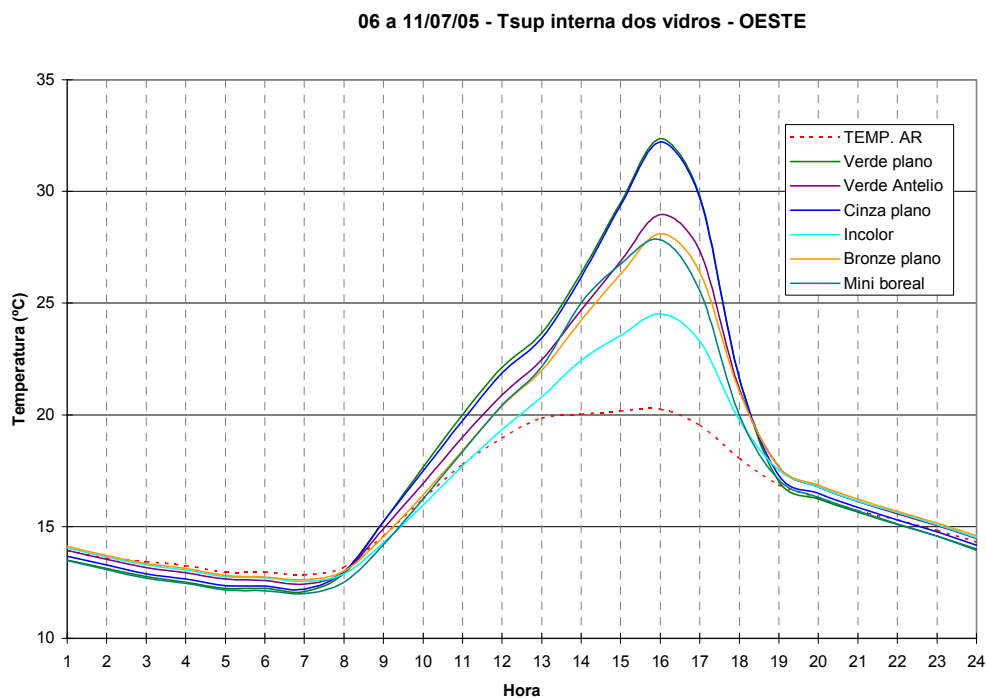


FIGURA 70 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste

TEMPERATURAS DE BULBO SECO

29/06 a 04/07/05 - Tbs interna - NORTE

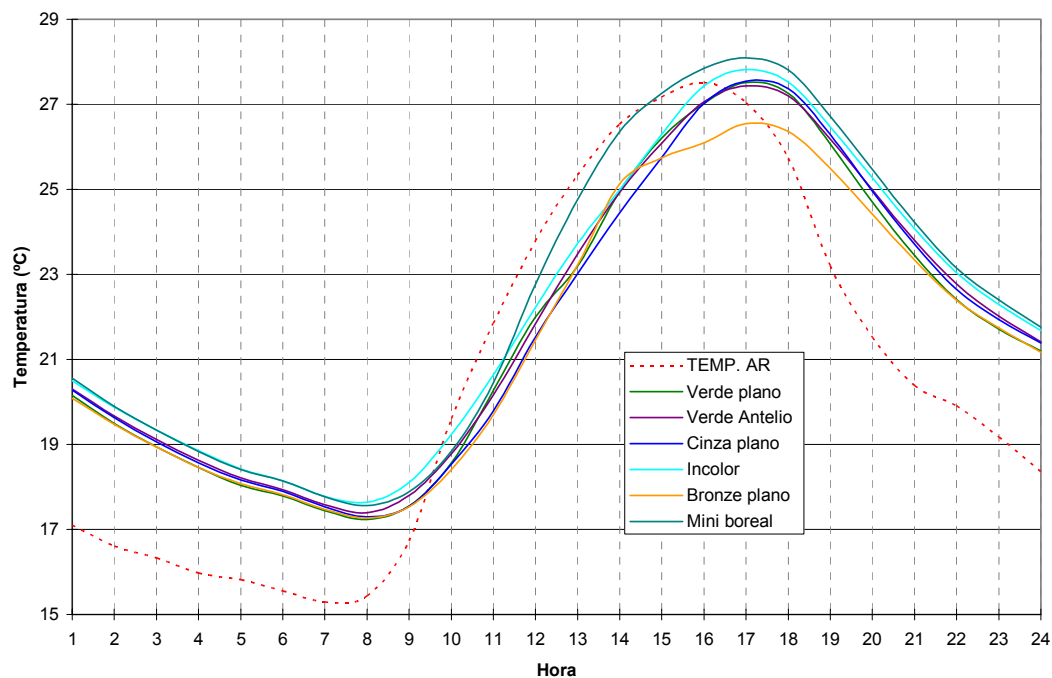


FIGURA 71 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Norte

06 a 11/07/05 - Tbs interna - OESTE

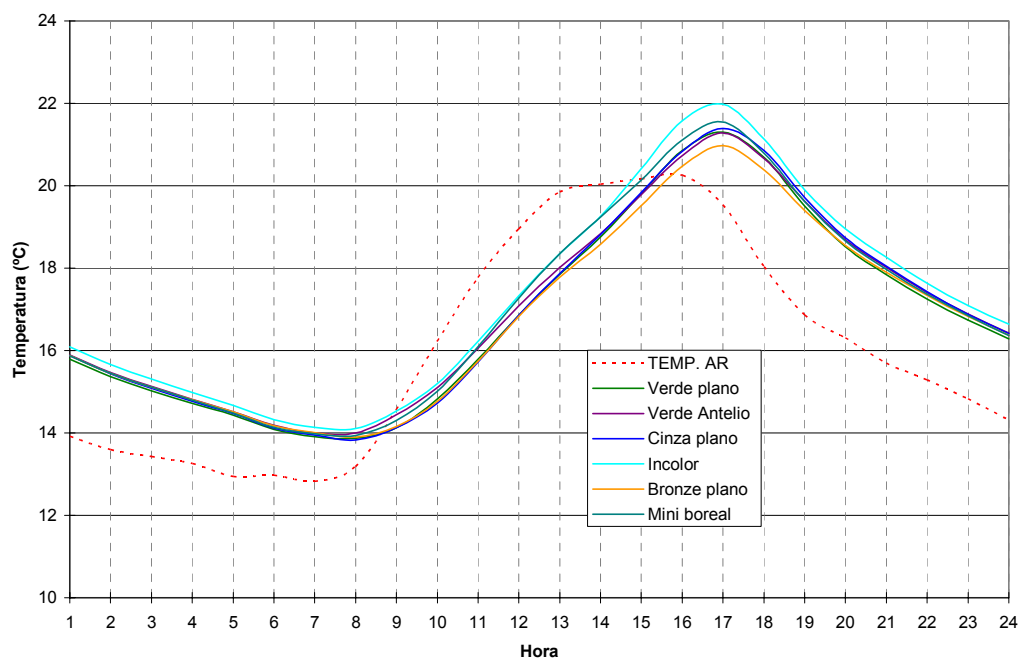


FIGURA 72 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Oeste

Temperatura superficial interna dos vidros

Os valores máximos de temperaturas superficiais internas dos vidros foram registrados às 14:30h para face norte, e às 16h para face oeste. A temperatura do ar atingiu o valor máximo de 27°C para face norte e 20,5°C para face oeste, em torno de 16horas. Percebe-se que, nesse período, ao contrário do período anterior (família 1), a face norte registrou temperaturas bem mais elevadas que a oeste. Tal fato é compreensível, pois, em seguida ao período de medições da fachada norte (21 a 27/06) da família 1, iniciou-se o período de medições da fachada norte (29/06 a 04/07) da família 2, caracterizando 15 dias de temperaturas mais elevadas.

Na fachada norte, os valores começam a se diferenciar a partir das 8h até 19h. Percebe-se que, nos horários que não compreendem esse intervalo, não há, praticamente, variação entre as temperaturas superficiais. Essa diferenciação nas temperaturas superficiais progride até 14h, quando começa a regredir, até 19h. A partir de 8h, as temperaturas superficiais dos vidros permaneceram superiores à externa do ar.

Na fachada oeste, assim como na norte, os valores apresentam diferenças a partir das 8h, até 19h. As temperaturas superficiais internas começam a ser superiores a temperatura externa do ar a partir de 11 horas, aproximadamente. As temperaturas superficiais se mantêm em ascensão, atingindo o máximo às 16hs.

As máximas temperaturas de todos os vidros foram mais elevadas na face norte, com variações de 35°C até 46°C, sendo o menor valor obtido para o vidro incolor, e o maior para os vidros cinza plano e verde antélio. A variação das máximas temperaturas na face oeste foi entre 24°C para o vidro incolor, e 32°C para os vidros verde e cinza planos.

A diferença entre a maior temperatura externa e a maior temperatura superficial do vidro de menor temperatura (incolor) foi de aproximadamente 4°C para face oeste e 8°C para face norte.

A diferença entre a maior temperatura externa e a maior temperatura superficial interna dos vidros foi de 12°C para face oeste, e de 19°C para a norte, enfatizando que as maiores temperaturas superficiais foram registradas para a face norte, sendo que a temperatura do ar na fachada norte permaneceu sempre com valores bem superiores a oeste, com diferença máxima de 7°C.

Através dos resultados obtidos, dentre os vidros planos coloridos, o verde e o cinza foram aqueles que registraram maiores temperaturas superficiais, com valores de 32°C na fachada oeste. Já com relação à face norte, o vidro cinza atingiu 46°C e o vidro verde alcançou o valor máximo de 45°C. A diferença entre esses dois vidros e o incolor foi de 8°C na face oeste e de 11°C, aproximadamente, na face norte. Esse resultado pode ser comprovado através dos ensaios espectrofotométricos realizados, pois vidros de mesma tipologia, de cores mais escuras, possuem maior absorptância, haja vista o vidro verde, com 33% de absorção total, o cinza com 28% e o incolor com 11%. Essa diferença de 5% na absorptância dos vidros cinza e verde é devido aos valores de transmitância (44% para o verde e 49% para o cinza). O vidro cinza transmite mais que o verde, e, por conseguinte, absorve menos, devido aos óxidos responsáveis pela coloração. Pode-se perceber que esses dois vidros apresentam os mesmos valores de refletância (23%). Portanto, entre esses dois vidros, o mais indicado para controle do ganho de calor solar é o verde, por possuir maior absorptância.

Dentre os vidros planos coloridos, o bronze foi o que registrou as menores temperaturas superficiais, com 43°C na face norte, e 28°C na face oeste. A diferença entre o vidro bronze e o incolor foi de 8°C na fachada norte e 4°C na oeste. Percebe-se que a maior diferença ocorrida foi na fachada norte, enquanto que para os outros vidros, a maior diferença entre eles e o incolor ocorreu na fachada oeste. O vidro bronze foi o que apresentou, dentre os vidros planos coloridos, os menores valores de absorptância, e maiores de transmitância.

Temperatura de bulbo seco interna (TBS)

O máximo valor da temperatura interna foi registrado às 17h para todas as células-teste nas duas fachadas.

O ambiente interno esteve com as temperaturas maiores que as externas, até 9h, aproximadamente, nas duas fachadas. Na face norte, a partir de 17 horas esse fato também ocorreu, enquanto que na face oeste isso aconteceu a partir de 16 horas.

Os valores máximos de temperatura interna, na face norte, atingiram cerca de 28°C, enquanto a temperatura do ar externo atingiu 27,5°C. Pode-se perceber que, nessa face, as temperaturas internas das células-teste permaneceram com valores iguais ou ligeiramente inferiores à temperatura externa, no período de maior radiação, ou seja, das 9 às 17 horas.

Já na face oeste as diferenças foram mais significativas; no período de maior radiação, a máxima diferença entre as temperaturas internas e externas foi de aproximadamente 2°C, sendo os maiores valores para as temperaturas externas do ar.

De modo geral, as temperaturas internas das células-teste na face oeste permaneceram inferiores às da face norte, com valores máximos de 22°C e 28,5°C, respectivamente.

Na face norte, a célula-teste com vidro mini-boreal foi aquela de maior temperatura, atingindo 28,5°C, com uma diferença de 0,5°C para aquela com vidro incolor, e de 1,0°C para as demais. Já na face oeste, o vidro incolor foi o que proporcionou maior aumento das temperaturas de bulbo seco internas, atingindo 22°C. O valor máximo nas demais células-teste foi 21,5°C, aproximadamente.

DISCUSSÃO

De modo geral, os vidros verde, cinza e bronze são menos transparentes à radiação solar que o vidro incolor, pois a absorvem significativamente, fazendo com que tenham suas temperaturas superficiais aumentadas, funcionando como uma espécie de “radiador”, re-emitindo calor para o interior do ambiente. O vidro incolor é aquele que atinge as menores temperaturas superficiais, apresentando alto valor de transmitância, e baixo valor de absorptância.

Os vidros planos coloridos apresentam temperaturas superficiais com valores substancialmente maiores que aqueles das temperaturas externas.

Ao se comparar o comportamento dos vidros, o que mais contribuiu para o aumento das temperaturas internas foi o mini boreal, seguido do incolor, na fachada norte. Na face oeste, em primeiro lugar foi o incolor, seguido do mini boreal. Ressalte-se que a diferença entre esses dois vidros não ultrapassou 0,5°C, em ambas as fachadas. O vidro mini-boreal apresenta características bem definidas de um material translúcido, apresentando transmitância de 37% e absorptância de 43%. Vale lembrar que as propriedades óticas do vidro mini-boreal apresentadas neste trabalho são referentes à incidência normal.

O vidro que menos contribuiu para o aumento das temperaturas internas foi o bronze, nas duas fachadas, com valores de 26,5°C (norte) e 21°C (oeste).

Ao se comparar os dois vidros verdes dessa família (verde comum e verde antélio), percebe-se que, para a face norte, os dois apresentam praticamente o mesmo comportamento, isto é, as mesmas variações de temperaturas, durante todo o período, com exceção do horário entre 13 e 16 horas, quando o verde pirolítico supera o verde plano em 2°C. Excluindo-se esse intervalo, não há praticamente diferença entre os dois vidros verdes, sendo ainda que as curvas dos vidros verde antélio e cinza plano se

sobrepõem, podendo-se dizer que esses dois vidros, apesar da diferença na espessura, pois o cinza tem 4mm enquanto o verde antélio 6mm, apresentam o mesmo comportamento, independentemente dos valores de absorptância, que são de 28% para o cinza e 58% para o pirolítico verde.

Ainda na face norte, com relação às temperaturas de bulbo seco internas, a diferença de 1°C se mantém, porém em ordem inversa, isto é, o verde plano supera o pirolítico. Isso acontece porque o verde plano possui maior transmitância que o pirolítico, com valores de 44% contra 26%.

Comparando-se os dois vidros verdes na fachada oeste, há uma diferença considerável entre eles; o vidro verde plano supera o verde pirolítico em aproximadamente 3°C, no período dentre 15 e 17 horas. O vidro verde plano de 4mm se aquece mais, porém absorve menos que o pirolítico, com valores de 33% de absorptância. O pirolítico antélio apresenta absorptância bem mais elevada (58%), devido ao tratamento refletivo e também à maior espessura (6mm). Observa-se que, para esses dois vidros, há uma exceção à regra, pois o vidro de maior absorptância deveria apresentar maiores temperaturas superficiais. Além disso, o vidro de maior temperatura superficial deveria ser o de menor contribuição em relação ao ganho de calor.

FAMÍLIA 3 - Fachada Norte: 19 a 24/07/05
 - Fachada Oeste: 13 a 18/07/05

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DOS VIDROS

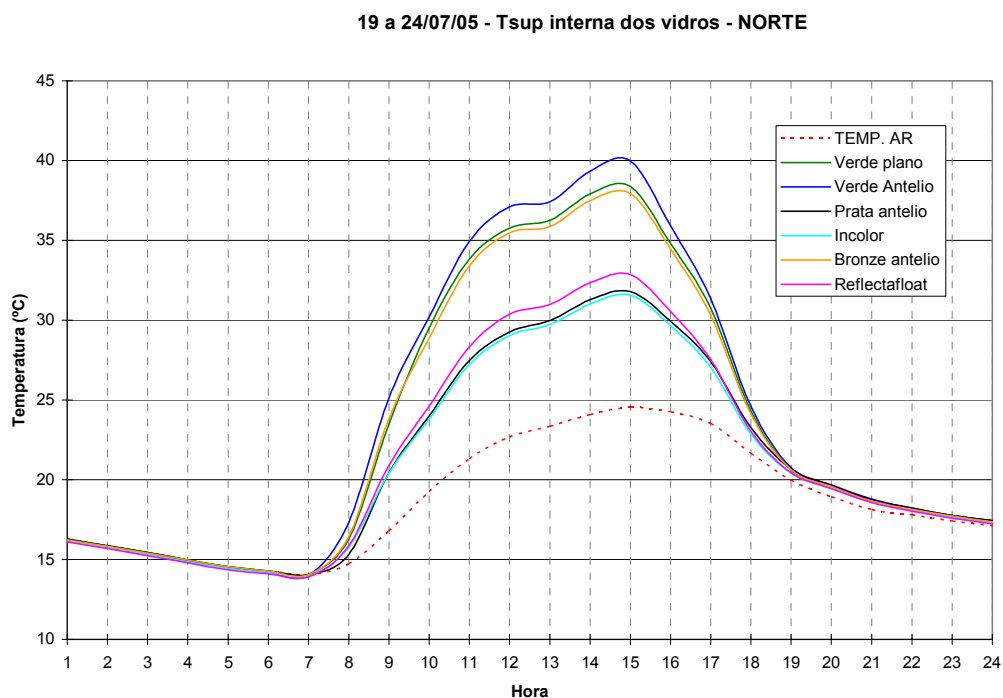


FIGURA 73 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte

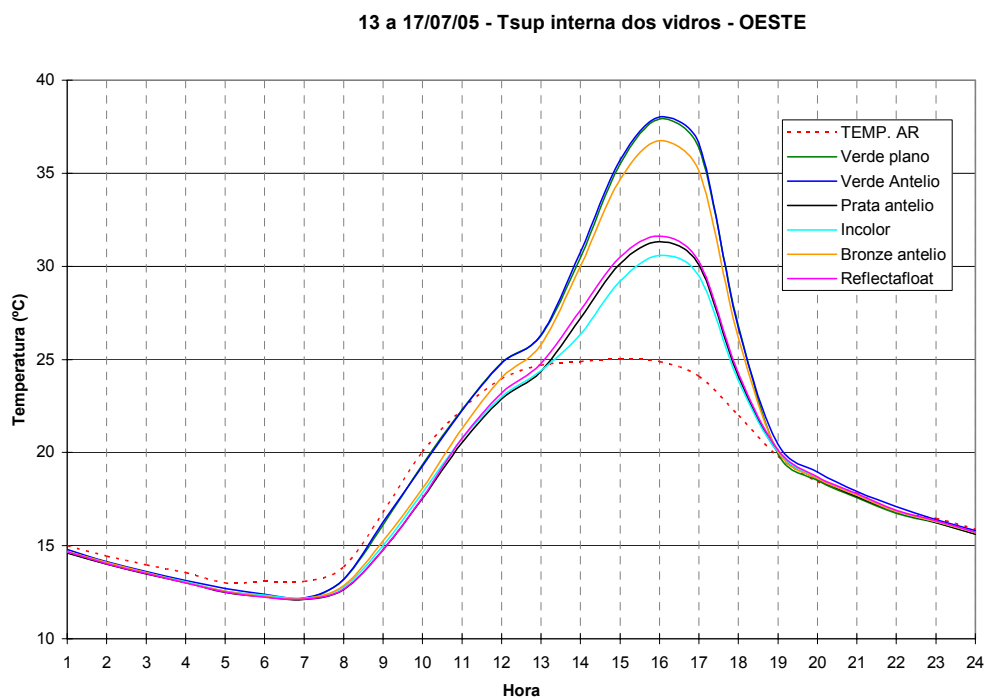


FIGURA 74 - Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste

TEMPERATURAS DE BULBO SECO

19 a 24/07/05 - Tbs interna - NORTE

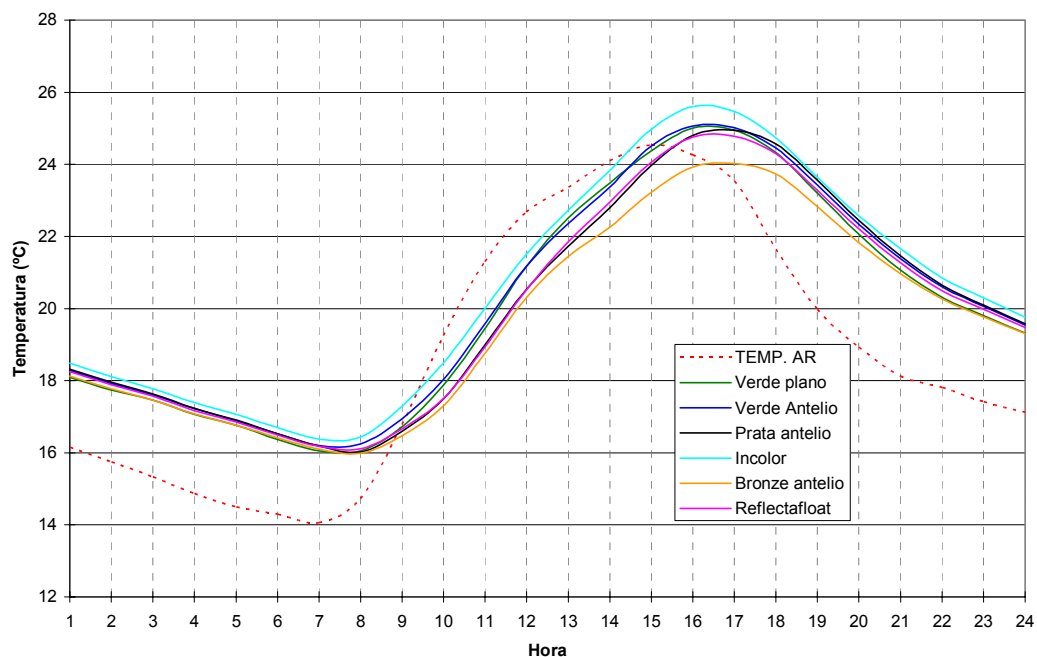


FIGURA 75 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Norte

13 a 17/07/05 - Tbs interna - OESTE

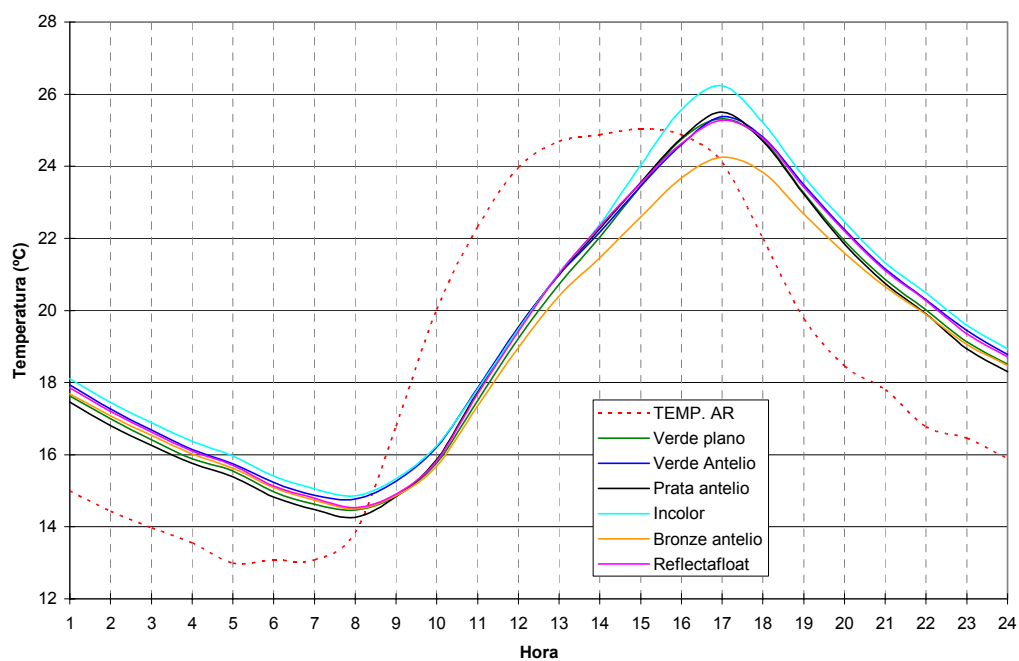


FIGURA 76 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Oeste

Temperatura superficial interna dos vidros

O valor máximo de temperatura superficial interna foi registrado às 15h para a fachada norte e às 16h para a fachada oeste, para todos os vidros. As temperaturas do ar variaram de 14 a 25°C, nas duas faces. Pode-se notar que, durante esse período de medição, as temperaturas externas do ar registraram o mesmo comportamento nos dois períodos de análise. ou seja, praticamente não há variação entre as temperaturas do ar de uma fachada em relação à outra.

Na fachada norte, os valores começam a se diferenciar a partir das 7:30h até 19h, havendo um aumento até às 15h, e um decréscimo, a partir de então, até 19h. Excluindo-se esse intervalo, não há, praticamente, variação entre as temperaturas superficiais. Cabe observar que, em torno de 13h, há uma ligeira queda nas temperaturas superficiais de todos os vidros, voltando à ascensão, até às 15h. A partir das 7:30h as temperaturas superficiais internas dos vidros se mantiveram superiores a do ambiente externo.

Na fachada oeste, assim como na norte, os valores apresentam diferenças a partir das 7:30h, até 19h. No intervalo de 13 às 19 horas, as temperaturas superficiais dos vidros se mantiveram superiores à temperatura externa, na fachada oeste, atingindo o valor máximo às 16h. Já para face norte, tais temperaturas permaneceram, por todo período de incidência de radiação, superiores à temperatura do ar externo, alcançando o valor máximo às 15h.

As variações máximas das temperaturas superficiais internas dos vidros foram de 13 a 38°C na face oeste, e de 14 a 40°C na norte.

As máximas temperaturas de todos os vidros foram ligeiramente mais elevadas na face norte, com variações de 31 a 40°C, sendo o menor valor obtido para os vidros prata antélio e incolor, e o maior para o vidro verde antélio. A variação das máximas

temperaturas na face oeste foi entre 30,5°C para o vidro incolor, e 38°C para os vidros verdes antélio e plano.

A diferença entre a maior temperatura externa e a maior temperatura superficial ocorreu para o vidro verde antélio, na face norte, sendo aproximadamente 15°C. Na fachada oeste, essa diferença foi de 13°C, tanto para o vidro verde antélio como para o verde plano. Analisando somente em termos de coloração, esses dois vidros deveriam ter um comportamento semelhante, porém, são de diferentes espessuras e tipologias. O vidro refletivo verde pirolítico tem espessura de 6mm, e absorvência de 63% no infravermelho, enquanto o verde plano tem espessura de 4mm e absorvência de 35%. Eles se aquecem de maneira semelhante, porém, ao se considerar o calor transmitido para o interior, o vidro pirolítico, por transmitir somente 22% de infravermelho, é considerado mais adequado que o verde comum, com praticamente o dobro de transmitância (41%). Além disso, o pirolítico verde apresenta alta absorção no infravermelho. Essa propriedade é, em conjunto com baixa transmitância no infravermelho e alta no visível, um dos requisitos para o vidro ser considerado ideal, em climas quentes.

Para o vidro incolor, que apresenta a menor temperatura superficial, a diferença entre a máxima externa e a máxima superficial interna foi de aproximadamente 5°C para a face oeste e 6°C para a norte.

Dentre os vidros pirolíticos analisados nessa família, o prata apresentou temperaturas praticamente iguais ao vidro incolor, durante quase todo o período, nas duas fachadas, com exceção das 14 até 17 horas, quando o vidro prata antélio superou em 1°C o incolor, na face oeste. Além do vidro prata, o reflectafloat também apresentou valores semelhantes ao incolor, nas duas faces, somente superando o incolor em 1°C, no período de 11 a 15 horas, na face norte, e entre 14 e 17 horas na oeste. Esses três vidros são os de menor absorvência no infravermelho, com 10%, 11% e 15%, respectivamente, para o incolor, antélio prata e reflectafloat. Além disso, são os de maior transmitância, sendo que o incolor atinge 73% no infravermelho, o antélio prata

72% e o reflectafloat 64%. Portanto, esses vidros não atenderiam às condições de um vidro ideal, em termos de ganho de calor solar.

O bronze antélio registrou as maiores temperaturas superficiais, dentre os pirolíticos de mesma espessura (prata, bronze e reflectafloat), atingindo 38,5°C na face norte e 36,5°C na oeste. Dentre esses, o bronze possui maior absorptância (38%), seguido pelo reflectafloat (24%) e pelo prata (12%). Essa mesma sequência pode ser observada nas temperaturas superficiais, sendo as máximas de 38°C para o vidro bronze, 32°C para o reflectafloat e 31°C para o prata (valores na face norte).

Cabe ressaltar que, sendo o vidro pirolítico verde o de maior espessura, apresenta maior absorptância, e maiores temperaturas superficiais.

Temperatura de bulbo seco interna (TBS)

O valor máximo de temperatura de bulbo seco interna foi registrado em torno de 16h para todas as células-teste, na face norte, e às 17h, na oeste.

Na fachada norte, entre 9 e 16h, todas as células-teste apresentavam temperaturas de bulbo seco menores que a externa. O mesmo ocorreu para a face oeste, porém no período de 8 a 17h.

A célula-teste com vidro incolor apresentou as maiores temperaturas, nas duas fachadas, com uma diferença máxima de 3°C em relação ao vidro bronze antélio. A diferença entre o vidro incolor e os demais (verde plano, verde antélio, prata antélio e reflectafloat) foi de aproximadamente 1°C, nas duas fachadas.

DISCUSSÃO

Ao se comparar os dois vidros comuns (verde e incolor), fica evidente que o verde exibe maiores temperaturas superficiais, e proporciona um aquecimento ligeiramente menor do ambiente interno, o que pode ser comprovado pelas temperaturas de bulbo seco. A diferença entre as temperaturas superficiais internas foi de aproximadamente 8°C, enquanto entre as temperaturas de bulbo seco das células-teste foi cerca de 1°C.

Dentre os vidros pirolíticos de mesma espessura, o bronze apresentou maiores temperaturas superficiais, porém a célula-teste composta desse vidro foi a que registrou menores temperaturas de bulbo seco, podendo-se dizer que este seria o mais indicado na atenuação do ganho de calor solar.

Ao se comparar os dois vidros de mesma coloração (verdes plano e antélio), observa-se dos gráficos de temperaturas de bulbo seco que a diferença entre esses dois vidros é mínima. Porém, para as temperaturas superficiais, a diferença entre eles é de aproximadamente 2°C, sendo mais elevada a do verde antélio.

FAMÍLIA 4 - Fachada Norte: 26 a 31/07/05
 - Fachada Oeste: 02 a 07/08/05

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DOS VIDROS

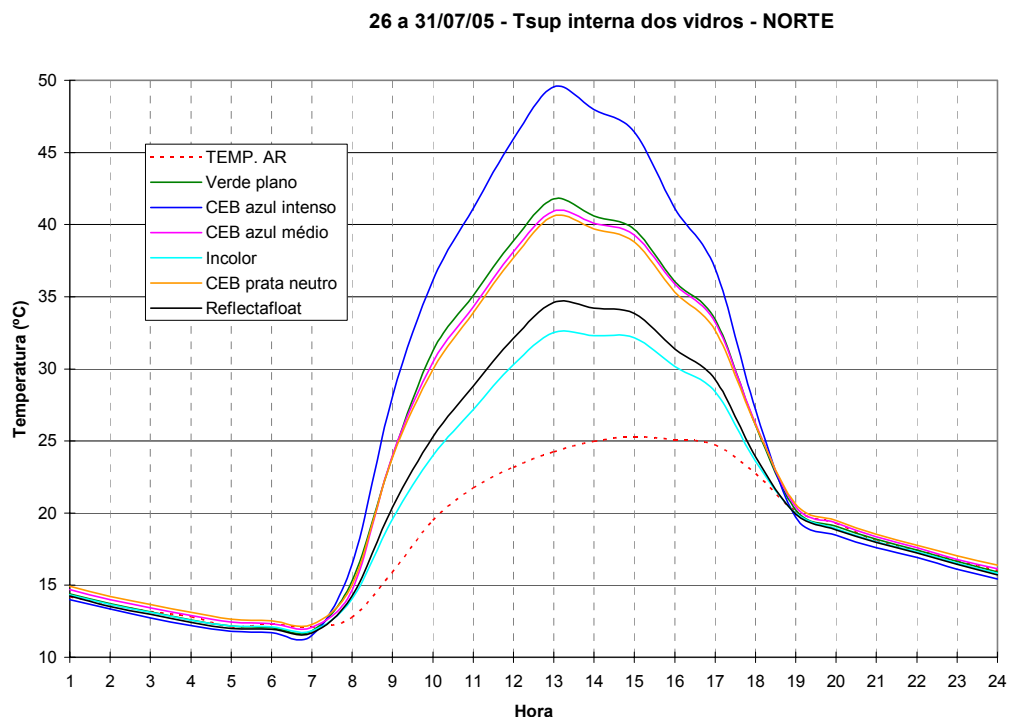


FIGURA 77 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte

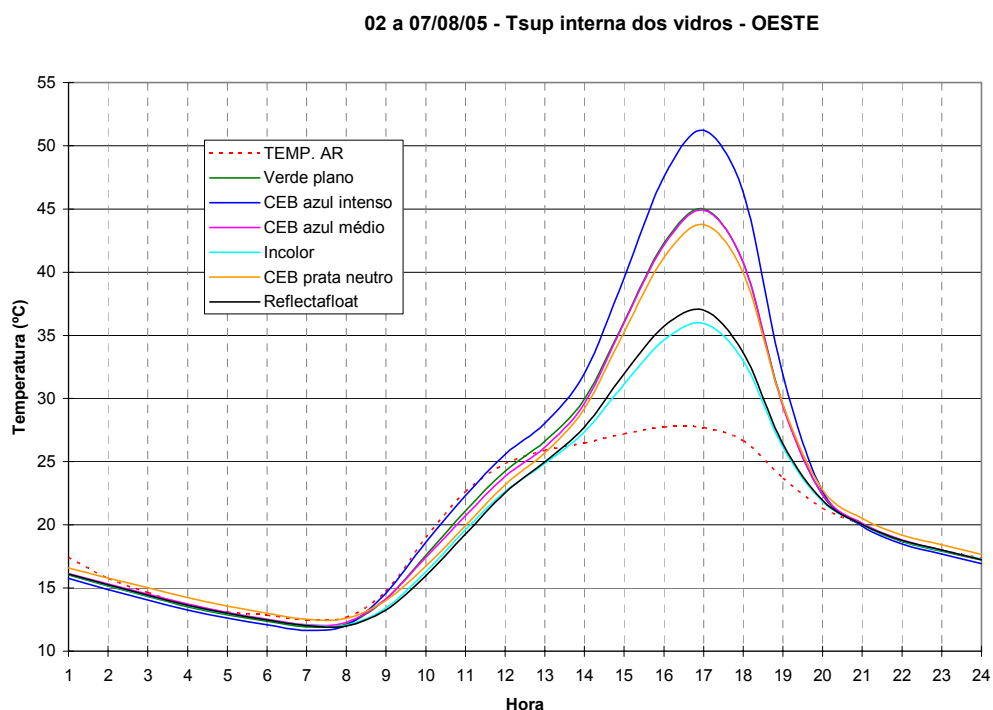


FIGURA 78 – Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste

TEMPERATURAS DE BULBO SECO

26 a 31/07/05 - Tbs interna - NORTE

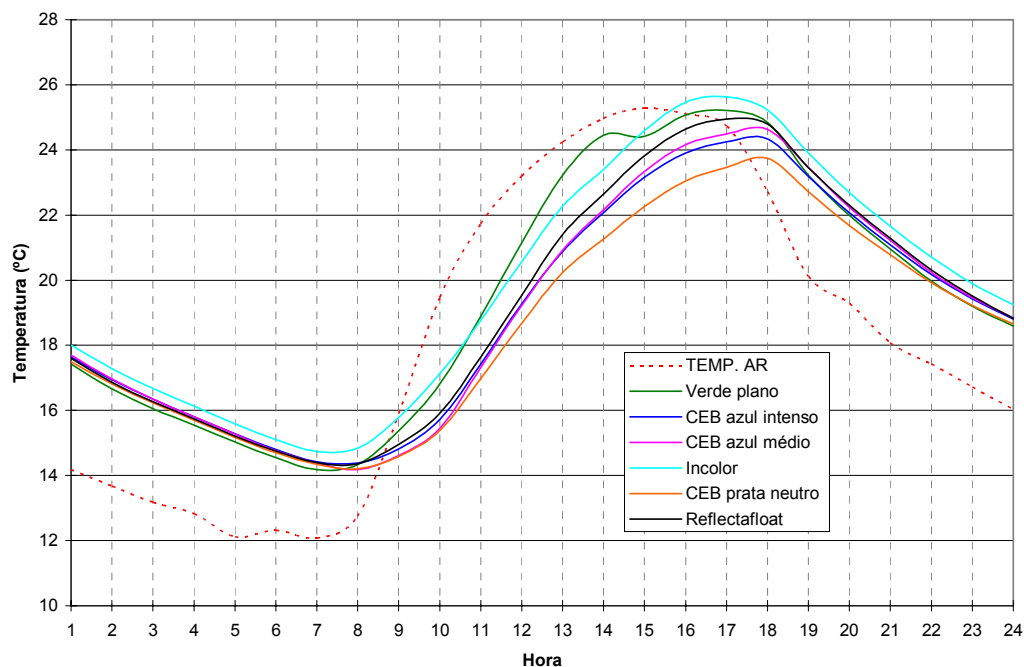


FIGURA 79 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa – Norte

02 a 07/08/05 - Tbs interna - OESTE

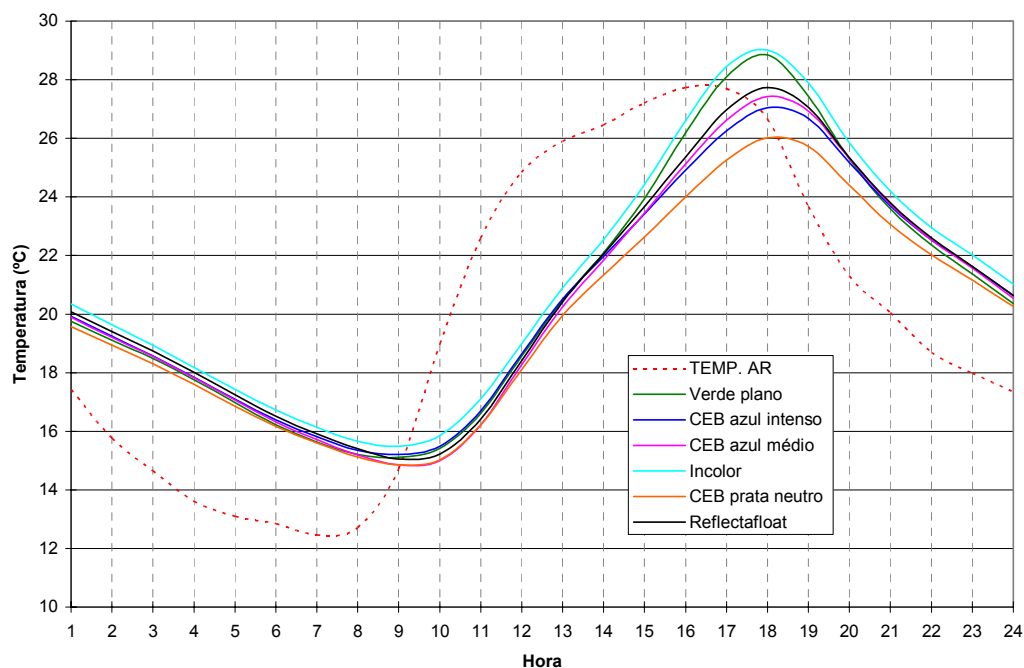


FIGURA 80 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Oeste

Temperatura superficial interna dos vidros

Os valores máximos de temperatura superficial foram registrados às 13h para a fachada norte e às 17h para a oeste, para todos os vidros. Na fachada oeste, as temperaturas do ar variaram de 13 a 28°C, enquanto que na norte, o menor valor foi 13°C, e o maior 25°C.

Na fachada norte, os valores começam a se diferenciar a partir de aproximadamente 7:30h até 19h, havendo um aumento acentuado até às 13h, e um decréscimo, a partir de então, até 19h. Excluindo-se esse intervalo, não há, praticamente, variação entre as temperaturas superficiais. Nessa fachada, as temperaturas superficiais permaneceram, por todo período de incidência de radiação, superiores à externa.

Com relação à fachada oeste, os valores apresentam diferenças a partir das 8h, até 20h. No intervalo das 14 às 20 horas, as temperaturas superficiais dos vidros se mantiveram superiores à temperatura externa. As maiores temperaturas superficiais foram registradas às 17h.

As variações das temperaturas superficiais internas dos vidros foram de 13 a 52°C na face oeste, e de 14 a 50°C na norte. Na fachada oeste, as máximas temperaturas de todos os vidros, bem como as externas, foram cerca de 3°C superiores às temperaturas na face norte.

O vidro refletivo metalizado a vácuo azul intenso foi o que registrou as maiores temperaturas superficiais, atingindo quase 50°C na face norte, e 52°C na oeste. A diferença entre a temperatura superficial desse vidro e a externa chegou a 24°C na face oeste e 25°C na norte. Com relação à diferença entre esse vidro e o incolor, esta chegou a 16°C na face oeste e 17°C na norte.

Para o vidro azul médio, foram registradas temperaturas superficiais de 45°C na face oeste e 42°C na norte e para o prata neutro, 43°C na fachada oeste e 41°C na norte.

Em contrapartida, o vidro incolor registrou as menores temperaturas superficiais, com 33°C na fachada norte e 36°C na oeste. A diferença entre as temperaturas superficiais desse vidro e as externas foi de 8°C, aproximadamente, nas duas fachadas.

O vidro reflectafloat apresentou temperaturas superficiais semelhantes ao vidro incolor, superando-as em 2°C na fachada norte e em 1°C na oeste.

Temperatura de bulbo seco interna (TBS)

O valor máximo da temperatura de bulbo seco foi registrado às 18h para todas as células-teste, na face oeste, e às 16:30h, na face norte.

Nas duas fachadas, entre 9 e 17 horas, as células-teste apresentavam temperaturas de bulbo seco menores que a externa.

Dentre os vidros analisados nessa família, o incolor, seguido pelo verde plano, são os que mais interferem no aumento das temperaturas de bulbo seco, ao passo que, dentre os refletivos, o prata neutro tem a menor influência.

DISCUSSÃO

De modo geral, percebe-se que os vidros metalizados a vácuo apresentam temperaturas superficiais mais elevadas que os vidros pirolíticos, apesar de serem de mesma tipologia (refletivos). Nesta família, o pirolítico reflectafloat alcançou o valor máximo de 37°C (fachada oeste), enquanto que os vidros metalizados a vácuo atingiram máximos de até 52°C.

Ao se comparar os dois vidros planos (verde e incolor), a diferença entre as suas temperaturas superficiais foi de aproximadamente 9°C, nas duas fachadas. Dentre os vidros dessa família, o incolor e o verde planos, sem tratamento algum, são os que mais interferem no aumento das temperaturas internas.

Por apresentarem baixa transmitância, poder-se-ia supor que os vidros refletivos dessem menor contribuição para o ganho de calor no ambiente. Com relação à absorptância, os vidros refletivos apresentam valores bem mais elevados que os planos, atingindo temperaturas superficiais mais elevadas. O vidro incolor, com o menor valor de absorptância, apresentou as menores temperaturas superficiais.

Quanto aos vidros azuis, o azul intenso, de maior absorptância, apresentou temperaturas superficiais mais elevadas. Em contrapartida, interferiu menos nas temperaturas internas, justamente por ser, dos vidros refletivos, o de menor transmitância. Portanto, o vidro azul intenso seria o mais indicado na escolha de um material que atenuar o ganho de calor.

No conjunto dos vidros metalizados a vácuo, o prata neutro seria o mais indicado no controle do ganho de calor solar, pois é o que menos contribui para o aumento das temperaturas internas, devido à baixa transmitância e alta absorptância no infravermelho. As temperaturas superficiais desse vidro não foram as mais elevadas, atingindo valores máximos equiparáveis ao vidro plano verde.

FAMÍLIA 5 - Fachada Norte: 16 a 21/08/05
 - Fachada Oeste: 09 a 14/08/05

TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DOS VIDROS

16 a 21/08/05 - Tsup interna dos vidros - NORTE

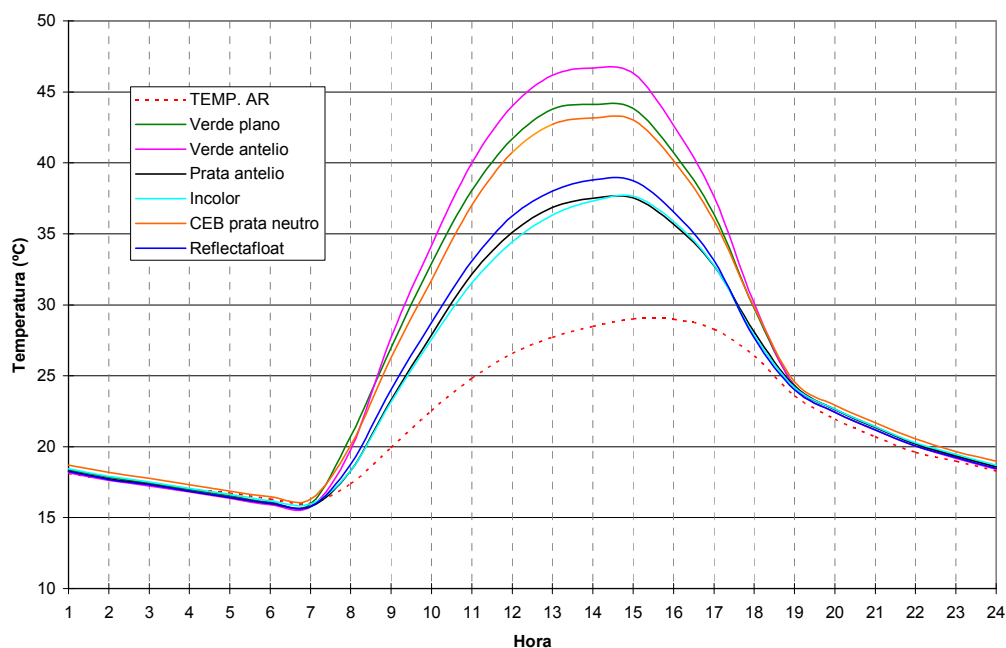


FIGURA 81 - Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Norte

09 a 14/08/05 - Tsup interna dos vidros - OESTE

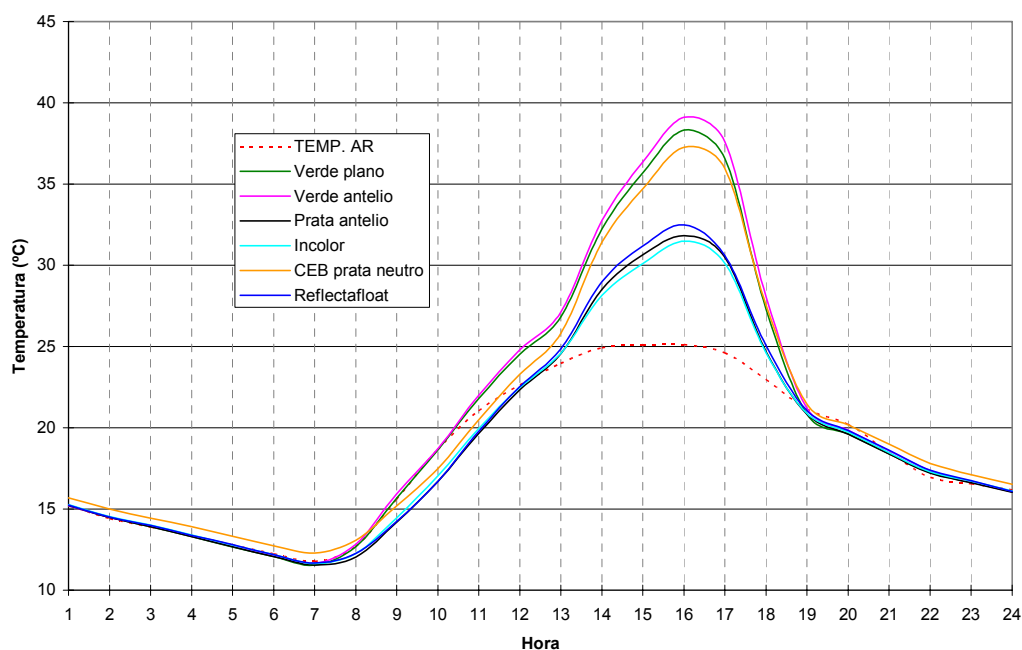


FIGURA 82 - Temperaturas superficiais dos vidros e temperatura externa – Oeste

TEMPERATURAS DE BULBO SECO

16 a 21/08/05 - Tbs interna - NORTE

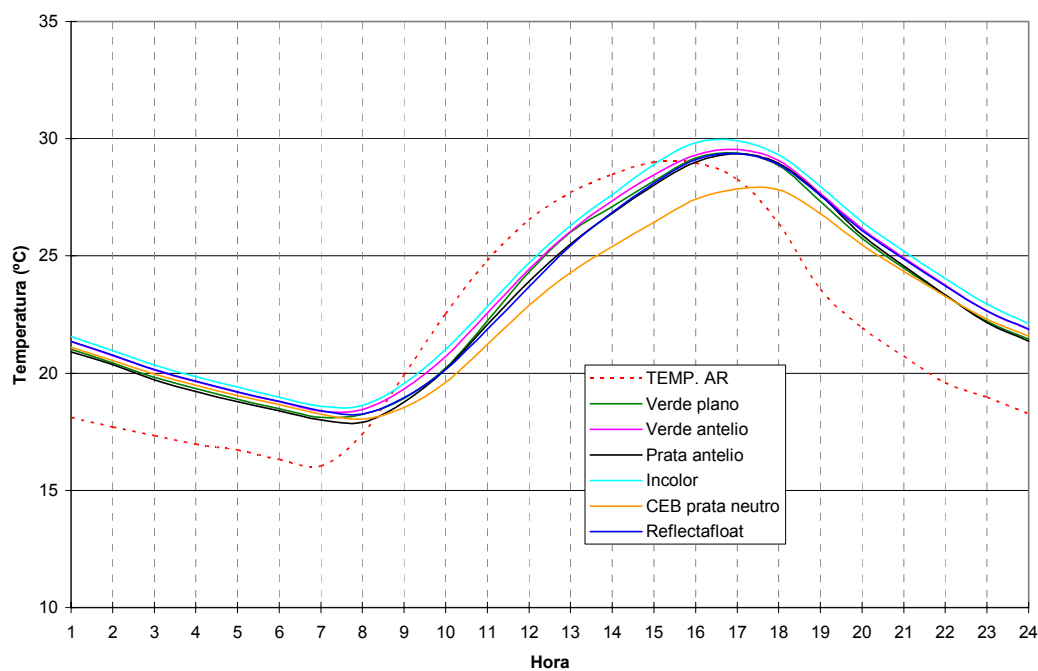


FIGURA 83 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Norte

09 a 14/08/05 - Tbs interna - OESTE

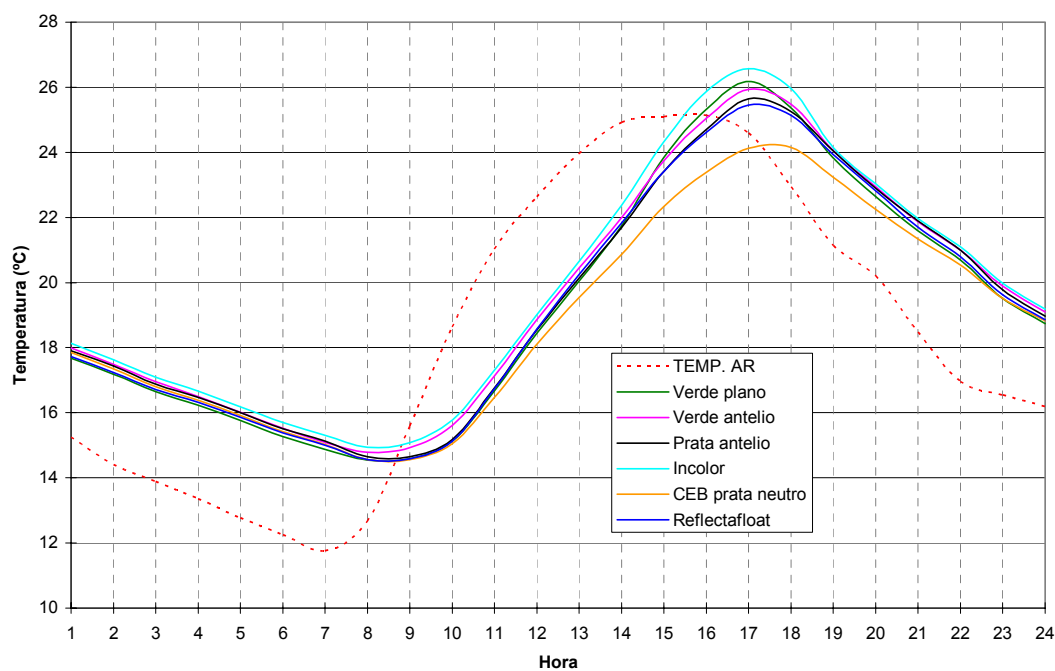


FIGURA 84 – Temperaturas de bulbo seco e temperatura externa - Oeste

Temperatura superficial interna dos vidros

Os valores máximos de temperaturas superficiais internas e temperaturas do ar externo foram registrados às 15h para a fachada norte e às 16h para a oeste. Na face norte, as temperaturas do ar variaram de 16 a 29°C, enquanto que na oeste, o menor valor foi 13°C e o maior 25°C.

Na fachada norte, os valores começam a se diferenciar a partir das 7h até 19h, havendo um aumento até às 15h, e um decréscimo, a partir de então, até 19h. Excluindo-se esse intervalo, não há, praticamente, variação entre as temperaturas superficiais dos diferentes vidros. Nessa face, as temperaturas superficiais de todos os vidros permaneceram superiores à temperatura externa, durante todo o período de incidência de radiação.

Já para a fachada oeste, os valores começam a apresentar diferenças a partir das 8h, até 19h. No intervalo de 13 às 19 horas, aproximadamente, as temperaturas superficiais dos vidros se mantiveram superiores à temperatura externa. As maiores temperaturas superficiais foram registradas em torno de 16h, quando o Sol incide mais frontalmente nessa face.

As variações das temperaturas superficiais internas dos vidros foram de 13 a 39°C na face oeste, e de 16 a 47°C na norte.

As máximas temperaturas de todos os vidros foram mais elevadas na face norte, com variações de 37,5 a 47°C, sendo o menor valor obtido para os vidros antélio prata e incolor, e o maior para o antélio verde. A variação das máximas temperaturas na face oeste foi de 32°C para os vidros incolor e antélio prata, até 39°C, para o antélio verde.

A diferença entre a maior temperatura externa e a maior temperatura superficial dos vidros de menores temperaturas (incolor e antélio prata) foi de 8°C para norte e 7°C para oeste, aproximadamente.

A diferença entre a maior temperatura externa e a maior temperatura superficial do vidro (verde antélio) foi de aproximadamente 18°C para face norte, e 14°C para oeste.

O vidro incolor foi o que atingiu as menores temperaturas superficiais, podendo ser equiparado aos vidros reflectafloat e antélio prata.

Dentre os vidros pirolíticos dessa família (verde, prata e reflectafloat), o verde foi o que apresentou as maiores temperaturas superficiais (47°C para norte e 39°C para oeste), sendo aquele de maior absorvância. Os vidros antélio prata e reflectafloat apresentam praticamente os mesmos valores de temperaturas superficiais, na face oeste, atingindo o máximo em torno de 32°C. Já na face norte, o vidro reflectafloat atinge 39°C, superando o prata em aproximadamente 1,5°C.

Ao se comparar os dois vidros verdes, o antélio, pelo fato de ser de maior espessura (6mm), tem maior absorvância, e conseqüentemente, maiores temperaturas superficiais que o vidro plano verde.

O vidro prata neutro (metalizado a vácuo) registrou maiores temperaturas superficiais que os dois vidros pirolíticos de mesma espessura dessa família (prata antélio e reflectafloat).

Ao se comparar os dois vidros “prata”, o pirolítico apresentou temperaturas superficiais menores que o metalizado a vácuo. Os valores de absorvância do antélio prata são bem menores que os do prata neutro, e conforme já citado, os vidros pirolíticos, de maneira geral, têm valores de absorvância bem menores que os metalizados a vácuo, atingindo temperaturas superficiais menores. Além disso, por sua transmitância ser mais elevada, contribuem para o aumento do ganho de calor solar,

elevando as temperaturas de bulbo seco. A exceção, nesta família, é o vidro verde antélio, de maior espessura que os outros pirolíticos.

Temperatura de bulbo seco interna (TBS)

O valor máximo da temperatura de bulbo seco foi registrado às 16:30h para todas as células-teste, na face norte. Na face oeste, o máximo foi atingido em torno de 17h, para todas as células-teste.

O ambiente interno esteve com as temperaturas maiores que a externa, até 9h, aproximadamente, para as duas fachadas. Tanto na fachada oeste como na norte, entre 9 e 16h, todas as células-teste estavam com temperaturas de bulbo seco menores que a externa.

A célula-teste com vidro incolor foi a que apresentou maiores temperaturas, nas duas fachadas, com uma diferença máxima de 1°C, para todos os vidros, com exceção do prata neutro, para o qual a diferença chegou a 2°C nas duas fachadas.

A célula-teste com vidro metalizado a vácuo prata neutro foi a de menores temperaturas, nas duas fachadas.

DISCUSSÃO

As temperaturas superficiais atingem valores bem elevados, com grande diferença entre a temperatura externa, chegando a 18°C para a face norte, e 14°C para a oeste.

Nas duas fachadas, os vidros de menores temperaturas superficiais foram o incolor e o prata antélio, enquanto que o vidro antélio verde atingiu as maiores temperaturas superficiais.

Dentre os vidros pirolíticos, o verde, de maior absorvência, registrou maiores temperaturas superficiais, seguido pelos vidros reflectafloat e antélio prata.

Ao se comparar os dois vidros refletivos, cujos processos de produção são diferentes, ou seja, o pirolítico prata e o metalizado a vácuo prata neutro, nota-se que este último apresenta vantagens em relação ao primeiro, pois, apesar de apresentar temperaturas superficiais mais elevadas, a temperatura interna da célula-teste com esse vidro é a menor. Isso quer dizer que o vidro antélio prata, de transmitância maior que o prata neutro, faz com que as temperaturas internas do ar se elevem.

Dentre os vidros analisados nessa família, percebe-se um comportamento diferenciado para o vidro prata neutro, sendo metalizado a vácuo. De modo geral, os vidros metalizados a vácuo apresentam menor transmitância e maior absorvência que os pirolíticos, sendo mais indicados no controle do ganho de calor solar de um ambiente. Por outro lado, os metalizados a vácuo possuem maiores refletâncias que os pirolíticos, podendo causar ofuscamento e brilho, devido à reflexão de luz. Portanto, nessa família, o vidro mais indicado em termos de controle de ganho de calor é o refletivo metalizado a vácuo prata neutro.

No próximo item são apresentados os resultados obtidos com o cálculo do ganho de calor, para cada vidro, em cada período analisado. Nas TAB. 12 a 26 constam valores do ganho de calor total para cada vidro, além de características óticas. As FIG. 85 a 94 ilustram o ganho de calor total para cada vidro, em cada família, nas duas orientações (norte e oeste).

6.4 GANHO DE CALOR TOTAL

FAMÍLIA 1

TABELA 12 – Ganho de calor total - face norte – Família 1

FAMÍLIA 1 - NORTE - DIA 24/06										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	138,5	13,8	16,0	85,1
	8 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,72	0,11	0,768	282,7	14,3	16,0	208,9
	10 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,76	0,11	0,803	552,0	18,3	17,7	445,8
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,76	0,11	0,800	664,9	21,5	20,4	537,6
	14 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,76	0,11	0,803	552,0	22,5	22,2	444,1
	16 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,72	0,11	0,768	282,7	22,8	23,8	212,5
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	138,5	22,2	23,7	88,2
VERDE	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	138,5	13,8	15,8	60,7
	8 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,43	0,34	0,570	282,7	14,3	15,7	154,4
	10 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,46	0,33	0,601	552,0	18,3	17,3	336,3
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,46	0,33	0,601	664,9	21,5	20,4	404,7
	14 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,46	0,33	0,601	552,0	22,5	23,4	327,2
	16 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,43	0,34	0,570	282,7	22,8	23,4	158,4
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	138,5	22,2	23,5	63,9
ANTELIO PRATA	7 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	138,5	13,8	15,8	89,8
	8 HORAS (55°)	3,0537	11,0	0,71	0,11	0,741	282,7	14,3	15,7	205,1
	10 HORAS (45°)	3,0537	11,0	0,73	0,13	0,760	552,0	18,3	17,2	422,7
	12 HORAS (45°)	3,0537	11,0	0,73	0,13	0,760	664,9	21,5	19,7	510,5
	14 HORAS (45°)	3,0537	11,0	0,73	0,13	0,760	552,0	22,5	21,8	421,4
	16 HORAS (55°)	3,0537	11,0	0,71	0,11	0,741	282,7	22,8	23,6	207,1
	17 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	138,5	22,2	23,7	91,4
ANTELIO ESMERALDA	7 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	138,5	13,8	15,7	44,2
	8 HORAS (55°)	3,0352	11,0	0,25	0,58	0,404	282,7	14,3	15,6	110,2
	10 HORAS (45°)	3,0352	11,0	0,27	0,58	0,430	552,0	18,3	16,6	242,3
	12 HORAS (45°)	3,0352	11,0	0,27	0,58	0,430	664,9	21,5	19,2	292,9
	14 HORAS (45°)	3,0352	11,0	0,27	0,58	0,430	552,0	22,5	21,4	240,6
	16 HORAS (55°)	3,0352	11,0	0,25	0,58	0,404	282,7	22,8	22,2	116,0
	17 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	138,5	22,2	22,4	49,3
LAM PVB VERDE	7 HORAS (65°)	4,6761	11,0	0,44	0,23	0,538	138,5	13,8	15,9	64,9
	8 HORAS (55°)	4,6761	11,0	0,53	0,22	0,619	282,7	14,3	15,9	167,6
	10 HORAS (45°)	4,6761	11,0	0,57	0,22	0,659	552,0	18,3	17,4	367,7
	12 HORAS (45°)	4,6761	11,0	0,57	0,22	0,659	664,9	21,5	20,1	444,2
	14 HORAS (45°)	4,6761	11,0	0,57	0,22	0,659	552,0	22,5	22,0	365,5
	16 HORAS (55°)	4,6761	11,0	0,53	0,22	0,619	282,7	22,8	23,4	171,9
	17 HORAS (65°)	4,6761	11,0	0,44	0,23	0,538	138,5	22,2	23,5	68,5
LAM PVB INCOLOR	7 HORAS (65°)	4,6761	11,0	0,17	0,59	0,414	138,5	13,8	15,8	47,9
	8 HORAS (55°)	4,6761	11,0	0,22	0,61	0,477	282,7	14,3	15,7	128,3
	10 HORAS (45°)	4,6761	11,0	0,25	0,62	0,511	552,0	18,3	17,0	288,4
	12 HORAS (45°)	4,6761	11,0	0,25	0,62	0,511	664,9	21,5	19,7	348,5
	14 HORAS (45°)	4,6761	11,0	0,25	0,62	0,511	552,0	22,5	22,0	284,7
	16 HORAS (55°)	4,6761	11,0	0,22	0,61	0,477	282,7	22,8	23,3	132,6
	17 HORAS (65°)	4,6761	11,0	0,17	0,59	0,414	138,5	22,2	23,4	51,5

TABELA 13 – Ganho de calor total – face oeste – Família 1

FAMÍLIA 1 - OESTE - DIA 13/06										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,35	0,11	0,398	225,2	25,6	20,0	116,3
	14 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	439,1	27,1	23,8	319,0
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,78	0,10	0,821	379,1	27,6	27,6	311,5
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,80	0,09	0,834	254,8	26,7	28,1	206,0
VERDE	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,18	0,21	0,271	225,2	25,6	20,7	84,6
	14 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	439,1	27,1	23,4	239,9
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,49	0,31	0,624	379,1	27,6	26,8	240,7
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,51	0,31	0,639	254,8	26,7	27,6	158,8
ANTELIO PRATA	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,47	0,10	0,498	225,2	25,6	20,6	127,5
	14 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	439,1	27,1	23,5	315,4
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,74	0,13	0,771	379,1	27,6	27,1	293,9
	17 HORAS(25°)	3,0537	11,0	0,74	0,13	0,776	254,8	26,7	28,1	193,6
ANTELIO ESMERALDA	12 HORAS (80°)	3,0352	11,0	0,11	0,39	0,218	225,2	25,6	20,5	64,7
	14 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	439,1	27,1	22,7	171,8
	16 HORAS (35°)	3,0352	11,0	0,29	0,58	0,449	379,1	27,6	25,4	177,0
	17 HORAS(25°)	3,0352	11,0	0,30	0,57	0,457	254,8	26,7	26,0	118,5
LAM PVB VERDE	12 HORAS (80°)	4,6761	11,0	0,16	0,22	0,254	225,2	25,6	21,0	78,6
	14 HORAS (65°)	4,6761	11,0	0,44	0,23	0,538	439,1	27,1	23,7	252,2
	16 HORAS (35°)	4,6761	11,0	0,59	0,22	0,679	379,1	27,6	26,9	260,6
	17 HORAS(25°)	4,6761	11,0	0,60	0,22	0,689	254,8	26,7	27,8	170,4
LAM PVB INCOLOR	12 HORAS (80°)	4,6761	11,0	0,05	0,57	0,292	225,2	25,6	20,8	88,5
	14 HORAS (65°)	4,6761	11,0	0,17	0,59	0,414	439,1	27,1	23,6	198,0
	16 HORAS (35°)	4,6761	11,0	0,27	0,62	0,531	379,1	27,6	26,9	205,1
	17 HORAS(25°)	4,6761	11,0	0,29	0,61	0,542	254,8	26,7	27,5	134,4

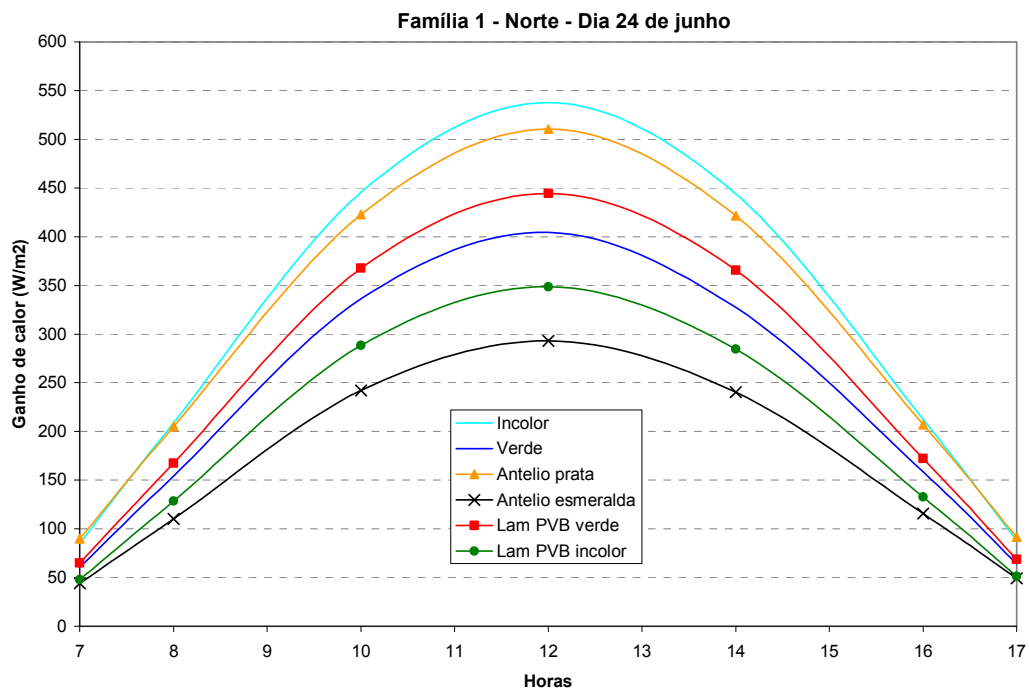


FIGURA 85 – Ganho de calor total dos vidros da família 1 – face norte

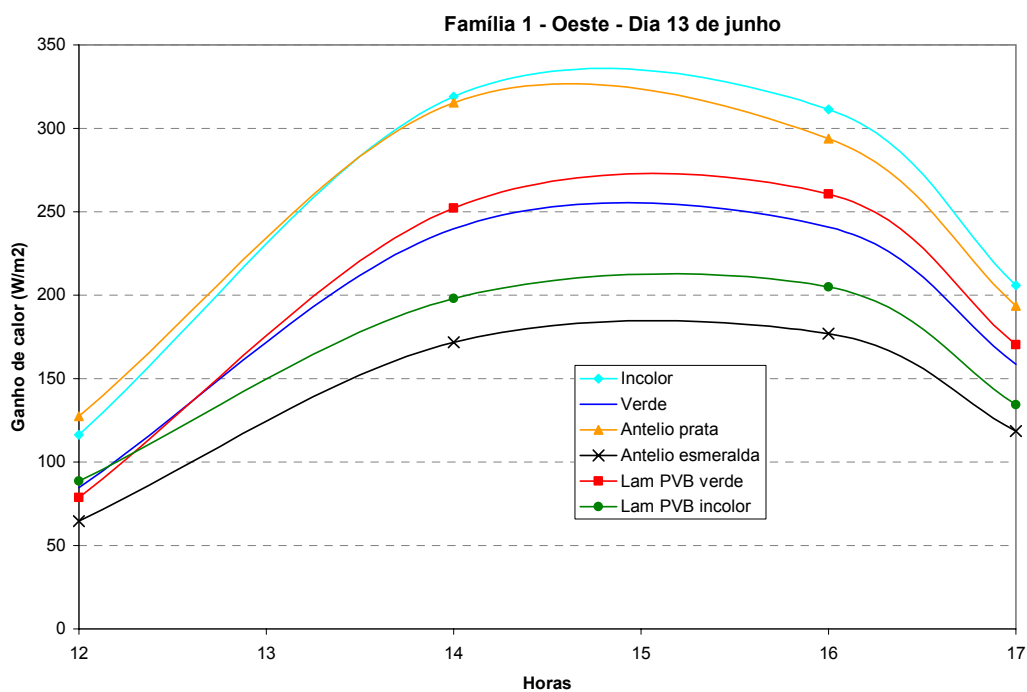


FIGURA 86 – Ganho de calor total dos vidros da família 1 – face oeste

Discussão

Os maiores ganhos de calor ocorreram na fachada norte, com valores entre 45 e 547W/m^2 , sendo que na oeste a variação foi de 58,5 a 323W/m^2 . Os picos foram às 12h (face norte) para todos os vidros e entre 14 e 15h (face oeste).

O vidro incolor foi o que representou maior ganho de calor, nas duas fachadas, chegando a $537,6\text{W/m}^2$ (norte) e $319,0\text{W/m}^2$ (oeste), ao passo que o antélio esmeralda foi o que menos contribuiu para o ganho de calor, com 293W/m^2 (norte) e 177W/m^2 (oeste).

Ao se comparar os dois vidros planos (incolor e verde), fica evidente o maior ganho de calor em um ambiente com o vidro incolor instalado. A diferença entre eles foi de 79W/m^2 na fachada oeste e 133W/m^2 na norte. Para o meio-dia e para as 14h, horários de maior ganho de calor nas faces norte e oeste, respectivamente, nota-se que o valor da absorptância do vidro incolor é 1/3 do valor do vidro verde, enquanto que o valor da transmitância desse vidro é cerca de 70% maior que o verde, conforme a TAB. 14. Dessa forma, verifica-se a grande influência das propriedades óticas do vidro e, conseqüentemente, do fator solar, no ganho de calor total de um determinado ambiente.

TABELA 14 – Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 1

VIDRO	NORTE - 12h			OESTE - 14h		
	Absortância	Transmitância	Ganho de calor	Absortância	Transmitância	Ganho de calor
Incolor	0,11	0,76	537,6	0,11	0,65	319,0
Antelio prata	0,13	0,73	510,5	0,10	0,67	315,4
Lam PVB verde	0,22	0,57	444,2	0,23	0,44	252,2
Verde plano	0,33	0,46	404,7	0,32	0,37	239,9
Antelio esmeralda	0,58	0,27	292,9	0,57	0,21	171,8
Lam PVB incolor	0,62	0,25	348,5	0,59	0,17	198,0

Com relação aos dois vidros refletivos pirolíticos dessa família, o antélio verde esmeralda apresentou menor ganho de calor, com diferenças de 218W/m^2 (norte) e 137W/m^2 (oeste) em relação ao antélio prata. Para o horário de maior ganho de calor na face norte (12h), a absorptância do vidro antélio prata é 0,13, e do antélio esmeralda

0,58. Com relação à transmitância nessa fachada, os valores foram 0,73 e 0,27, para os vidros antélio prata e antélio esmeralda, respectivamente. Já para a face oeste, os valores de absorptância no horário de pico do ganho e calor (14h) foram de 0,10 e 0,57, para o antélio prata e antélio esmeralda, respectivamente, enquanto os valores de transmitância foram de 0,67 (antélio prata) e 0,21 (antélio esmeralda). De modo geral, observa-se nessa família que o vidro de maior absorptância é o de menor ganho de calor, e que, conforme se aumenta a absorptância, diminui-se a transmitância, e atenua-se esse ganho. Além disso, há uma diferença na espessura desses dois vidros, de 6mm o verde, com maior absorção, e de 4mm o prata.

Entre os dois vidros laminados, percebe-se que o laminado incolor com PVB verde apresenta maiores valores que o verde com PVB incolor, em termos de ganho de calor. Sabe-se que a diferença entre os planos e os laminados reside no método de fabricação, e também na espessura, sendo nesse trabalho utilizados os planos de 4mm e os laminados de 8mm. Os valores de absorptância do vidro verde com película incolor são bem mais elevados que os do vidro incolor com PVB verde, devido à grande absorção do vidro verde em relação ao incolor, e a pouca influência do PVB. Em contrapartida, os valores de transmitância do laminado verde são bem inferiores que os do laminado incolor, caracterizando o maior ganho de calor através desse vidro.

Pelo fato dos laminados serem duas vezes mais espessos que os vidros base, os valores de transmitância e absorptância mostram-se coerentes, isto é, vidros de maiores espessuras absorvem mais e transmitem menos.

Dentre os três vidros verdes analisados nessa família, o antélio esmeralda apresentou menor ganho de calor, seguido pelo laminado verde com PVB incolor e pelo verde plano.

Pode-se dizer que, nessa família, o vidro antélio verde esmeralda é o mais indicado quando o objetivo é a atenuação do ganho de calor.

FAMÍLIA 2

TABELA 15 – Ganho de calor total - face norte – Família 2

FAMÍLIA 2 - NORTE - DIA 01/07										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _g (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	138,53	15,30	17,80	83,74
	8 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,72	0,11	0,768	282,68	15,40	17,60	206,52
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	552,01	19,60	19,20	436,70
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,76	0,11	0,800	664,88	23,80	22,20	539,85
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	552,01	26,50	25,00	441,94
	16 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,72	0,11	0,768	282,68	27,50	27,40	217,48
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	138,53	27,00	27,80	91,84
VERDE	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	138,53	15,30	17,40	60,15
	8 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,43	0,34	0,570	282,68	15,40	17,20	152,58
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	552,01	19,60	18,60	328,96
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,46	0,33	0,601	664,88	23,80	22,20	407,08
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	552,01	26,50	26,40	324,67
	16 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,43	0,34	0,570	282,68	27,50	27,00	163,54
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	138,53	27,00	27,50	67,78
CINZA	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,42	0,28	0,534	138,53	15,30	17,50	63,51
	8 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,48	0,28	0,596	282,68	15,40	17,30	159,51
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,49	0,27	0,607	552,01	19,60	18,50	340,29
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,51	0,27	0,622	664,88	23,80	21,50	424,50
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,49	0,27	0,607	552,01	26,50	24,50	344,58
	16 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,48	0,28	0,596	282,68	27,50	27,00	170,94
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,42	0,28	0,534	138,53	27,00	27,50	71,61
BRONZE	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,47	0,24	0,569	138,53	15,30	17,50	68,34
	8 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,53	0,25	0,636	282,68	15,40	17,30	170,77
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,55	0,24	0,654	552,01	19,60	18,40	366,72
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,57	0,23	0,670	664,88	23,80	21,40	456,67
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,55	0,24	0,654	552,01	26,50	25,10	367,67
	16 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,53	0,25	0,636	282,68	27,50	26,10	186,49
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,47	0,24	0,569	138,53	27,00	26,50	81,20
ANTELIO ESMERALDA	7 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	138,53	15,30	17,60	43,01
	8 HORAS (55°)	3,0352	11,0	0,25	0,58	0,404	282,68	15,40	17,40	108,03
	10 HORAS (50°)	3,0352	11,0	0,26	0,58	0,420	552,01	19,60	18,80	234,29
	12 HORAS (45°)	3,0352	11,0	0,27	0,58	0,430	664,88	23,80	21,80	292,00
	14 HORAS (50°)	3,0352	11,0	0,26	0,58	0,420	552,01	26,50	24,90	236,72
	16 HORAS (55°)	3,0352	11,0	0,25	0,58	0,404	282,68	27,50	27,10	115,32
	17 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	138,53	27,00	27,40	48,78

TABELA 16 – Ganho de calor total – face oeste – Família 2

FAMÍLIA 2 - OESTE - DIA 08/07										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _g (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,35	0,11	0,398	225,16	18,60	17,30	95,73
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	439,13	20,00	19,30	331,65
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,78	0,10	0,821	379,11	20,30	21,60	305,11
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,80	0,09	0,834	254,75	19,50	22,00	200,55
VERDE	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,18	0,21	0,271	225,16	18,60	16,90	69,11
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	439,13	20,00	18,80	248,54
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,49	0,31	0,624	379,11	20,30	20,90	233,82
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,51	0,31	0,639	254,75	19,50	21,30	154,29
CINZA	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,24	0,17	0,314	225,16	18,60	16,90	78,72
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,46	0,29	0,586	439,13	20,00	18,80	262,88
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,54	0,27	0,650	379,11	20,30	20,80	243,96
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,56	0,26	0,668	254,75	19,50	21,40	161,03
BRONZE	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,26	0,17	0,334	225,16	18,60	16,80	83,70
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,51	0,25	0,618	439,13	20,00	18,60	278,18
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,60	0,22	0,690	379,11	20,30	20,50	260,75
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,61	0,21	0,701	254,75	19,50	21,00	171,43
ANTELIO ESMERALDA	12 HORAS (80°)	3,0352	11,0	0,11	0,39	0,218	225,16	18,60	17,10	53,55
	14 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	439,13	20,00	18,80	173,71
	16 HORAS (35°)	3,0352	11,0	0,29	0,58	0,449	379,11	20,30	20,70	168,88
	17 HORAS(25°)	3,0352	11,0	0,30	0,57	0,457	254,75	19,50	21,30	111,03

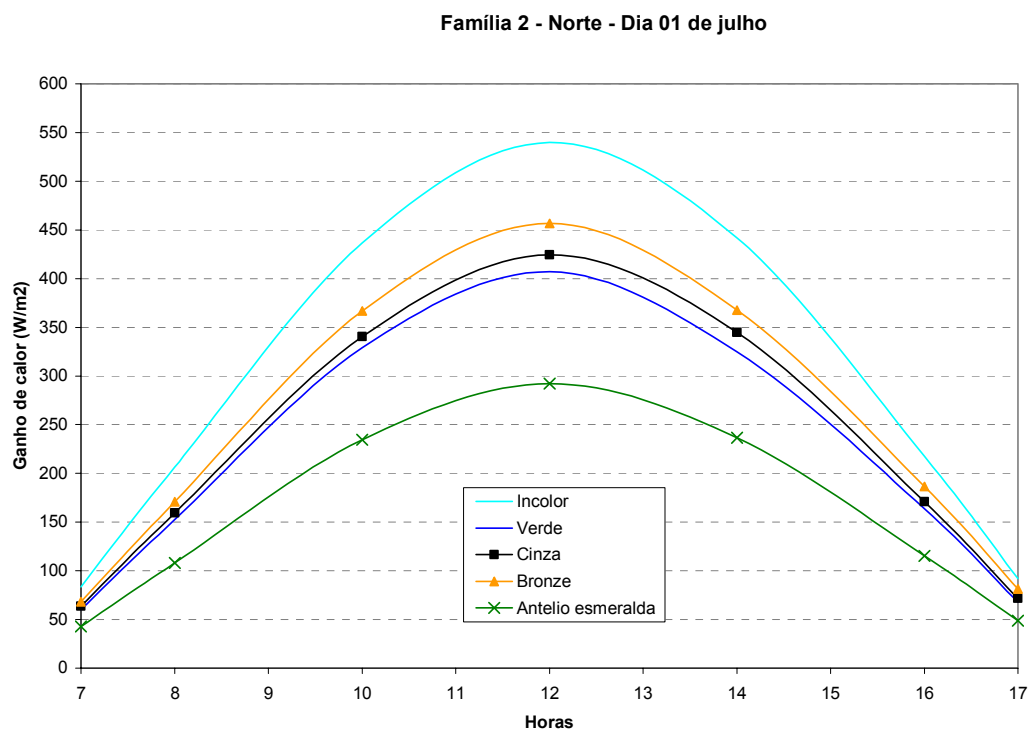


FIGURA 87 – Ganho de calor total dos vidros da família 2 – face norte

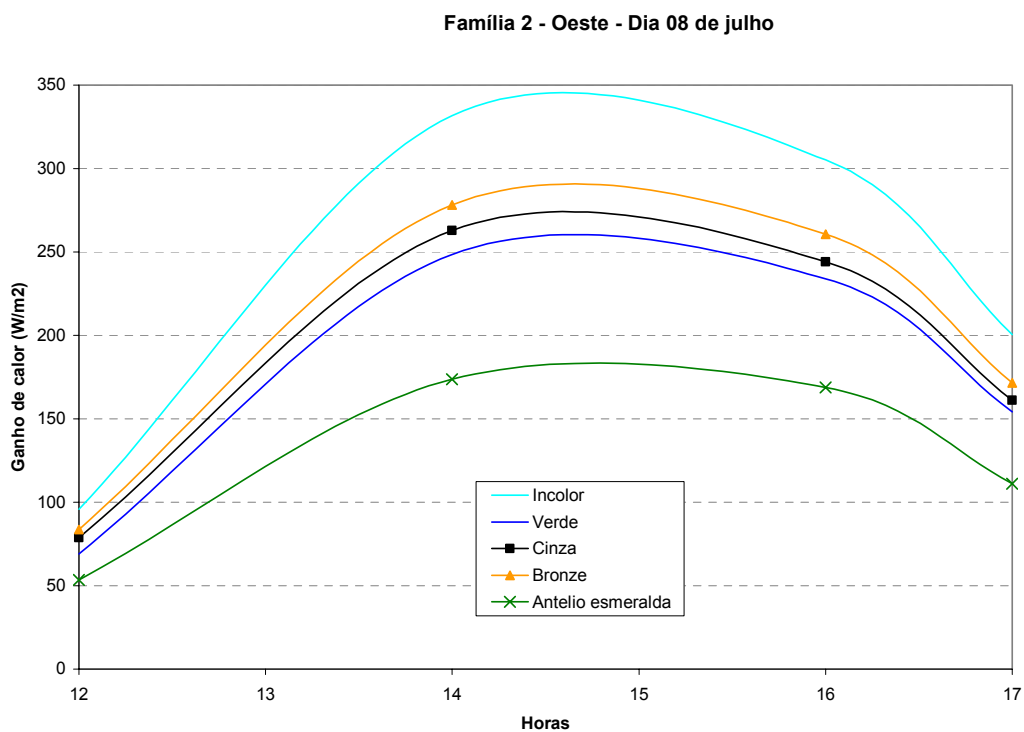


FIGURA 88 – Ganho de calor total dos vidros da família 2 – face oeste

Discussão

Os maiores ganhos de calor ocorreram na fachada norte, com valores entre 43 e 540 W/m², sendo que na oeste a variação foi de 54 e 332 W/m². Os picos foram às 12h (face norte) e entre 14 e 15h (face oeste) para todos os vidros.

O vidro incolor apresentou maior ganho de calor, nas duas fachadas, chegando a 540W/m² (norte) e 332 W/m² (oeste).

A partir dos dados da TAB. 17, observa-se uma correspondência entre as características óticas dos vidros e o ganho de calor.

TABELA 17 - Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 2

VIDRO	NORTE - 12h			OESTE - 14h		
	Absortância	Transmitância	Ganho de calor	Absortância	Transmitância	Ganho de calor
Incolor	0,11	0,76	539,9	0,11	0,70	331,7
Bronze	0,23	0,57	456,7	0,25	0,51	278,2
Cinza	0,27	0,51	424,5	0,29	0,46	262,9
Verde	0,33	0,46	407,1	0,33	0,41	248,5
Antelio esmeralda	0,58	0,27	292,0	0,57	0,23	173,7

Pode-se notar que o vidro incolor, de maior ganho de calor, é aquele de maiores transmitâncias e menores absortâncias. Quanto maiores as transmitâncias, e menores as absortâncias, maior o ganho de calor referente ao vidro analisado.

A parcela $U(t_e - t_i)$, referente às trocas térmicas entre o exterior e o interior, tem pouca contribuição no cálculo do ganho de calor, pois as diferenças de temperaturas são pequenas, assim como o fator U. O fator mais relevante no cálculo do ganho de calor é, sem dúvida, a parcela referente às características óticas do material, como também a radiação solar incidente.

Nessa família, dentre os vidros planos, o verde seria o mais indicado quando se pretende diminuir os ganhos de calor em um ambiente. O cinza seria uma segunda opção, com ganhos de calor em torno de 5% maiores que o verde.

Cabe observar que essa família é composta de cinco vidros, pois, conforme explicitado anteriormente, o mini-boreal foi excluído do cálculo do ganho de calor, por não ter sido possível analisar seu comportamento frente à radiação solar, com diferentes ângulos de incidência.

FAMÍLIA 3

TABELA 18 – Ganho de calor total - face norte – Família 3

FAMÍLIA 3 - NORTE - DIA 21/07										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	135,96	14,10	16,40	82,92
	8 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	277,01	14,70	16,40	199,01
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	539,98	19,20	18,50	428,66
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,76	0,11	0,800	650,08	22,70	21,50	526,10
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	539,98	24,10	23,80	426,75
	16 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	277,01	24,30	25,60	200,91
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	135,96	23,50	25,50	84,35
VERDE	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	135,96	14,10	16,10	59,33
	8 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	277,01	14,70	16,10	146,50
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	539,98	19,20	17,90	323,32
	12 HORAS (45°)	4,7653	11,0	0,46	0,33	0,601	650,08	22,70	21,20	397,71
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	539,98	24,10	23,50	319,99
	16 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	277,01	24,30	25,00	149,84
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	135,96	23,50	25,00	61,71
ANTELIO ESMERALDA	7 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	135,96	14,10	16,20	42,69
	8 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	277,01	14,70	16,20	102,73
	10 HORAS (50°)	3,0352	11,0	0,26	0,58	0,420	539,98	19,20	18,00	230,46
	12 HORAS (45°)	3,0352	11,0	0,27	0,58	0,430	650,08	22,70	21,20	284,11
	14 HORAS (50°)	3,0352	11,0	0,26	0,58	0,420	539,98	24,10	23,40	228,94
	16 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	277,01	24,30	25,10	104,85
	17 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	135,96	23,50	25,00	44,52
ANTELIO PRATA	7 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	135,96	14,10	16,20	87,78
	8 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,70	0,10	0,728	277,01	14,70	16,00	197,63
	10 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,72	0,12	0,753	539,98	19,20	17,50	411,97
	12 HORAS (45°)	3,0537	11,0	0,73	0,13	0,760	650,08	22,70	20,50	500,58
	14 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,73	0,12	0,758	539,98	24,10	22,80	413,45
	16 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,70	0,10	0,728	277,01	24,30	24,80	200,07
	17 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	135,96	23,50	24,90	89,91
ANTELIO BRONZE	7 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,35	0,37	0,451	135,96	14,10	16,10	55,26
	8 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,38	0,37	0,483	277,01	14,70	16,00	129,75
	10 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,40	0,39	0,508	539,98	19,20	17,30	280,26
	12 HORAS (45°)	3,0537	11,0	0,41	0,39	0,518	650,08	22,70	20,30	344,24
	14 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,40	0,39	0,508	539,98	24,10	22,30	279,95
	16 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,38	0,37	0,483	277,01	24,30	23,90	134,94
	17 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,35	0,37	0,451	135,96	23,50	24,00	59,84
REFLECTAFLOAT	7 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,52	0,23	0,579	135,96	14,10	16,20	72,29
	8 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	277,01	14,70	16,10	165,77
	10 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,57	0,25	0,639	539,98	19,20	17,50	350,46
	12 HORAS (45°)	3,0537	11,0	0,58	0,25	0,644	650,08	22,70	20,50	425,63
	14 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,57	0,25	0,639	539,98	24,10	23,00	348,63
	16 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	277,01	24,30	24,80	168,51
	17 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,52	0,23	0,579	135,96	23,50	24,80	74,73

TABELA 19 – Ganho de calor total – face oeste – Família 3

FAMÍLIA 3 - OESTE - DIA 15/07										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,35	0,11	0,398	229,80	24,00	19,50	112,83
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	443,33	24,88	22,40	343,25
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,78	0,10	0,823	383,49	24,87	25,60	312,28
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,80	0,09	0,834	259,28	24,10	26,20	206,23
VERDE	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,18	0,21	0,271	229,80	24,00	19,23	85,00
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	443,33	24,88	22,03	258,70
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,49	0,31	0,624	383,49	24,87	24,74	240,05
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,51	0,31	0,639	259,28	24,10	25,32	159,94
ANTELIO ESMERALDA	12 HORAS (80°)	3,0352	11,0	0,11	0,39	0,218	229,80	24,00	19,50	63,67
	14 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	443,33	24,88	22,20	179,81
	16 HORAS (35°)	3,0352	11,0	0,29	0,58	0,449	383,49	24,87	24,60	172,89
	17 HORAS(25°)	3,0352	11,0	0,30	0,57	0,457	259,28	24,10	25,40	114,62
ANTELIO PRATA	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,47	0,10	0,498	229,80	24,00	19,50	128,13
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,70	0,10	0,728	443,33	24,88	22,30	330,50
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,74	0,13	0,771	383,49	24,87	24,80	295,93
	17 HORAS(25°)	3,0537	11,0	0,74	0,13	0,776	259,28	24,10	25,50	196,95
ANTELIO BRONZE	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,17	0,27	0,245	229,80	24,00	19,00	71,56
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,38	0,37	0,483	443,33	24,88	21,50	224,31
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,44	0,38	0,539	383,49	24,87	23,70	210,33
	17 HORAS(25°)	3,0537	11,0	0,46	0,34	0,549	259,28	24,10	24,30	141,84
REFLECTAFLOAT	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,32	0,23	0,384	229,80	24,00	19,40	102,26
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	443,33	24,88	22,30	280,00
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,59	0,26	0,657	383,49	24,87	24,60	252,86
	17 HORAS(25°)	3,0537	11,0	0,59	0,26	0,662	259,28	24,10	25,30	168,03

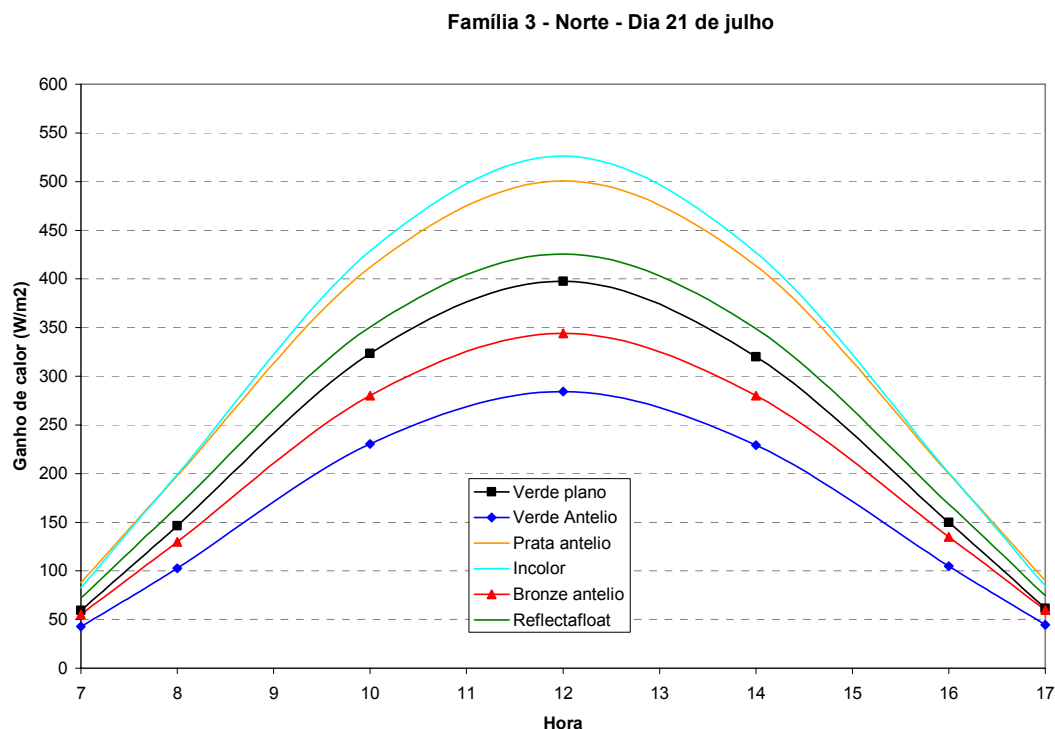


FIGURA 89 – Ganho de calor total dos vidros da família 3 – face norte

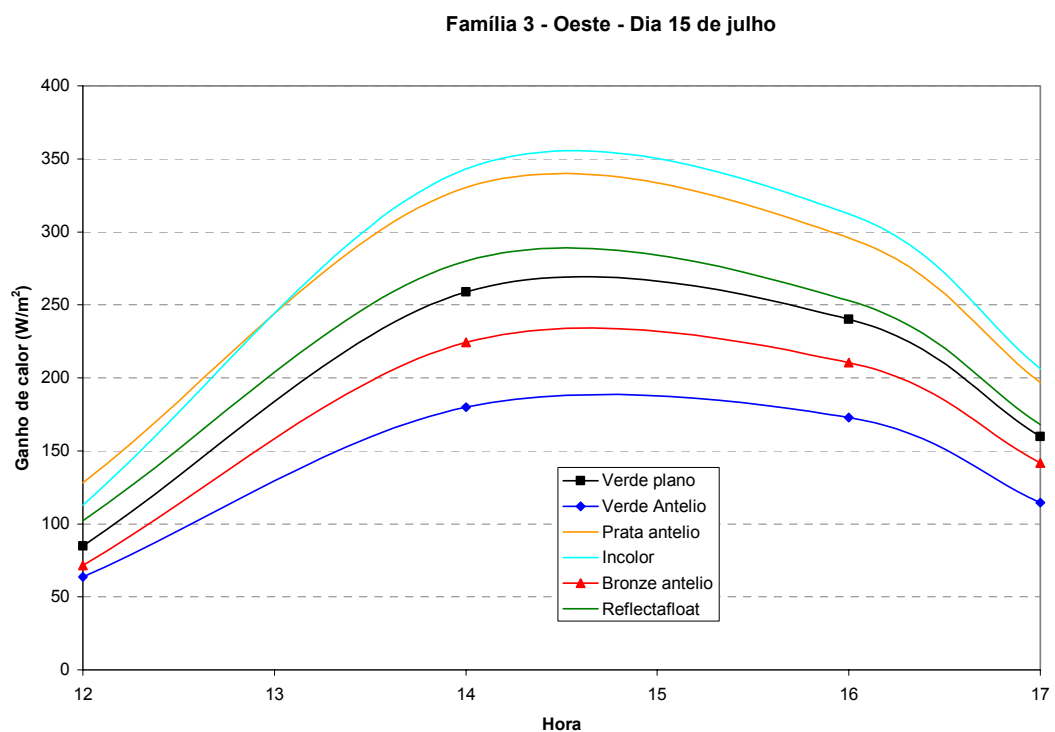


FIGURA 90– Ganho de calor total dos vidros da família 3 – face oeste

Discussão

Os maiores ganhos de calor ocorreram na fachada norte, com valores entre 43 e 526 W/m², sendo que na oeste a variação foi entre 64 e 343 W/m². Os picos foram às 12h (face norte) e entre 14 e 15h (face oeste) para todos os vidros.

O vidro incolor foi o que representou maior ganho de calor, nas duas fachadas, chegando a 526W/m² (norte) e 343 W/m² (oeste).

Da mesma forma que nas famílias anteriores, percebe-se uma correspondência entre as características óticas dos vidros e o ganho de calor total, conforme TAB. 20.

TABELA 20 - Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 3

VIDRO	NORTE - 12h			OESTE - 14h		
	Absortância	Transmitância	Ganho de calor	Absortância	Transmitância	Ganho de calor
Incolor	0,11	0,76	526,1	0,11	0,70	343,3
Antelio prata	0,13	0,73	500,6	0,10	0,70	330,5
Reflectafloat	0,25	0,58	425,6	0,23	0,55	280,0
Verde plano	0,33	0,46	397,7	0,33	0,41	258,7
Antelio bronze	0,39	0,41	344,2	0,37	0,38	224,3
Antelio esmeralda	0,58	0,27	284,1	0,57	0,23	179,8

Essa família é composta, basicamente, por vidros pirolíticos, sendo três antélies e um reflectafloat. Dentre eles, excluindo-se o verde, que é de maior espessura, percebe-se que o bronze foi o que mais contribuiu para a atenuação do ganho de calor. Em contrapartida, o reflectafloat foi o que apresentou maiores ganhos. Interessante observar que o reflectafloat é um vidro considerado forte tendência no mercado, hoje em dia. Porém, ao se avaliar seu desempenho térmico, nota-se que seu ganho de calor é elevado.

Nitidamente, observa-se que conforme se aumenta a absorvência, diminui-se a transmitância e o ganho de calor.

Os três vidros de coloração incolor ou prata (pirolíticos) foram os de maiores ganhos de calor.

Pode-se afirmar que, dentre os vidros pirolíticos dessa família, o mais indicado no controle do ganho de calor é o antélio verde, seguido pelo bronze. Dentre os pirolíticos de mesma espessura, o bronze seria o mais indicado.

FAMÍLIA 4

TABELA 21 – Ganho de calor total - face norte – Família 4

FAMÍLIA 4 - NORTE - DIA 28/07										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m ²)	te	ti	q (W/m ²)
INCOLOR	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,67	0,11	0,710	135,96	12,08	14,74	83,93
	8 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	277,01	12,75	14,84	197,15
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	539,98	19,48	17,13	436,51
	12 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	650,08	23,18	20,57	524,50
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,74	0,11	0,788	539,98	24,98	23,40	432,86
	16 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	277,01	25,09	25,47	205,33
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,67	0,11	0,710	135,96	24,73	25,63	92,30
VERDE	7 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	135,96	12,08	14,18	58,84
	8 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	277,01	12,75	14,33	145,64
	10 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	539,98	19,48	16,82	329,79
	12 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	650,08	23,18	21,15	391,47
	14 HORAS (50°)	4,7653	11,0	0,44	0,34	0,587	539,98	24,98	24,46	319,61
	16 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	277,01	25,09	25,07	153,27
	17 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	135,96	24,73	25,22	66,53
CEB AZUL INTENSO 114	7 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,11	0,58	0,259	135,96	12,08	14,42	28,33
	8 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,11	0,61	0,274	277,01	12,75	14,38	71,00
	10 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,12	0,63	0,289	539,98	19,48	15,72	167,16
	12 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,12	0,63	0,289	650,08	23,18	19,27	199,45
	14 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,12	0,63	0,289	539,98	24,98	22,07	164,66
	16 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,11	0,61	0,274	277,01	25,09	23,91	79,30
	17 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,11	0,58	0,259	135,96	24,73	24,26	36,65
CEB AZUL MÉDIO 130	7 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,18	0,54	0,325	135,96	12,08	14,38	37,36
	8 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,19	0,57	0,343	277,01	12,75	14,19	90,76
	10 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,21	0,56	0,360	539,98	19,48	15,45	206,42
	12 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,21	0,56	0,360	650,08	23,18	19,22	245,88
	14 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,21	0,56	0,360	539,98	24,98	22,16	202,87
	16 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,19	0,57	0,343	277,01	25,09	24,16	97,76
	17 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,18	0,54	0,325	135,96	24,73	24,49	44,87
PRATA NEUTRO	7 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,14	0,51	0,276	135,96	12,08	14,35	30,76
	8 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,15	0,53	0,292	277,01	12,75	14,21	76,64
	10 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,16	0,54	0,305	539,98	19,48	15,38	176,73
	12 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,16	0,54	0,305	650,08	23,18	18,68	211,49
	14 HORAS (50°)	2,9515	11,0	0,16	0,54	0,305	539,98	24,98	21,27	175,59
	16 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,15	0,53	0,292	277,01	25,09	23,05	86,97
	17 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,14	0,51	0,276	135,96	24,73	23,47	41,18
REFLECTAFLOAT	7 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,52	0,23	0,579	135,96	12,08	14,40	71,62
	8 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	277,01	12,75	14,35	165,15
	10 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,57	0,25	0,639	539,98	19,48	15,92	356,12
	12 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,57	0,25	0,639	650,08	23,18	19,54	426,77
	14 HORAS (50°)	3,0537	11,0	0,57	0,25	0,639	539,98	24,98	22,65	352,39
	16 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	277,01	25,09	24,64	171,43
	17 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,52	0,23	0,579	135,96	24,73	24,95	78,02

TABELA 22 – Ganho de calor total – face oeste – Família 4

FAMÍLIA 4 - OESTE - DIA 04/08										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m ²)	te	ti	q (W/m ²)
INCOLOR	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,35	0,11	0,398	253,22	24,80	19,00	128,33
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	495,14	26,50	22,50	389,25
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,78	0,10	0,821	444,86	27,70	26,60	370,54
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,80	0,09	0,834	316,54	27,70	28,50	260,18
VERDE	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,18	0,21	0,271	253,22	24,80	18,60	98,16
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	495,14	26,50	22,10	294,76
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,49	0,31	0,624	444,86	27,70	26,20	284,87
	17 HORAS(25°)	4,7653	11,0	0,51	0,31	0,639	316,54	27,70	28,10	200,46
CEB AZUL INTENSO 114	12 HORAS (80°)	2,9515	11,0	0,07	0,37	0,169	253,22	24,80	18,60	61,16
	14 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,11	0,61	0,274	495,14	26,50	22,00	148,79
	16 HORAS (35°)	2,9515	11,0	0,13	0,65	0,299	444,86	27,70	24,90	141,46
	17 HORAS(25°)	2,9515	11,0	0,13	0,65	0,304	316,54	27,70	26,30	100,49
CEB AZUL MÉDIO 130	12 HORAS (80°)	2,9515	11,0	0,12	0,34	0,211	253,22	24,80	18,30	72,67
	14 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,19	0,57	0,343	495,14	26,50	21,80	183,67
	16 HORAS (35°)	2,9515	11,0	0,23	0,55	0,376	444,86	27,70	25,10	175,04
	17 HORAS(25°)	2,9515	11,0	0,24	0,54	0,380	316,54	27,70	26,60	123,50
PRATA NEUTRO	12 HORAS (80°)	2,9515	11,0	0,09	0,35	0,184	253,22	24,80	18,10	66,35
	14 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,15	0,53	0,292	495,14	26,50	21,30	160,03
	16 HORAS (35°)	2,9515	11,0	0,18	0,54	0,320	444,86	27,70	24,00	153,23
	17 HORAS(25°)	2,9515	11,0	0,18	0,54	0,325	316,54	27,70	25,30	109,92
REFLECTAFLOAT	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,32	0,23	0,384	253,22	24,80	18,40	116,74
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	495,14	26,50	22,00	317,68
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,59	0,26	0,657	444,86	27,70	25,40	299,37
	17 HORAS(25°)	3,0537	11,0	0,59	0,26	0,662	316,54	27,70	27,00	211,74

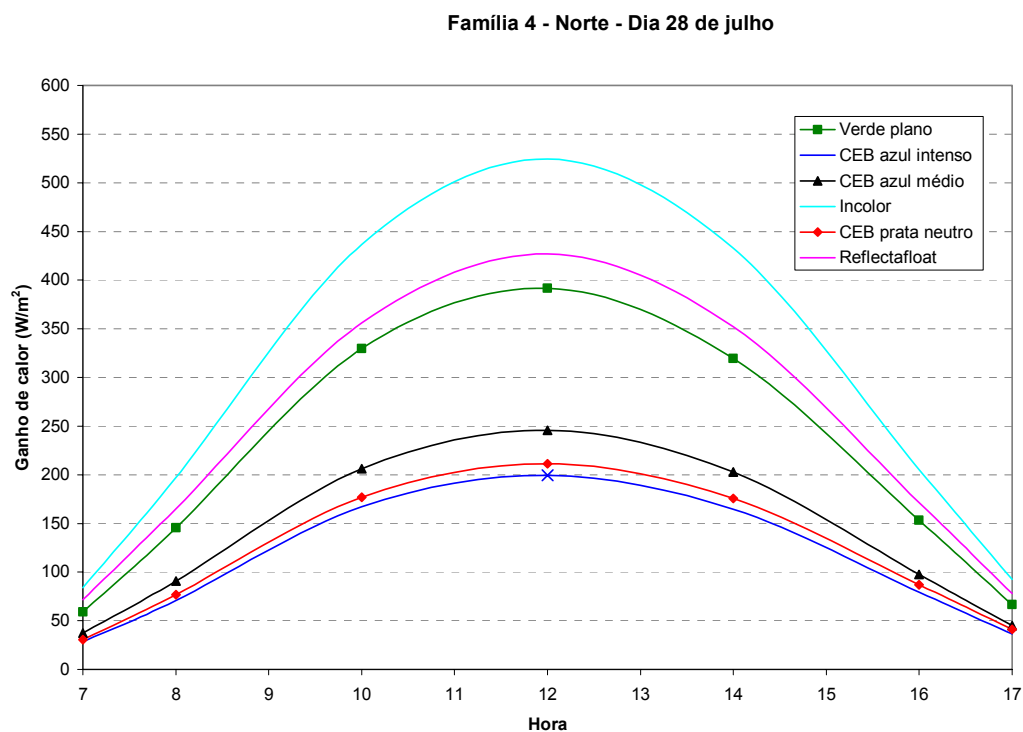


FIGURA 91– Ganho de calor total dos vidros da família 4 – face norte

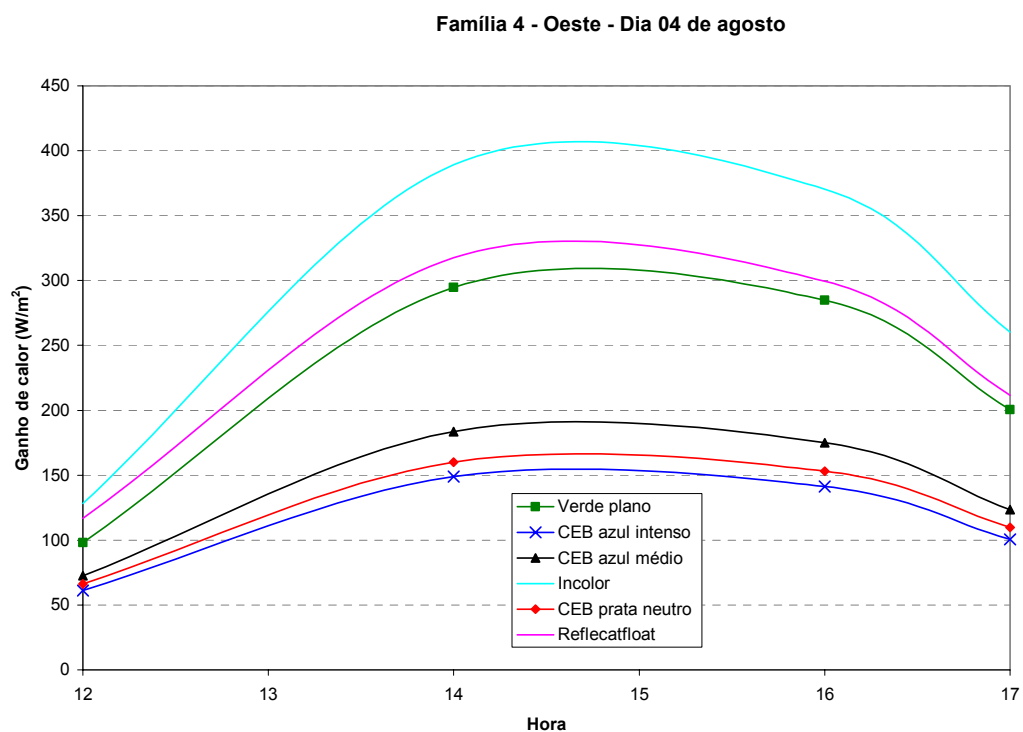


FIGURA 92 – Ganho de calor total dos vidros da família 4 – face oeste

Discussão

Os maiores ganhos de calor ocorreram na fachada norte, com valores entre 28 e 525 W/m², sendo que na oeste a variação foi de 61 a 390 W/m². Os picos foram às 12h (face norte) e entre 14 e 15h (face oeste) para todos os vidros, como nas famílias anteriores.

O vidro incolor foi o que representou maior ganho de calor, nas duas fachadas, chegando a 525W/m² (norte) e 390 W/m² (oeste).

Da mesma forma que nas famílias anteriores, percebe-se que o ganho de calor depende intrinsecamente das propriedades óticas dos vidros, como ilustrado na TAB. 23.

TABELA 23 - Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 4

VIDRO	NORTE - 12h			OESTE - 14h		
	Absortância	Transmitância	Ganho de calor	Absortância	Transmitância	Ganho de calor
Incolor	0,11	0,74	524,5	0,11	0,70	389,3
Reflectafloat	0,25	0,57	426,8	0,23	0,55	317,7
Verde plano	0,34	0,44	391,5	0,33	0,41	294,8
CEB azul médio	0,56	0,21	245,9	0,57	0,19	183,7
CEB prata neutro	0,54	0,16	211,5	0,53	0,15	160,0
CEB azul intenso	0,63	0,12	199,5	0,61	0,11	148,8

A intenção do arranjo experimental dos vidros na família 4 é comparar os vidros refletivos metalizados a vácuo. Portanto, dentre eles, o azul intenso seria o mais indicado em termos de controle do ganho de calor, apresentando os menores valores de transmitância, maiores de absortância, e, conseqüentemente, menores ganhos de calor. Em segundo lugar, o vidro prata neutro também poderia ser utilizado, pois apresenta resultados próximos do azul intenso.

O vidro reflectafloat, pirolítico, apresenta ganhos de calor elevados, abaixo apenas do incolor.

FAMÍLIA 5

TABELA 24 – Ganho de calor total - face norte – Família 5

FAMÍLIA 5 - NORTE - DIA 18/08										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	7 HORAS (70°)	4,7653	11,0	0,59	0,10	0,633	139,15	16,00	18,60	75,74
	8 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	279,70	17,40	18,60	187,41
	10 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	540,31	22,50	21,00	411,12
	12 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,72	0,11	0,768	649,15	26,50	24,70	506,90
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	540,31	28,50	27,60	408,26
	16 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,65	0,11	0,690	279,70	29,00	29,80	189,32
	17 HORAS (70°)	4,7653	11,0	0,59	0,10	0,633	139,15	28,30	29,90	80,50
VERDE	7 HORAS (70°)	4,7653	11,0	0,33	0,30	0,460	139,15	16,00	18,10	54,00
	8 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	279,70	17,40	18,20	137,84
	10 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	540,31	22,50	20,20	309,73
	12 HORAS (55°)	4,7653	11,0	0,43	0,34	0,570	649,15	26,50	24,30	380,58
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	540,31	28,50	27,10	305,44
	16 HORAS (65°)	4,7653	11,0	0,37	0,32	0,506	279,70	29,00	29,20	140,70
	17 HORAS (70°)	4,7653	11,0	0,33	0,30	0,460	139,15	28,30	29,40	58,76
ANTELIO ESMERALDA	7 HORAS (70°)	3,0352	11,0	0,18	0,56	0,335	139,15	16,00	18,40	39,26
	8 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	279,70	17,40	18,40	97,91
	10 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	540,31	22,50	20,70	214,72
	12 HORAS (55°)	3,0352	11,0	0,25	0,58	0,404	649,15	26,50	24,40	268,41
	14 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	540,31	28,50	27,30	212,89
	16 HORAS (65°)	3,0352	11,0	0,21	0,57	0,361	279,70	29,00	29,30	100,03
	17 HORAS (70°)	3,0352	11,0	0,18	0,56	0,335	139,15	28,30	29,60	42,60
ANTELIO PRATA	7 HORAS (70°)	3,0537	11,0	0,63	0,10	0,658	139,15	16,00	18,00	85,42
	8 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	279,70	17,40	17,90	192,24
	10 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,70	0,10	0,728	540,31	22,50	20,16	400,37
	12 HORAS (55°)	3,0537	11,0	0,71	0,11	0,741	649,15	26,50	23,92	488,60
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,70	0,10	0,728	540,31	28,50	26,83	398,32
	16 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,67	0,10	0,693	279,70	29,00	29,00	193,76
	17 HORAS (70°)	3,0537	11,0	0,63	0,10	0,658	139,15	28,30	29,35	88,32
PRATA NEUTRO	7 HORAS (70°)	2,9515	11,0	0,13	0,48	0,259	139,15	16,00	18,30	29,22
	8 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,14	0,51	0,276	279,70	17,40	18,00	75,29
	10 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,15	0,53	0,292	540,31	22,50	19,60	166,44
	12 HORAS (55°)	2,9515	11,0	0,16	0,54	0,299	649,15	26,50	22,90	204,43
	14 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,15	0,53	0,292	540,31	28,50	25,40	167,03
	16 HORAS (65°)	2,9515	11,0	0,14	0,51	0,276	279,70	29,00	27,40	81,78
	17 HORAS (70°)	2,9515	11,0	0,13	0,48	0,259	139,15	28,30	27,90	37,19
REFLECTAFLOAT	7 HORAS (70°)	3,0537	11,0	0,48	0,23	0,544	139,15	16,00	18,40	68,35
	8 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,52	0,23	0,579	279,70	17,40	18,30	159,16
	10 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	540,31	22,50	20,20	338,70
	12 HORAS (55°)	3,0537	11,0	0,56	0,24	0,627	649,15	26,50	23,70	415,32
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	540,31	28,50	26,90	336,56
	16 HORAS (65°)	3,0537	11,0	0,52	0,23	0,579	279,70	29,00	29,10	161,60
	17 HORAS (70°)	3,0537	11,0	0,48	0,23	0,544	139,15	28,30	29,40	72,32

TABELA 25 – Ganho de calor total – face oeste – Família 5

FAMÍLIA 5 - OESTE - DIA 11/08										
VIDRO	HORÁRIO	U (W/m ² °C)	h _e (W/m ² °C)	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m2)	te	ti	q (W/m2)
INCOLOR	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,35	0,11	0,398	261,06	22,60	19,00	120,97
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,70	0,11	0,748	503,68	24,90	22,40	388,49
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,78	0,10	0,821	454,30	25,10	25,90	369,24
	17 HORAS(20°)	4,7653	11,0	0,80	0,09	0,839	326,13	24,60	26,60	264,09
VERDE	12 HORAS (80°)	4,7653	11,0	0,18	0,21	0,271	261,06	22,60	18,50	90,28
	14 HORAS (60°)	4,7653	11,0	0,41	0,33	0,553	503,68	24,90	21,70	293,76
	16 HORAS (35°)	4,7653	11,0	0,49	0,31	0,624	454,30	25,10	25,30	282,67
	17 HORAS(20°)	4,7653	11,0	0,51	0,31	0,644	326,13	24,60	26,20	202,50
ANTELIO ESMERALDA	12 HORAS (80°)	3,0352	11,0	0,11	0,39	0,218	261,06	22,60	18,90	68,04
	14 HORAS (60°)	3,0352	11,0	0,23	0,57	0,387	503,68	24,90	22,00	203,87
	16 HORAS (35°)	3,0352	11,0	0,29	0,58	0,449	454,30	25,10	25,00	204,13
	17 HORAS(20°)	3,0352	11,0	0,30	0,57	0,457	326,13	24,60	25,90	145,19
ANTELIO PRATA	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,47	0,10	0,498	261,06	22,60	18,50	142,47
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,70	0,10	0,728	503,68	24,90	21,70	376,33
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,74	0,13	0,771	454,30	25,10	24,70	351,53
	17 HORAS(20°)	3,0537	11,0	0,74	0,13	0,776	326,13	24,60	25,60	250,05
PRATA NEUTRO	12 HORAS (80°)	2,9515	11,0	0,09	0,35	0,184	261,06	22,60	18,10	61,29
	14 HORAS (60°)	2,9515	11,0	0,15	0,53	0,292	503,68	24,90	20,90	158,99
	16 HORAS (35°)	2,9515	11,0	0,18	0,54	0,320	454,30	25,10	23,40	150,35
	17 HORAS(20°)	2,9515	11,0	0,18	0,54	0,325	326,13	24,60	24,10	107,43
REFLECTAFLOAT	12 HORAS (80°)	3,0537	11,0	0,32	0,23	0,384	261,06	22,60	18,60	112,42
	14 HORAS (60°)	3,0537	11,0	0,55	0,23	0,614	503,68	24,90	21,80	318,65
	16 HORAS (35°)	3,0537	11,0	0,59	0,26	0,657	454,30	25,10	24,60	300,08
	17 HORAS(20°)	3,0537	11,0	0,59	0,26	0,662	326,13	24,60	25,50	213,21

Família 5 - Norte - Dia 18 de agosto

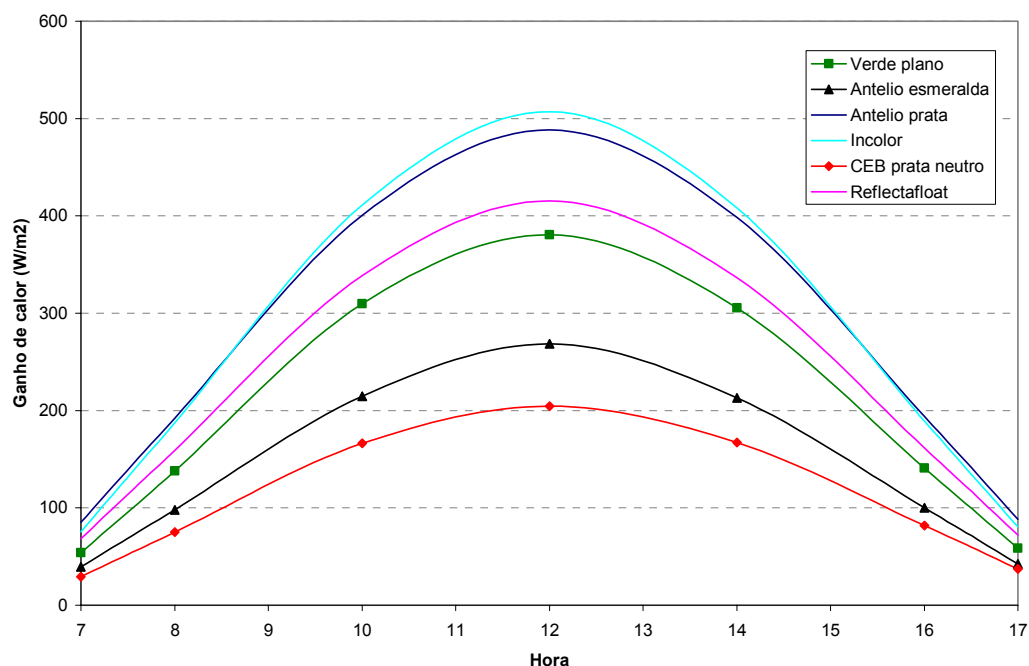


FIGURA 93 – Ganho de calor total dos vidros da família 5 – face norte

Família 5 - Oeste - Dia 11 de agosto

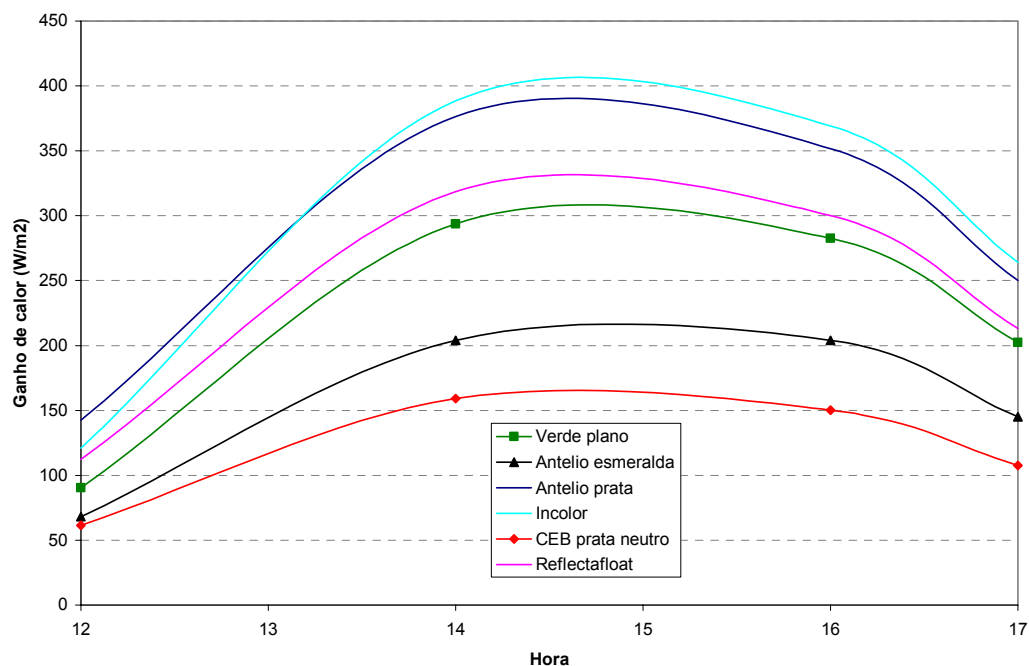


FIGURA 94– Ganho de calor total dos vidros da família 5 – face oeste

Discussão

Os maiores ganhos de calor ocorreram na fachada norte, com valores entre 29 e 507 W/m², sendo que na oeste a variação foi de 61 a 389 W/m², aproximadamente. Os picos foram às 12h (face norte) e entre 14 e 15h (face oeste) para todos os vidros.

O vidro incolor apresentou maior ganho de calor, nas duas fachadas, chegando a 507W/m² (norte) e 389 W/m² (oeste).

Da mesma forma que nas famílias anteriores, percebe-se a grande influência das propriedades óticas dos vidros no ganho de calor de um ambiente, conforme TAB. 26.

TABELA 26 - Absortância, transmitância e ganho de calor total nos horários de pico – família 5

VIDRO	NORTE - 12h			OESTE - 14h		
	Absortância	Transmitância	Ganho de calor	Absortância	Transmitância	Ganho de calor
Incolor	0,11	0,72	506,9	0,11	0,70	388,5
Antelio prata	0,11	0,71	488,6	0,10	0,70	376,3
Reflectafloat	0,24	0,56	415,3	0,23	0,55	318,7
Verde plano	0,34	0,43	380,6	0,33	0,41	293,8
Antelio esmeralda	0,58	0,25	268,4	0,57	0,23	203,9
CEB Prata neutro	0,54	0,16	204,4	0,53	0,15	159,0

Nessa família, o objetivo é a comparação de dois vidros refletivos pirolíticos de predominância da cor prata (antélio prata, reflectafloat e CEB prata neutro), além de dois vidros verdes (plano e antélio).

Dentre os vidros de cor prata, pode-se observar que o metalizado a vácuo apresenta um melhor desempenho térmico, com o menor ganho de calor. Os vidros pirolíticos prata e reflectafloat exibem, praticamente, o mesmo comportamento em relação ao ganho de calor, atingindo valores elevados.

Com relação aos dois vidros verdes, é evidente o melhor desempenho térmico para o antélio verde esmeralda, que, além de contar com tratamento refletivo, é de maior espessura que o verde plano, absorvendo uma significativa parcela da radiação. Seus baixos valores de transmitância contribuem para os menores ganhos de calor.

7. DISCUSSÃO

A análise do desempenho térmico dos materiais ensaiados nos leva a inferir que não existe ainda no mercado um vidro “ideal”, considerando regiões de clima quente. Sabe-se que as características desejáveis para um material de fechamento são baixos valores de transmitância da região do infravermelho, e altos de transmissão de luz visível, em conjunto com alta absorptância no infravermelho, e baixa no visível. Analisando-se as características óticas, pode-se dizer que os vidros refletivos metalizados a vácuo (azul intenso, azul médio e prata neutro) atenderiam a quase todos esses requisitos, com a exceção de apresentarem altos valores de absorptância não somente no infravermelho, como também na região do visível, e conseqüentemente, por serem refletivos, baixos valores de transmitância de luz.

Ganho de calor

A maior contribuição para a atenuação do ganho de calor foi dos vidros metalizados a vácuo. Porém, ao se especificar um vidro tipo CEB, deve-se atentar para a refletância, pois o ideal seria o vidro refletir mais na região do infravermelho. Nota-se que tanto o vidro azul intenso como o prata neutro apresentam maior refletância na região do visível, o que não é recomendável, pois, além de obstruir a iluminação natural, pode causar ofuscamento no entorno da edificação.

Para os vidros que foram ensaiados em mais de uma família, calcularam-se as médias correspondentes ao ganho de calor no horário de pico, isto é, às 12h para a face norte e às 14h para a oeste, ilustradas nas FIG. 95 e 96. A TAB. 27 apresenta os valores médios, para todo o período analisado, de absorptância, transmitância, fator solar e ganho de calor total, para cada fachada, para cada vidro, no horário de máximo ganho de calor.

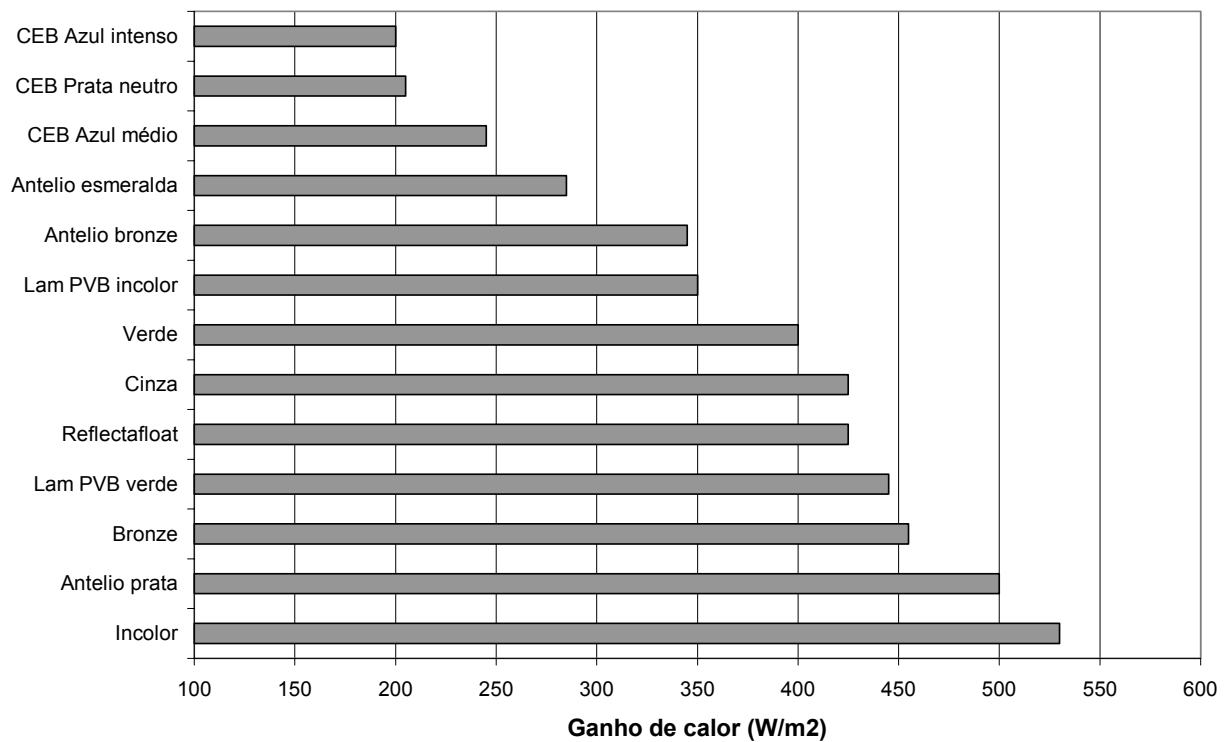


FIGURA 95 – Ganho de calor total para os vidros analisados (face norte)

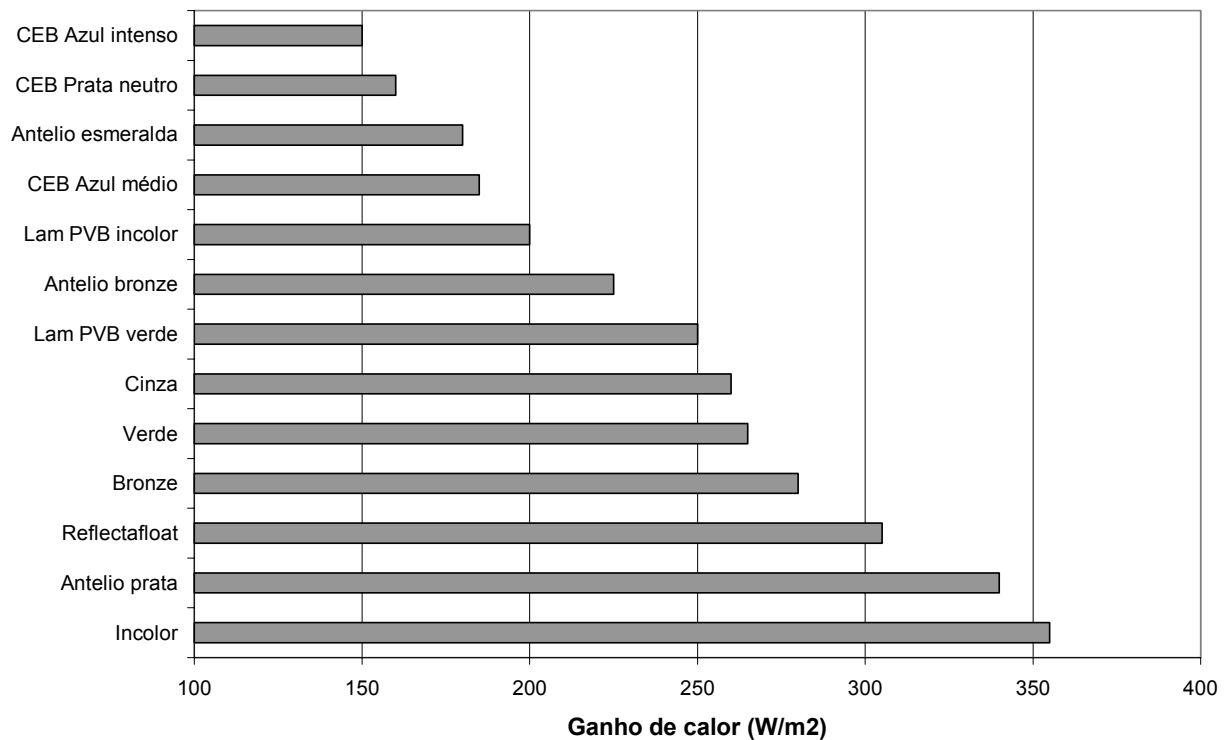


FIGURA 96 – Ganho de calor total para os vidros analisados (face oeste)

TABELA 27 – Absortância, transmitância, fator solar e ganho de calor total médios (W/m^2) no período analisado, nos horários de máximo ganho de calor

	VIDROS	NORTE - 12h				OESTE - 14h			
		Absortância	Transmitância	Fator solar	Ganho de calor	Absortância	Transmitância	Fator solar	Ganho de calor
Plano	Incolor	0,11	0,75	0,798	530	0,11	0,69	0,738	355
	Bronze	0,23	0,57	0,670	455	0,25	0,51	0,618	280
	Cinza	0,27	0,51	0,627	425	0,29	0,46	0,586	260
	Verde	0,33	0,45	0,593	400	0,33	0,40	0,543	265
Pirrolítico	Antelio prata	0,12	0,72	0,753	500	0,10	0,69	0,718	340
	Reflectafloat	0,24	0,57	0,637	425	0,23	0,55	0,614	305
	Antelio bronze	0,39	0,41	0,518	345	0,37	0,38	0,483	225
	Antelio esmeralda	0,58	0,27	0,430	285	0,57	0,23	0,387	180
Met a vácuo	CEB azul médio	0,56	0,21	0,360	245	0,57	0,19	0,343	180
	CEB prata neutro	0,54	0,16	0,305	205	0,53	0,15	0,292	160
	CEB azul intenso	0,63	0,12	0,289	200	0,61	0,11	0,274	150
Laminado	Lam incolor PVB verde	0,22	0,57	0,664	444	0,23	0,44	0,538	252
	Lam verde PVB incolor	0,62	0,25	0,514	349	0,59	0,17	0,421	198

Os ganhos de calor foram bem maiores na face norte que na oeste, sendo este um fato esperado, devido à maior incidência da radiação solar global durante todo o dia, nesta orientação, no período analisado (inverno). A face oeste recebe maior incidência da radiação solar no período vespertino, quando incide também a radiação direta.

Observa-se que o vidro incolor, com baixa absortância e alta transmitância, foi o que mais contribuiu para o ganho de calor no ambiente.

Os refletivos metalizados a vácuo, de maior absortância e menor transmitância, são considerados os mais adequados, isto é, de melhor desempenho térmico, devido ao baixo ganho de calor, nos casos em que se pretende sua atenuação.

O vidro laminado verde com película incolor apresenta vantagens em relação ao incolor com PVB verde, sob o ponto de vista do ganho de calor. Ressalte-se que a absortância do laminado verde com PVB incolor é quase o triplo daquela com PVB verde, composto de dois vidros incolores. Dessa forma, observa-se que os vidros laminados apresentam comportamento semelhante aos seus vidros base. Geralmente,

os fabricantes fornecem vidro incolor com PVB verde. É, portanto, aconselhável solicitar ao fabricante o vidro base colorido.

Dentre os vidros refletivos pirolíticos analisados, o antélio prata apresentou o maior ganho de calor, nas duas fachadas. Em seguida, vêm os vidros reflectafloat, antélio bronze e antélio esmeralda. Na análise, esse último mostrou o melhor desempenho térmico, mas é necessário levar em conta que sua espessura também é maior. Entretanto, ao se considerar os pirolíticos de mesma espessura, o antélio bronze é o de melhor desempenho térmico, com o menor ganho de calor.

Para todas as tipologias de vidros analisadas, observa-se uma correlação entre as características óticas, o fator solar e o ganho de calor total. Quanto maior a absorptância, menores a transmitância, o fator solar e o ganho de calor.

Ganhos de calor X resultados nas células-teste

De modo geral, ao se comparar os resultados de ganho de calor com os obtidos nas células-teste, observa-se que os vidros de maiores temperaturas superficiais são os que apresentam maior absorptância, e menor ganho de calor. E os vidros que mais contribuem para o aumento das temperaturas internas nas células-teste são os de maior transmitância, e maior ganho de calor.

Dentre todos os vidros, o incolor, de menor absorptância, maior transmitância, maior fator solar e maior ganho de calor, foi o que registrou as menores temperaturas superficiais internas, e as maiores contribuições no aumento das temperaturas de bulbo seco internas, em todas as famílias.

Ao se considerar os vidros planos coloridos, o cinza e o verde, de alta absorptância, baixa transmitância, baixo fator solar e menores ganhos de calor registraram as maiores temperaturas superficiais internas. O vidro bronze, com a menor

absortância, maior transmitância e maior ganho de calor, registrou as menores temperaturas superficiais internas, porém, também foi o que menos contribuiu para o aumento das temperaturas internas. Esse comportamento foi atípico em relação aos demais.

Analisando-se os vidros pirolíticos (antélios), o verde, de maior espessura, maior absortância, menor transmitância e menores ganhos de calor, mostrou as maiores temperaturas superficiais internas. Considerando-se os três vidros pirolíticos de mesma espessura (bronze, prata e reflectafloat), percebe-se que o bronze, com maior absortância, menor transmitância e menor ganho de calor, menos contribuiu para o aumento das temperaturas internas, e registrou as maiores temperaturas superficiais internas. Portanto, dentre os pirolíticos analisados, esse seria o mais indicado na atenuação do ganho de calor, comprovando que os resultados obtidos em células-teste estão coerentes com o cálculo do ganho de calor.

Dentre os vidros metalizados a vácuo, o azul intenso, de maior absortância, menor transmitância e menor fator solar, foi o de menor ganho de calor, registrando as maiores temperaturas superficiais internas. As células-teste com os vidros azul intenso e prata neutro, de baixa transmitância e fator solar, e, portanto, menores ganhos de calor, foram as que menos contribuíram para o aumento da temperatura de bulbo seco interna. O vidro prata neutro também apresenta um comportamento atípico. Além de ser o que menos contribui para o aumento das temperaturas internas, também registrou as menores temperaturas superficiais internas, sugerindo que poderia ser considerado o vidro metalizado a vácuo mais indicado na atenuação do ganho de calor.

Em relação aos vidros laminados, fica evidente que o mais indicado no controle do ganho de calor é o laminado verde com PVB incolor, pois, além de ser o de maior absortância, menor transmitância, menor fator solar e menor ganho de calor, foi o que registrou as menores contribuições na temperatura interna do ar.

O objetivo de uma especificação técnica é fornecer informações precisas que permitam interpretar, fornecer e administrar claramente as características do material requerido. O vidro pode ser utilizado nas mais diversas aplicações na construção civil, não sendo possível uma especificação que atenda todos os casos. É necessário apontar e descrever as características e desempenho do produto, indicando sua influência sobre o conforto do ambiente.

Para o projetista, é importante analisar a fachada como um todo, atentando para a implantação, o sombreamento produzido pelo entorno, e os detalhes do projeto, de modo a propor soluções distintas para as diferentes fachadas. Além disso, deve-se encarar como problema fundamental a incidência da radiação solar nos vidros, para se obter uma boa ponderação entre o desejado ingresso da iluminação natural e a barreira ao calor excessivo.

Dessa forma, há que se considerar vários parâmetros na especificação de vidros em projetos arquitetônicos, avaliando desde a espessura, as características óticas, até o ganho de calor, evitando deixar-se influenciar por “modismos”. Além disso, deve-se agir com cautela na especificação de vidros, levando-se em consideração todos os aspectos relacionados ao usuário e também ao entorno, de forma a alcançar o melhor custo-benefício.

8. CONCLUSÕES

- Os vidros de maior absorvância e que mais atenuam o ganho de calor são os que registram as temperaturas superficiais mais elevadas.
- Os vidros de maior transmitância são os de ganho de calor mais elevado, e os que mais contribuem para o aumento das temperaturas internas nas células-teste.
- O ganho de calor solar dos vidros planos é elevado, principalmente através do incolor, seguido do bronze, cinza e verde.
- A maior contribuição para a atenuação do ganho de calor solar foi dos vidros metalizados a vácuo.
- Dentre os três metalizados a vácuo analisados, o prata neutro é o de menor contribuição para o aumento das temperaturas de bulbo seco internas, além de registrar as menores temperaturas superficiais internas, sugerindo ser o mais indicado na atenuação do ganho de calor.
- Considerando-se os dois vidros azuis analisados, o CEB azul intenso é o de melhor desempenho térmico, com mais atenuação do ganho de calor.

→ Quanto aos vidros laminados analisados, o mais indicado no controle do ganho de calor é o laminado verde com PVB incolor, pois, além de ser o de maior absorvância, menor transmitância, menor fator solar e menor ganho de calor, foi o que registrou as maiores temperaturas superficiais internas.

*Como sugestões para futuros trabalhos, pode-se citar:

→ Fazer o mesmo estudo para o período de verão, comparando os resultados com os de inverno.

→ Simular a eficiência energética de edificações, em função dos vidros utilizados.

→ Dar continuidade à pesquisa, analisando-se outros tipos de vidros e películas de controle solar.

9. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Normalização em Conforto Ambiental, Projeto de norma nº.02:135.07-002 – **Desempenho térmico de edificações**– parte 1: Definições, símbolos e unidades, e – parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. ABNT, 1998.

ASHRAE **Fundamentals Handbook**, Chapter 27, 1997.

BANNISTER, P. **Greenhouse Rating Scheme Methodology** – SEDA. Canberra, Exergy Group Limited: 13, 1999.

BECCALI, M.; FERRARI, S. Energy saving and comfort in office building: performances of different combinations of window technologies and lighting control strategies. In: PLEA2003 – THE 20TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Santiago. **Proceedings...** Santiago, Chile, 9-12 de novembro de 2003.

BODART, M.; DE HERDE, A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. **Energy and buildings**, 34 , p. 421-429, 2002.

BRANDÃO, R. S. **Acesso ao sol e à luz natural: avaliação do impacto de novas edificações no desempenho térmico, luminoso e energético no seu entorno**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. **Decreto n. 4059** de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n. 10295 de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível: <mme.gov.br/site/legislation/detail.do?areald=101&legislationTypeId=0&channelId=39>. Acesso em 15 jan. 2005.

BRASIL. **Lei n. 10295** de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em : www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf. Acesso em: 15 jan. 2005.

CARAM, R. M. **Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura: Ênfase na Eficiência Energética**. 2002. 189 f. Texto (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CARAM, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações**. 1998. 166 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CARAM, R. M. **Vidros e o conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil**. 1996. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

CARMODY, J; SELKOWITZ, S.; ARASTEH, D.; HESCHONG, L. **Residential Windows. A Guide to New Technologies and Energy Performance**. W.W. Norton & Company, New York. London, 2000.

CEBRACE. Disponível em <http://www.cebrace.com.br>. Acesso em: 04 jan. 2005.

CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

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

COMPAGNO, A. **Intelligent Glass Façades. - Material Practice Design**. Birkhäuser Ed., Berlin, 1996.

CORNER, V. N. **A janela como elemento térmico na construção: considerações em clima tropical úmido, situação de verão**. 2001. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CROISSET, M. **L'Hygrothermique dans le Batiment. Confort thermique d'hiver et d'été Condensations**. Eyrolles Éditions, Paris, 1970.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. Wiley Interscience Publication, USA, 1980.

ETZION, Y.; ERELL, E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system. **Building and Environment**, 35 , p. 433-444, 2000.

FERNANDES, A. E.P. **A influência do vidro no consumo de energia em edificações**. In: Congresso Latino-americano de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, 1998, São Paulo.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Elsevier, 1981.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. Tradução do inglês: André Koch. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

GOMÉZ, L.A.; LAMBERTS, R. Simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios. In: III ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1995.

GONÇALVES, J. C. **A Sustentabilidade do Edifício Alto**. 2003. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GRANJA, A.D. **Transmissão de calor em regime periódico:efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. 2002. 132 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

GHISI, E., TINKER, J. A. – An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, 40, p. 51-61, 2005.

GUTIERREZ, G. C. R. **Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de Brise-Soleil Fixo**. 2004. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

HENRÍQUEZ GUERRERO, J.R. **Estudo numérico e experimental sobre vidros térmicos**. 1996. 147f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

HERNANDEZ NETO, A.; TRIBESS, A.; FIORELLI, F.A.S. Influência da envoltória no consumo de energia em edifício comercial com ocupação mista. In: V ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1999.

HERNANDEZ NETO, A.; TRIBESS, A.; VITTORINO, F.; CARAM, R.M. Avaliação da viabilidade econômica de soluções de envidraçamento. In: V ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1999.

INANICI, M. N.; DEMIRBILEK, F. Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey. **Building and Environment**, 35 , p. 41-52, 2000.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 3ª ed. Singapura: John Wiley and Sons, 1990.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC) - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, 2006.

JAIN, A. Optimizing the control strategies for switchable glazing for energy and daylight in an office building. In: PLEA2003 – THE 20TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Santiago. **Proceedings...** Santiago, Chile, 9-12 de novembro de 2003.

JORGE, V. C. C., MÁXIMO, A . A . M., M NETO, J. H. Análise de uma correlação para predição da economia de energia elétrica devido à iluminação artificial de edificações brasileiras quando se utiliza controladores para aproveitamento da luz natural. In: VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC) E IV CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES (COTEDI), 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2005.

KRARTI, M., ERICKSON, P. M., HILLMAN, T. C. – A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**, 40, p. 747-754, 2005.

LABAKI, L.C., CARAM, R.M., SICHIERI, E.P. Os vidros e o conforto ambiental. In: III ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1995.

LAM, J.C.; LI, D.H.W. An analysis of daylighting and solar heat for cooling-dominated office buildings. **Solar Energy**, 65 , p. 251-262, 1999.

MACEDO FILHO, A. Vidro, eficiência energética e conforto ambiental nas edificações. **Finestra Brasil**, nº 19, p. 121-125, 1999.

MARAGNO, G.V. Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2001.

MIYAZAKI, T., AKISAWA, A., KASHIWAGI, T. – Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows. **Renewable Energy** , 30, p.281-304, 2005.

NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO – NUTAU – 1998. Disponível em: www.usp.br/nutau Acesso em: 15 jan. 2005.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, v.5, n.1, p.39-54, Porto Alegre, jan/mar 2005.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. Uma ferramenta de diagnóstico do consumo de energia orientada para as primeiras fases do projeto arquitetônico em clima quente. In: VII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC) E III CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES (COTEDI), 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2003.

PEREIRA, F.L. Avaliação da influência termo-energética do tipo de vidro utilizado na envoltória de edificações. In: Eletrisul – Feira de Eletricidade e Eletroeletrônica – Fórum de Energia, 2003. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul. **Anais...** Eletrisul 2003 – Fórum de Energia, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2003.

PETRONE, M. Conservação e utilização racional de energia em edificações: um pacto de responsabilidade. In: II ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC), 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1993.

PROCEL. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/procel>. 2004. Acesso em 06 jan. 2005.

RAGAB, A. A. M.; Enhancing daylight utilization through façade design in high-rise buildings as an approach for energy saving architecture in hot climate zones. In: PLEA2003 – THE 20TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Santiago. **Proceedings...** Santiago, Chile, 9-12 de novembro de 2003.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª ed. Porto Alegre: DC Luzzato/UFRGS, 1986.

ROMERO, M. A.; GONÇALVES, J. C.; DILONARDO, L. F. P. A Evolução da Arquitetura e dos aspectos energéticos dos edifícios de escritórios nos últimos 30 anos na cidade de São Paulo. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e II ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1999.

SAFLEX. Disponível em <http://www.saflex.com.br>. Acesso em: 18 jan. 2005.

SAINT GOBAIN. Medindo e produzindo cor. Disponível em http://www.saint-gobain-vidros.com.br/vidro/frame_vidro2.htm. Acesso em: 14 fev. 2006.

SALEH, M. A., KASEB, S., EL-REFAIE, M. F. Glass-azimuth modification to reform direct solar heat gain. **Building and Environment**, 39, p. 653-659, 2004.

SANTA MARINA - Catálogo técnico. 2000.

SANTOS, J., SICHIERI, E., CARAM, R., LABAKI, L. Determinação dos valores do coeficiente de troca superficial externo (h_e) e interno (h_i) de materiais transparentes. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2001.

SANTOS, J.C.P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SCHOLZE, H. **Le Verre: Nature, Structure et Propriétés**. Institut du Verre, Paris, 1980.

TOLEDO, L. M. A.; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C.E. Influência de Características Arquitetônicas no Consumo de Energia Elétrica de Edifícios de Escritórios de Florianópolis. In: III ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1995.

TREBILCOCK, M.; BURDILES, R.; FUENTE-ALBA, C. Redesign of low cost housing under energy efficiency criteria. In: PLEA2003 – THE 20TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2003, Santiago. **Anais...** CD-ROM.

TRIBESS, A.; HERNANDEZ NETO, A.; VITORINO, F.; PEÇANHA, M. Aspectos de conservação de energia em ambientes condicionados. In: IV ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1997. p. 413-417.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. Tradução de Edson Monteiro. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

ANEXOS

ANEXO A

HISTÓRICO DA PESQUISA

- * Ano de 2003: orçamentos, solicitações, construção das células-teste e instalação da estação meteorológica.
- * Ano de 2004: colocação da tubulação (termopares), adequações, testes iniciais e medições preliminares.
- * Ano de 2005: calibração dos equipamentos e medições oficiais referentes aos vidros.



FIGURA 97 – Células-teste em construção (julho/2003)



FIGURA 98 – Vista das janelas (em construção – julho/2003)



FIGURA 99 – Caixa e tubulação de passagem dos termopares (agosto/2003)



FIGURA 100 – Células-teste (final de construção – fevereiro/2004)



FIGURA 101 – Janela com moldura e vidro instalados (abril/2004)



FIGURA 102 – Células-teste com vidros instalados



FIGURA 103 – Vista geral das células-teste

ANEXO B

Cálculo do painel equivalente

Fonte: GUTIERREZ, 2004

Cálculo de desempenho térmico dos componentes da célula-teste:

Na intenção de definir a espessura mínima equivalente para o painel de fechamento da abertura que não está em análise, é preciso calcular a resistência térmica e atraso térmico da parede de tijolos de barro maciço. O valor encontrado é a referência para o cálculo e definição da espessura e materiais que compõem o painel equivalente. É necessário que estes resistam a exposição às intempéries, e tenham acabamento em pintura branca, da mesma forma que a parede. Devido à disponibilidade de materiais e custos, o material selecionado foi o compensado de madeira de virola com placa de poliestireno expandido (isopor).

Para o referido cálculo, foi utilizada a metodologia do projeto de norma 02:135.07-002 – *Desempenho térmico de edificações – parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*.

Características da parede:

Composta de tijolos de barro maciços, assentados com argamassa comum de cimento, e pintada externa e internamente com tinta PVA acrílica na cor branco neve (Suvinil).

TABELA 28 – Propriedades térmicas de materiais

Material	Dimensões				λ (W/(m.K))	ρ (kg/m ³)	c (kJ/(kg.K))
	L (m)	C (m)	e (m)	A (m ²)			
Tijolo de barro maciço	0,22	0,045	0,10	0,0099	0,90	1600	0,92
Argamassa comum (cimento)	0,22	0,015	0,10	0,0042	1,15	2000	1,00
	0,015	0,06					

Fonte: Tabela B3 – Propriedades térmicas de materiais. Projeto de Norma 02:135.07-002 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Dezembro 1998, p. 13-15.

Resistências térmicas dos materiais: $R = e/\lambda$

- tijolo de barro maciço:

$$R_{tij} = 0,10 / 0,90 = 0,11 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- argamassa comum (cimento):

$$R_{arg} = 0,10 / 1,15 = 0,087 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica da parede (componente de seção heterogênea, camadas homogêneas)

$$R_t = \frac{A_{tij} + A_{arg}}{\frac{A_{tij}}{R_{tij}} + \frac{A_{arg}}{R_{arg}}} = \frac{0,0099 + 0,0042}{\frac{0,0099}{0,11} + \frac{0,0042}{0,087}}$$

$$R_t = 0,1114 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1114 + 0,04$$

$$R_T = 0,2814 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Transmitância térmica:

$$U = 1 / R_T = 1 / 0,2814$$

$$U = 3,55 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Capacidade térmica do material: $C_T = \Sigma e \cdot \rho \cdot c$

- tijolo de barro maciço:

$$C_{T_{\text{tij}}} = 0,10 \cdot 1600 \cdot 0,92 = 147,2 \text{ kJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- argamassa comum (cimento):

$$C_{T_{\text{arg}}} = 0,10 \cdot 2000 \cdot 1,00 = 200,0 \text{ kJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Capacidade térmica da parede (componente heterogêneo):

$$C_T = \frac{A_{\text{tij}} + A_{\text{arg}}}{\frac{A_{\text{tij}}}{C_{\text{tij}}} + \frac{A_{\text{arg}}}{C_{\text{arg}}}} = \frac{0,0099 + 0,0042}{\frac{0,0099}{147,2} + \frac{0,0042}{200}}$$

$$C_T = 174,60 \text{ kJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Atraso térmico:

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,114 \cdot 174,60}$$

$$\varphi = 3,21 \text{ horas}$$

ou seja, um atraso de 3 horas, 12 minutos e 36 segundos.

Fator de calor solar:

$$FS = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \cdot 3,55 \cdot 0,20$$

$$FS = 2,84 \%$$

Para a construção de um painel equivalente, foi necessário, primeiramente, definir os materiais a serem utilizados. Nessa etapa consideraram-se algumas características, como a resistência do material à exposição em condições reais, com incidência direta da radiação solar, da ação dos ventos e das chuvas. Além disso, foram avaliadas as disponibilidades do material no mercado, o custo, a facilidade de trabalho e manuseio. A montagem final utilizou um painel sanduíche, com madeira compensada (várias espessuras encontradas no mercado, por exemplo: 4, 6, 8, 10, 12, 15, e 20mm), e recheio de lã de vidro ou isopor, por possuírem um coeficiente de condutibilidade térmica muito próximos (ver tabela). A partir daí, o isopor foi o material eleito, pelo custo do material, a facilidade de trabalho e a disponibilidade de espessuras no mercado (5, 10, 15, 20, 25, 30 e 50mm).

TABELA 29 - Propriedades térmicas da madeira, poliestireno expandido e lã de vidro.

Material	Dimensões				λ (W/(m.K))	ρ (kg/m ³)	c (kJ/(kg.K))
	L (m)	C (m)	e (m)	A (m ²)			
Madeira compensada	1,04	0,84	?	0,8736	0,15	450-550	2,30
Poliestireno expandido (isopor)	1,04	0,84	?	0,8736	0,040	15-35	1,42
Lã de vidro	1,04	0,84	?	0,8736	0,045	10-100	0,70

(Fonte: Tabela B3 – Propriedades térmicas de materiais. Projeto de Norma 02:135.07-002 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Dezembro 1998, pg. 13-15.)

Os valores desejados de resistência térmica e atraso térmico para o painel são:

$$R_t = 0,1114 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$$

$$\varphi = 3,21 \text{ horas}$$

Considerando somente o uso da madeira,

$$R_{\text{mad}} = R_{\text{par}} = 0,1114 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$R = e/\lambda$$

$$0,114 = e / 0,15$$

$$e = 0,017\text{m}$$

(como não há chapa de compensado nessa espessura, adotou-se a medida de 0,02m).

Resistências térmicas dos materiais: $R = e/\lambda$

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,020 / 0,15 = 0,1333 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Capacidade térmica:

$$C_T = (0,02 \cdot 500 \cdot 2,30) = 23 \text{ kJ / (m}^2\text{.K)}$$

Atraso térmico:

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,1333 \cdot 23}$$

$$\varphi = 1,27 \text{ horas}$$

Ou seja, apesar da madeira compensada de 20mm oferecer uma resistência térmica próxima do valor desejado, seu atraso térmico ($\varphi = 1,27$ horas) é muito defasado em relação ao da parede de tijolos ($\varphi = 3,21$ horas).

Os cálculos foram reiniciados, considerando-se um elemento composto de madeira e isopor, da seguinte forma: uma chapa de 10mm de madeira e, a partir daí, verifica-se a espessura de isopor necessário para satisfazer as condições desejadas:

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,010 / 0,15 = 0,0667 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- poliestireno expandido (isopor):

$$R_{\text{iso}} = e / 0,04 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica do painel (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

Espessura da placa de isopor:

$$R_t = R_{\text{mad}} + R_{\text{iso}}$$

$$R_t = 0,114 = 0,0667 + \frac{e}{0,04}$$

$$0,114 - 0,0667 = \frac{e}{0,04}$$

$$e = 0,0473 \cdot 0,04$$

$$\text{Portanto, } e = 0,0018 \text{ m}$$

Como não há placa de poliestireno expandido nessa espessura, considerou-se uma espessura de 5mm:

Resistências térmicas dos materiais: $R = e/\lambda$

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,010 / 0,15 = 0,0667 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- poliestireno expandido (isopor):

$$R_{iso} = 0,005 / 0,04 = 0,125 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica do painel:

$$R_t = R_{mad} + R_{iso} = 0,0667 + 0,125$$

$$R_t = 0,1917 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Capacidade térmica do painel: $C_T = \sum e \cdot \rho \cdot c$

$$C_T = (0,01 \cdot 500 \cdot 2,30) + (0,005 \cdot 25 \cdot 1,42)$$

$$C_T = 11,5 + 0,18 = 11,68 \text{ kJ / (m}^2\text{.K)}$$

Atraso térmico (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

onde,

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_0 = C_T - C_{Text}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{((\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext})}{R_t} \cdot (R_{ext} - \frac{(R_t - R_{ext})}{10})$$

Então:

$$B_0 = 11,68 - 11,5 = 0,18$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{0,18}{0,1917} = 0,21$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{(0,15 \cdot 500 \cdot 2,30)}{0,1917} \cdot (0,0667 - \frac{(0,1917 - 0,0667)}{10})$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 899,84 \cdot 0,0542 = 9,998$$

Portanto,

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,1917 \cdot \sqrt{0,21 + 9,998}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,1917 \cdot 3,195 = 0,85 \text{ horas}$$

Nesta tentativa, o atraso térmico ficou muito abaixo dos valores da parede de tijolos. Portanto, os cálculos devem ser reiniciados, conforme segue.

Considerando um elemento composto de madeira e isopor, da seguinte forma: duas chapas de 10mm de madeira e uma placa de isopor de 25mm:

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,010 / 0,15 = 0,0667 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- poliestireno expandido (isopor):

$$R_{\text{iso}} = e / 0,04 = 0,025 / 0,04 = 0,625 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica do painel (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

$$R_t = R_{\text{mad}} + R_{\text{iso}} = (2 \times 0,0667) + 0,625$$

$$R_t = 0,7584 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Capacidade térmica do painel: $C_T = \sum e \cdot \rho \cdot c$

$$C_T = (0,02 \cdot 500 \cdot 2,30) + (0,025 \cdot 25 \cdot 1,42)$$

$$C_T = 23,0 + 0,8875 = 23,8875 \text{ kJ / (m}^2\text{.K)}$$

Atraso térmico (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

onde,

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{((\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}})}{R_t} \cdot (R_{\text{ext}} - \frac{(R_t - R_{\text{ext}})}{10})$$

$$B_0 = 23,8875 - 11,5 = 12,3875$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{13,275}{0,7584} = 3,6914$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{(0,15 \cdot 500 \cdot 2,30)}{0,7584} \cdot (0,0667 - \frac{(0,7584 - 0,0667)}{10})$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 227,45 \cdot (-0,00247) = -1,15$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,7584 \cdot \sqrt{3,6914 - 1,15}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,7584 \cdot 1,59 = 1,67 \text{ horas}$$

Embora a resistência térmica do painel tenha sido maior, o atraso térmico ficou ainda abaixo do valor da parede de tijolos.

ANEXO C

Cálculo do horário solar

Fonte: GUTIERREZ, 2004

Para determinar o horário solar verdadeiro para a longitude de Campinas e para os dias monitorados nos ensaios, é necessário calcular a longitude de Campinas traduzida em horas (λ), e a equação do tempo (ET).

A equação do tempo expressa a diferença⁹ entre o tempo solar local e o tempo solar médio (rotação uniforme da Terra em torno do sol), com variação máxima de 16 minutos (BITTENCOURT, 1996).

Cálculo da longitude de Campinas 47° 03' (ou - 47,05) traduzida em horas (λ), sendo cada 15° = 1 hora, e 1° = 4 minutos:

$$- 47,05 = -(45/15 + 2,05 \cdot 4)$$

$$\lambda = -3 \text{ horas e } 08,2 \text{ minutos}$$

O tempo universal (TU) é calculado pela expressão:

$$TU = TSV + ET - \lambda$$

⁹ resultado da irregularidade da rotação terrestre, sobretudo as variações de velocidade angular em torno do sol.

onde:

TU é a hora universal (tempo universal);

TSV é a hora local (tempo solar verdadeiro);

λ = é a longitude traduzida em horas;

ET é a equação do tempo, com $ET \leq 16$ minutos. Dados obtidos sob consulta ao gráfico(fig.) ou calculado (fig.).

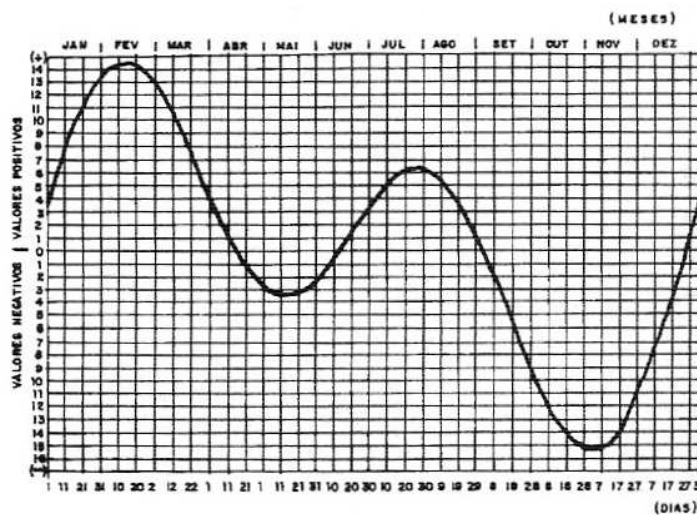


FIGURA 104 – Valores da equação do tempo, em minutos. (Fonte: JAN, 1983 apud BITTENCOURT, 1996)

Calculadora Solar

Escolha a sua cidade Entre com a Lat/Long ▼	-	Graus	min	s	Hora local	
	Latitude	-22	54	0	Hora local = UTC	Horário de verão?
	Longitude	-47	3	0	-3	Não ▼

Mês	Dia	Ano (ex: 2003)
Janeiro ▼	13	2004

Calcular

Equação do tempo (minutos)	Declinação solar (graus)	Nascer do Sol	Meio-dia real	Pôr do Sol	Hora local
-8.3	-21.63	5:18AM	12:00:14	6:43PM	Local
-		2:18	9:00:14	15:43	UTC

FIGURA 105 – Calculadora Solar (http://darwin.futuro.usp/site/sky/atividades/c_calculadora).

Na TAB. 28 são apresentados os valores da equação do tempo para a cidade de Campinas (latitude 22° 54', longitude 47° 03'), para os períodos monitorados no ano de 2004, calculados com auxílio do programa “calculadora solar”, disponível no site http://darwin.futuro.usp/site/sky/atividades/c_calculadora.

TABELA 30 – Valores da equação do tempo para os dias monitorados, meio-dia local e a diferença em minutos entre o horário legal e o horário solar verdadeiro.

Época	Fachada	data	minutos ET	meio-dia local	diferença
Verão	Norte	09/01	-6,68	11:58:38	- 01min, 22 seg
		10/01	-7,10	11:59:02	- 58 seg
		11/01	-7,51	11:59:27	- 33 seg
		12/01	-7,91	11:59:51	- 9 seg
		13/01	-8,30	12:00:14	+ 14 seg
		14/01	-8,68	12:00:36	+ 36 seg
		15/01	-9,05	12:00:58	+ 58 seg
		16/01	-9,41	12:01:19	+ 01 min, 19 seg
		17/01	-9,75	12:01:19	+ 01 min, 19 seg
		18/01	-10,09	12:02:00	+ 02 min
		19/01	-10,41	12:02:19	+ 02 min, 19 seg
	Oeste	09/02	-14,22	12:06:01	+ 06 min, 01 seg
		10/02	-14,25	12:06:03	+ 06 min, 03 seg
		11/02	-14,27	12:06:04	+ 06 min, 04 seg
Outono	Oeste	17/03	-8,38	12:00:04	+ 04 seg
		18/03	-8,09	11:59:46	- 14 seg
		19/03	-7,80	11:59:29	- 31 seg
		20/03	-7,50	11:59:11	- 49 seg
		21/03	-7,21	11:58:35	- 01 min, 25 seg
		22/03	-6,91	11:58:35	- 01 min, 35 seg
		23/03	-6,61	11:58:17	- 01 min, 43 seg
		24/03	-6,31	11:57:59	- 02 min, 01 seg
		25/06	-6,00	11:57:41	- 02 min, 19 seg
		26/03	-5,70	11:57:23	- 02 min, 37 seg

	Norte	27/03	-5,40	11:57:04	- 02 min, 56 seg
		28/03	-5,10	11:56:46	- 03 min, 14 seg
		29/03	-4,79	11:56:28	- 03 min, 32 seg
		30/03	-4,49	11:56:10	- 03 min, 50 seg
		31/03	-4,19	11:55:52	- 04 min, 08 seg
		01/04	-3,90	11:55:34	- 04 min, 26 seg
		02/04	-3,60	11:55:17	- 04 min, 43 seg
		03/04	-3,31	11:54:59	- 05 min, 01 seg
		04/04	-3,01	11:54:42	- 05 min, 18 seg
		05/04	-2,73	11:54:24	- 05 min, 36 seg
Inverno	Oeste	25/06	-2,60	11:54:28	- 05 min, 32 seg
		26/06	-2,81	11:54:41	- 05 min, 19 seg
		27/06	-3,02	11:54:53	- 05 min, 07 seg
		28/06	-3,23	11:55:05	- 04 min, 55 seg
		29/06	-3,43	11:55:17	- 04 min, 43 seg
		30/06	-3,63	11:55:29	- 04 min, 31 seg
		01/07	-3,82	11:55:41	- 04 min, 19 seg
	Norte	02/07	-4,01	11:55:52	- 04 min, 08 seg
		03/07	-4,20	11:56:03	- 03 min, 57 seg
		04/07	-4,38	11:56:14	- 03 min, 46 seg
		05/07	-4,56	11:56:24	- 03 min, 36 seg
		06/07	-4,73	11:56:35	- 03 min, 25 seg
		07/07	-4,89	11:56:44	- 03 min, 16 seg
		08/07	-5,05	11:56:54	- 03 min, 06 seg

As maiores diferenças de horário observadas para os períodos acima foram para o dia 11/02 com + 06 minutos e 04 segundos (12:06:04 horas), e para o dia 05/04 com – 05 minutos e 36 segundos (11:54:24 horas). Dessa forma, constatou-se que a variação é mínima, não alterando significativamente os registros realizados no tempo legal.

ANEXO D

Gráficos de radiação solar

Neste anexo são apresentados os gráficos de radiação solar, gerados pelo programa Radisol (GRANJA, 2002), divididos em:

- Radiação solar horizontal total, separada em direta e difusa, para cada período analisado.
- Radiação solar vertical total, com relação às orientações em estudo (Norte e Oeste), para cada período analisado.

Para todos os gráficos, adotou-se a legenda:

$I_{t,h}$: intensidade de radiação solar total horária na horizontal para o tempo solar considerado

$I_{b,h}$: intensidade de radiação solar direta horária na horizontal para o tempo solar considerado

$I_{d,h}$: intensidade de radiação solar difusa horária na horizontal para o tempo solar considerado

$I_{t,v,N}$: intensidade de radiação solar total horária na vertical para o tempo solar considerado – fachada Norte

$I_{t,v,O}$: intensidade de radiação solar total horária na vertical para o tempo solar considerado – fachada Oeste

Dessa forma, as FIG. de 106 a 115 ilustram o comportamento da radiação solar, para cada família de vidros.

FAMÍLIA 1: 10 a 27 de junho de 2005

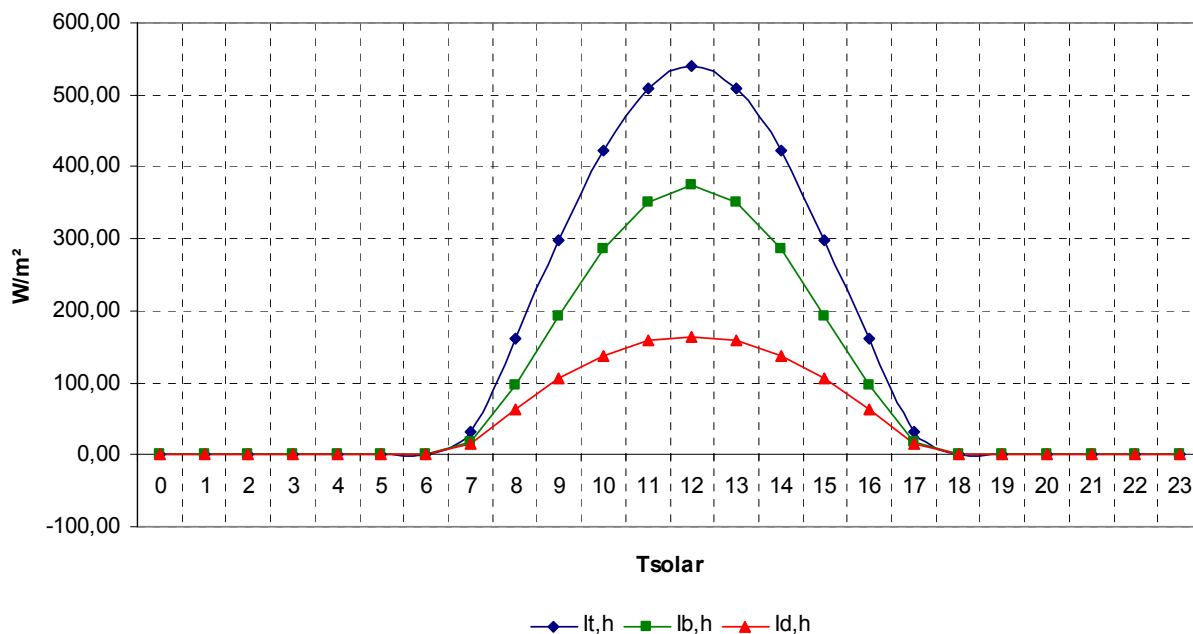


FIGURA 106 – Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 1

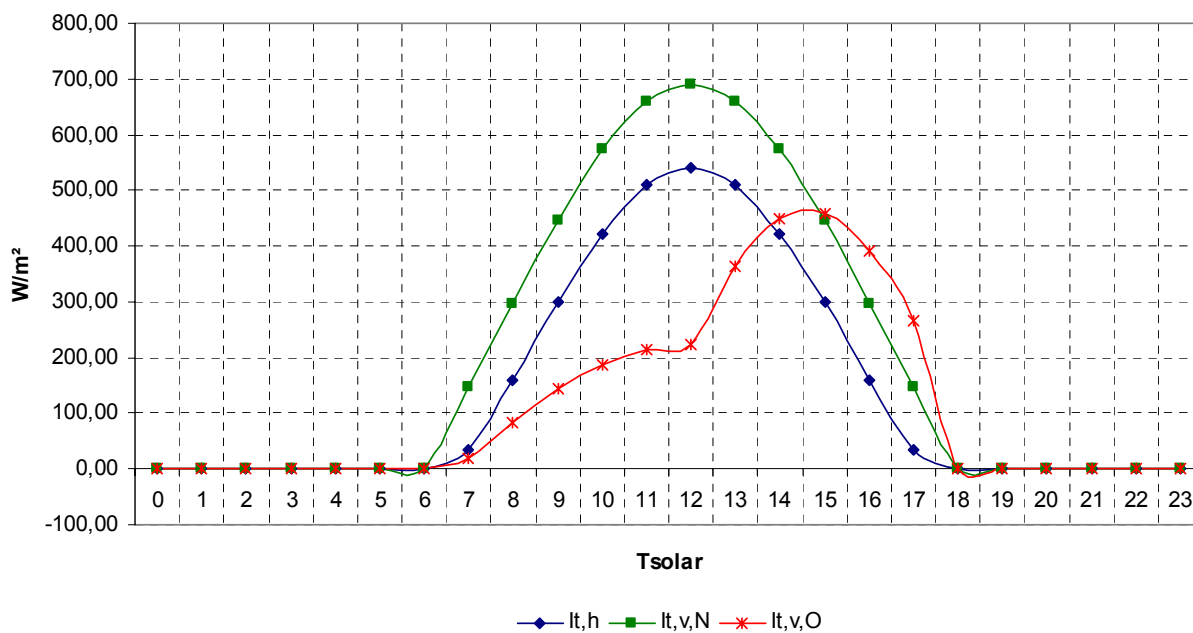


FIGURA 107 – Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 1

FAMÍLIA 2: 29 de junho a 11 de julho de 2005

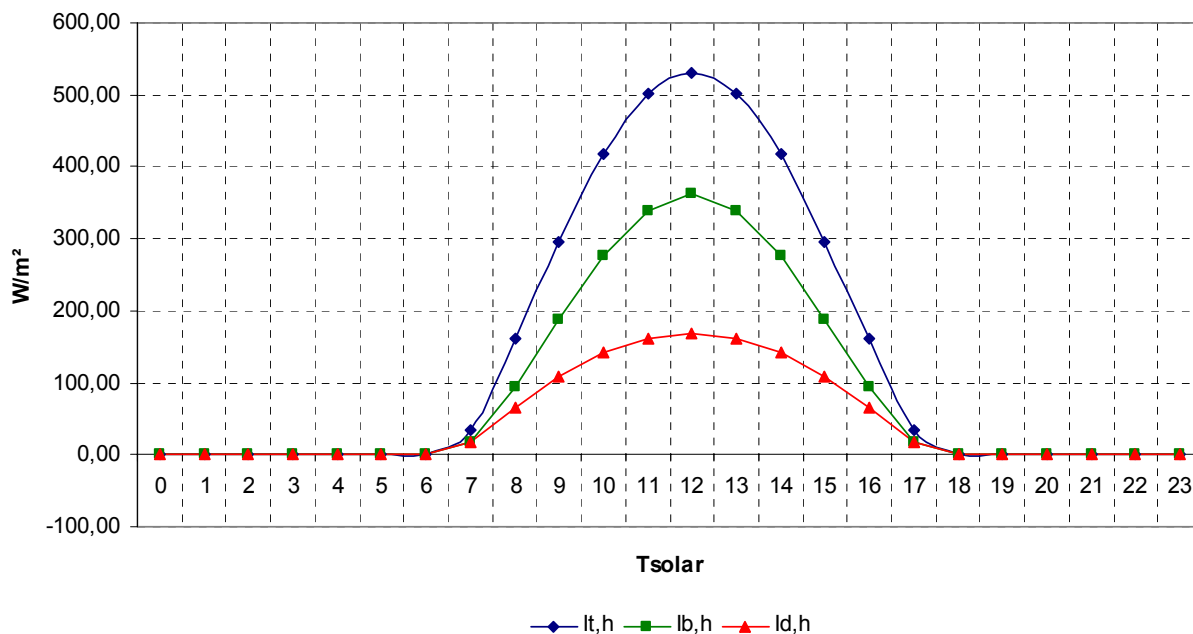


FIGURA 108 – Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 2

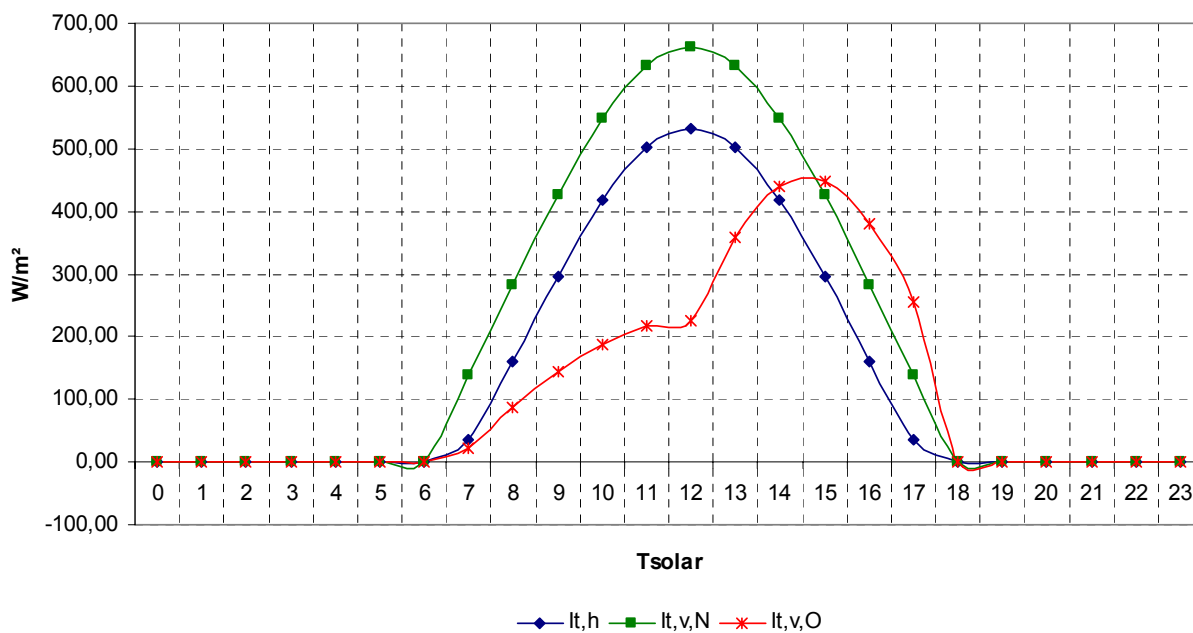


FIGURA 109 - Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 2

FAMÍLIA 3: 13 a 24 de julho de 2005

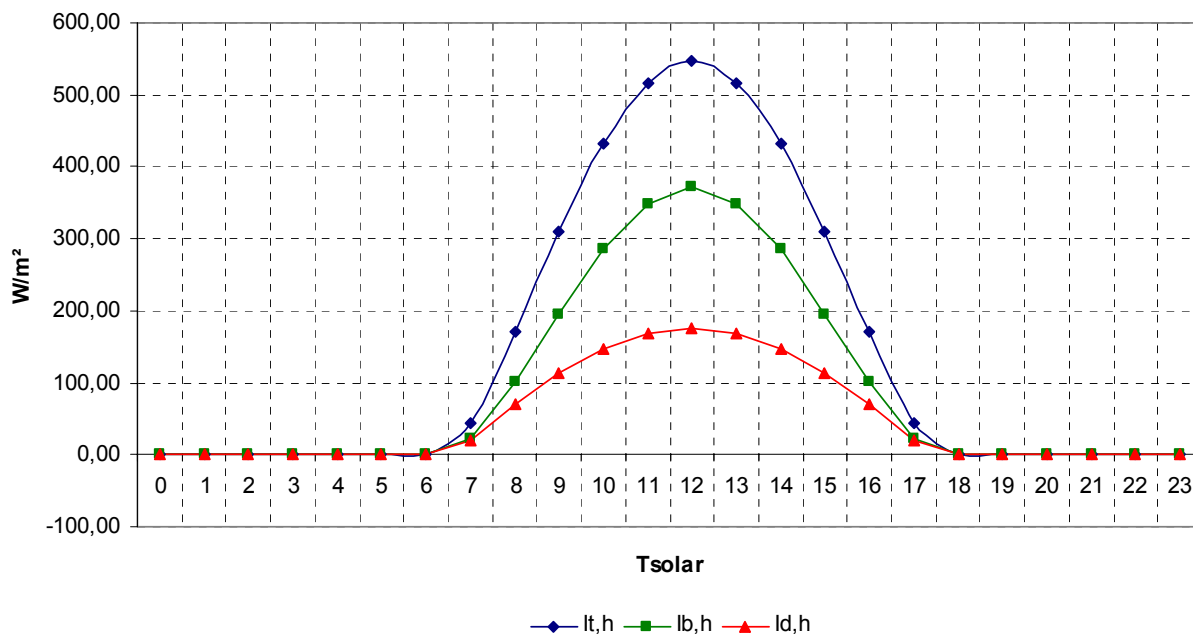


FIGURA 110 – Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 3

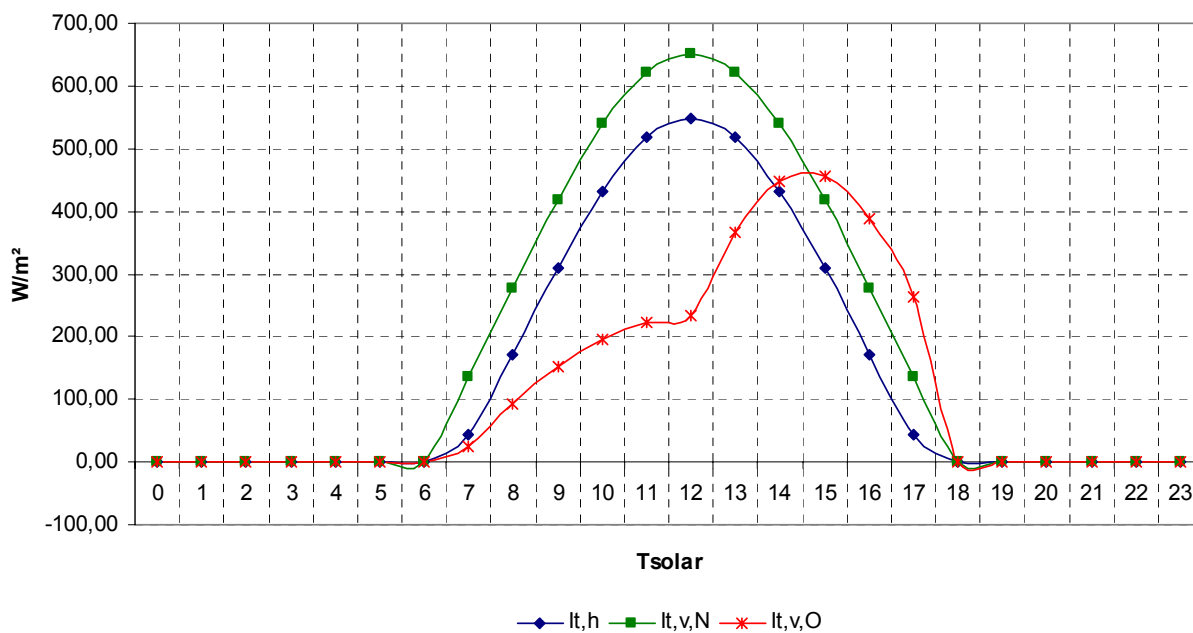


FIGURA 111 - Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 3

FAMÍLIA 4: 26 de julho a 07 de agosto de 2005

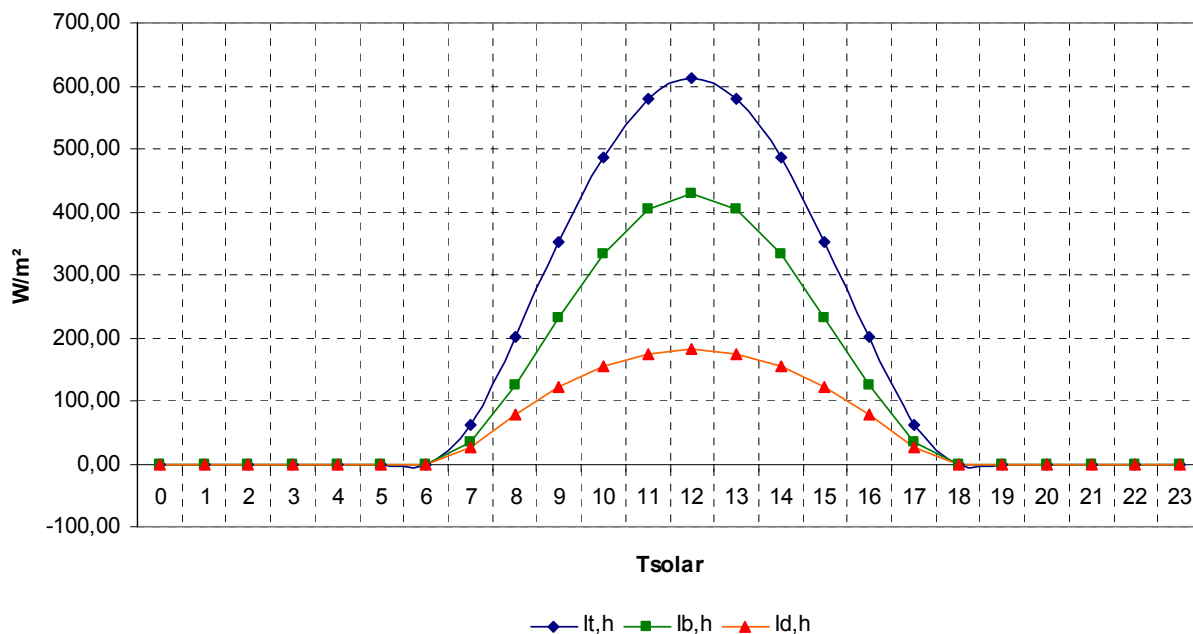


FIGURA 112 – Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal – família 4

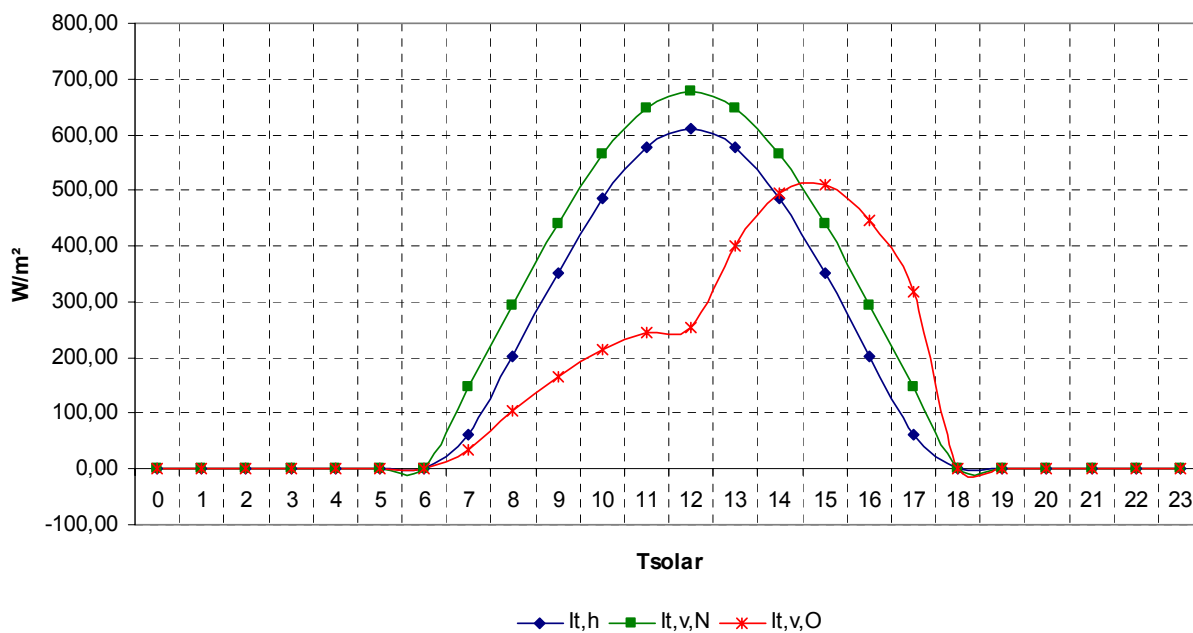


FIGURA 113 - Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 4

FAMÍLIA 5: 09 a 21 de agosto de 2005

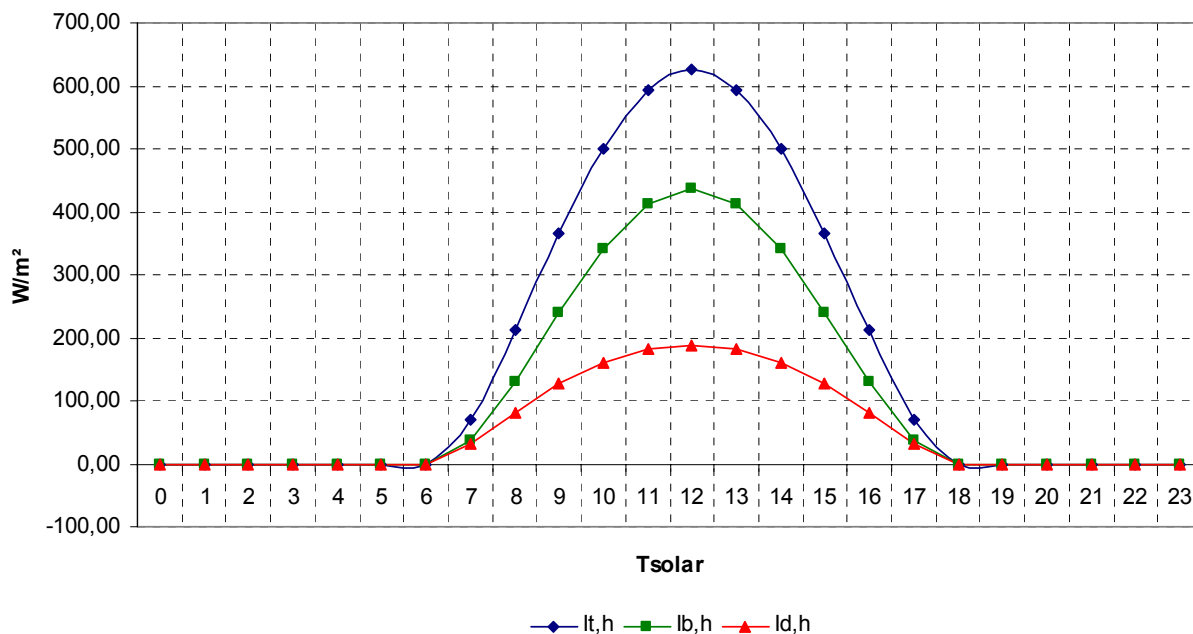


FIGURA 114 – Radiação solar horária total, direta e difusa na horizontal - família 5

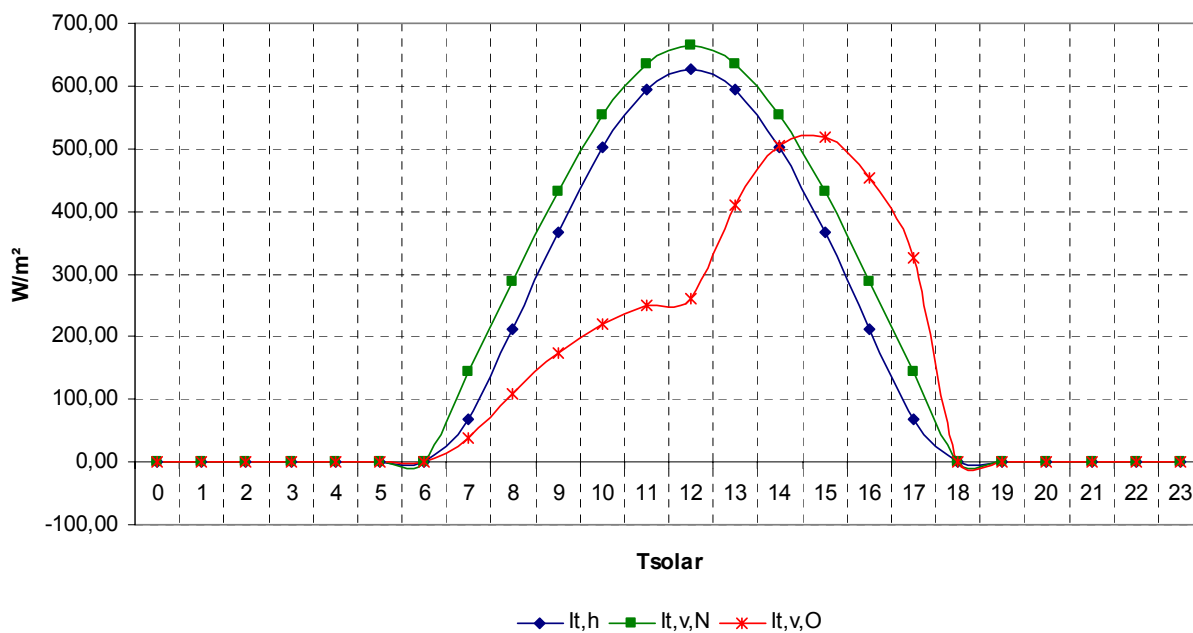


FIGURA 115 - Radiação solar horária total na horizontal, vertical face norte e vertical face oeste – família 5

ANEXO E

Neste anexo são apresentadas as tabelas referentes às médias de todos os parâmetros analisados, para cada período de medição.

FAMÍLIA 1 - NORTE													
HORA	Temp. ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Lam. pvb vd	Prata antelio	Incolor	Verde antelio	Lam. pvb inc	Verde plano	Lam. pvb vd	Prata antelio	Incolor	Verde antelio	Lam. pvb inc
1	15,57	15,67	15,64	15,62	15,59	15,63	15,54	18,06	18,17	18,14	18,34	17,94	18,11
2	14,95	15,21	15,18	15,20	15,18	15,21	15,09	17,62	17,71	17,68	17,88	17,50	17,65
3	14,56	14,79	14,73	14,77	14,74	14,79	14,67	17,22	17,29	17,28	17,46	17,10	17,24
4	14,29	14,52	14,41	14,50	14,47	14,51	14,34	16,78	16,87	16,82	17,03	16,69	16,81
5	13,98	14,17	14,09	14,17	14,46	14,20	14,03	16,45	16,52	16,49	16,68	16,36	16,47
6	13,83	14,03	13,91	14,01	14,02	14,04	13,86	16,10	16,18	16,13	16,33	16,02	16,12
7	13,80	13,88	13,75	13,86	13,84	13,87	13,71	15,79	15,86	15,82	16,02	15,71	15,81
8	14,30	15,42	15,41	14,84	15,08	15,51	16,01	15,71	15,85	15,69	16,01	15,58	15,71
9	16,13	21,83	20,94	18,69	18,68	21,89	23,03	16,29	16,43	16,27	16,69	15,94	16,19
10	18,25	28,29	26,40	22,39	22,38	27,91	29,90	17,28	17,35	17,15	17,68	16,63	16,96
11	20,46	32,73	31,07	25,54	25,67	32,76	35,61	18,50	18,69	18,41	19,07	17,84	18,25
12	21,47	33,61	32,82	26,71	26,92	33,99	37,45	20,00	20,10	19,71	20,35	19,18	19,66
13	21,79	33,46	32,91	27,06	27,25	33,71	37,13	21,00	21,19	20,89	21,37	20,28	20,84
14	22,46	35,63	34,85	28,37	28,69	35,74	39,43	21,86	22,04	21,78	22,24	21,41	21,95
15	22,87	35,96	35,82	28,76	29,10	36,44	40,61	22,80	22,84	22,73	23,13	22,00	22,65
16	22,82	33,46	33,40	27,67	27,75	34,03	37,34	23,40	23,44	23,56	23,77	22,21	23,31
17	22,17	29,41	29,50	25,41	25,22	29,64	32,37	23,48	23,45	23,65	23,74	22,40	23,42
18	20,23	21,56	22,44	21,00	20,63	22,29	23,31	22,77	22,81	22,92	22,97	22,09	22,87
19	18,69	19,09	19,39	19,12	19,04	19,14	19,31	21,71	21,88	21,90	22,06	21,28	21,88
20	18,00	18,19	18,25	18,15	18,12	18,11	18,19	20,65	20,87	20,84	21,06	20,40	20,85
21	17,49	17,62	17,64	17,56	17,48	17,55	17,55	19,87	20,06	20,01	20,26	19,66	20,05
22	16,58	16,92	16,98	16,89	16,83	16,90	16,91	19,27	19,44	19,41	19,63	19,12	19,39
23	16,03	16,37	16,39	16,34	16,29	16,35	16,31	18,73	18,88	18,85	19,06	18,59	18,81
24	15,82	15,85	15,79	15,80	15,75	15,80	15,72	18,19	18,32	18,27	18,51	18,09	18,24

FAMÍLIA 1 - OESTE													
HORA	Temp. ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Lam. pvb vd	Prata antelio	Incolor	Verde antelio	Lam. pvb inc	Verde plano	Lam. pvb vd	Prata antelio	Incolor	Verde antelio	Lam. pvb inc
1	17,62	16,59	16,79	16,60	16,84	16,70	16,85	19,73	19,84	19,80	20,05	19,55	19,97
2	16,26	16,10	16,23	16,07	16,36	16,15	16,30	19,10	19,23	19,18	19,46	19,00	19,37
3	15,80	15,62	15,78	15,63	15,87	15,72	15,86	18,65	18,73	18,69	18,93	18,52	18,88
4	15,15	15,10	15,26	15,14	15,39	15,26	15,34	18,16	18,23	18,19	18,41	18,03	18,37
5	14,87	14,66	14,75	14,65	14,95	14,77	14,85	17,63	17,73	17,66	17,89	17,54	17,85
6	14,51	14,23	14,31	14,21	14,49	14,32	14,42	17,19	17,26	17,21	17,43	17,09	17,39
7	14,45	13,90	13,97	13,89	14,18	14,00	14,09	16,81	16,87	16,81	17,04	16,69	17,00
8	15,34	14,94	14,49	14,25	14,72	14,37	14,66	16,54	16,69	16,44	16,80	16,39	16,62
9	18,89	18,04	17,31	16,48	16,94	16,87	17,31	16,67	17,00	16,63	17,08	16,54	16,78
10	21,99	21,00	19,98	18,89	19,67	19,42	20,14	17,29	17,74	17,11	17,75	17,06	17,21
11	24,24	23,92	23,05	21,85	22,63	22,76	23,60	18,98	19,34	18,82	19,36	18,80	18,98
12	25,63	26,07	25,38	24,05	24,77	25,42	26,25	20,68	21,02	20,59	20,01	20,46	20,78
13	26,31	27,74	27,06	25,61	26,31	27,32	28,06	22,07	22,39	22,03	22,37	21,71	22,27
14	27,11	33,64	31,98	29,38	30,41	32,85	33,70	23,44	23,67	23,46	23,79	22,72	23,62
15	27,57	40,19	38,02	33,12	34,70	39,34	41,23	25,18	25,34	25,31	25,79	24,04	25,30
16	27,64	43,32	41,02	34,67	36,45	42,78	45,45	26,79	26,92	27,13	27,60	25,37	26,87
17	26,69	39,21	38,05	32,04	33,27	39,58	42,25	27,55	27,76	28,05	28,05	26,04	27,48
18	23,48	26,44	27,69	25,00	24,97	28,52	30,60	26,58	26,63	26,81	26,83	25,43	26,72
19	21,31	21,37	22,25	21,47	21,73	21,70	22,45	24,98	25,20	25,21	25,47	24,23	25,25
20	20,02	20,14	20,65	20,20	20,52	20,30	20,75	23,55	23,82	23,79	24,14	23,06	23,91
21	19,42	19,31	19,59	19,34	19,65	19,40	19,74	22,32	22,65	22,58	22,95	22,12	22,81
22	18,68	18,57	18,86	18,57	18,82	18,67	18,96	21,55	21,79	21,72	22,11	21,36	21,98
23	17,88	17,80	18,06	17,79	17,97	17,89	18,14	20,84	21,08	20,99	21,36	20,71	21,24
24	17,01	17,17	17,40	17,17	17,42	17,27	17,47	20,35	20,48	20,41	20,72	20,15	20,61

FAMÍLIA 2 - NORTE													
HORA	Temp.ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Verde Antelio	Cinza plano	Incolor	Bronze plano	Mini boreal	Verde plano	Verde Antelio	Cinza plano	Incolor	Bronze plano	Mini boreal
1	17,1	17,6	17,6	17,6	17,6	17,7	20,7	20,1	20,3	20,3	20,5	20,1	20,6
2	16,6	17,0	17,0	17,0	17,0	17,1	20,0	19,5	19,7	19,6	19,9	19,5	19,9
3	16,3	16,6	16,5	16,5	16,6	16,6	19,5	18,9	19,1	19,1	19,3	18,9	19,3
4	16,0	16,2	16,2	16,3	16,3	16,3	18,9	18,5	18,6	18,6	18,8	18,5	18,8
5	15,8	15,9	15,8	16,0	16,0	16,0	18,5	18,0	18,2	18,2	18,4	18,1	18,4
6	15,6	15,6	15,5	15,6	15,7	15,7	18,2	17,8	17,9	17,9	18,1	17,8	18,1
7	15,3	15,3	15,2	15,3	15,4	15,4	17,9	17,4	17,6	17,5	17,8	17,5	17,8
8	15,4	16,1	16,7	16,4	16,0	16,4	17,7	17,2	17,4	17,3	17,6	17,3	17,6
9	16,7	21,0	22,7	22,0	19,3	21,8	18,4	17,6	17,8	17,5	18,1	17,5	17,9
10	19,6	30,0	30,9	31,3	24,2	30,1	19,9	18,6	18,8	18,5	19,2	18,4	18,8
11	21,8	37,6	37,5	38,2	28,4	36,0	22,1	20,3	20,2	19,8	20,6	19,7	20,5
12	23,8	40,9	41,1	41,8	31,4	39,2	24,4	22,2	21,8	21,5	22,2	21,4	22,8
13	25,3	43,4	44,0	44,5	33,7	41,9	26,2	24,1	23,5	23,0	23,7	23,2	24,8
14	26,5	44,8	45,8	45,9	35,0	43,3	27,9	26,4	24,9	24,5	25,0	25,1	26,4
15	27,2	44,1	45,5	45,4	35,1	43,0	28,8	27,1	26,1	25,8	26,3	25,7	27,3
16	27,5	41,9	43,3	43,2	34,1	41,1	29,1	27,0	27,1	27,0	27,4	26,1	27,8
17	27,0	37,3	38,2	38,1	31,4	36,4	28,9	27,5	27,4	27,5	27,8	26,5	28,1
18	25,7	31,9	32,4	32,5	28,1	31,2	28,3	27,3	27,2	27,4	27,5	26,4	27,8
19	23,2	24,7	24,9	25,1	23,8	25,1	27,0	26,1	26,2	26,3	26,5	25,5	26,7
20	21,5	21,9	22,1	21,9	21,9	22,1	25,6	24,7	25,0	25,0	25,3	24,4	25,5
21	20,4	20,7	20,8	20,7	20,7	20,9	24,4	23,4	23,8	23,7	24,1	23,3	24,2
22	19,9	20,0	19,9	19,9	19,9	20,1	23,4	22,4	22,8	22,6	23,0	22,4	23,1
23	19,2	19,3	19,2	19,2	19,1	19,3	22,6	21,7	22,0	21,9	22,3	21,7	22,4
24	18,3	18,6	18,5	18,5	18,4	18,6	21,9	21,2	21,4	21,4	21,7	21,2	21,8

FAMÍLIA 2 - OESTE													
HORA	Temp. ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Verde Antelio	Cinza plano	Incolor	Bronze plano	Mini boreal	Verde plano	Verde Antelio	Cinza plano	Incolor	Bronze plano	Mini boreal
1	13,9	13,5	13,9	13,7	14,0	14,1	16,0	15,8	15,9	15,9	16,1	15,9	15,9
2	13,6	13,1	13,5	13,3	13,6	13,7	15,6	15,4	15,5	15,4	15,7	15,5	15,4
3	13,4	12,8	13,2	12,9	13,3	13,3	15,3	15,0	15,1	15,1	15,3	15,1	15,1
4	13,3	12,5	12,9	12,7	13,1	13,1	14,9	14,7	14,8	14,8	15,0	14,8	14,8
5	12,9	12,2	12,7	12,4	12,8	12,8	14,6	14,4	14,5	14,5	14,7	14,5	14,5
6	13,0	12,2	12,6	12,3	12,7	12,7	14,3	14,1	14,2	14,1	14,3	14,2	14,1
7	12,8	12,1	12,4	12,2	12,6	12,6	14,1	13,9	14,0	14,0	14,1	14,0	14,0
8	13,2	12,9	13,0	13,0	12,9	13,0	14,1	13,9	14,0	13,8	14,1	13,9	13,9
9	14,6	15,2	14,9	15,2	14,3	14,6	14,5	14,1	14,4	14,1	14,5	14,2	14,3
10	16,2	17,7	16,9	17,5	16,0	16,4	15,2	14,8	15,1	14,7	15,2	14,8	15,0
11	17,8	20,0	19,0	19,7	17,7	18,4	16,4	15,8	16,1	15,7	16,2	15,7	16,1
12	18,9	22,1	20,9	21,9	19,4	20,4	17,6	16,9	17,1	16,9	17,3	16,8	17,3
13	19,9	23,7	22,5	23,4	20,8	22,0	18,7	17,9	18,0	17,9	18,4	17,8	18,4
14	20,0	26,3	24,7	26,1	22,4	24,2	19,6	18,8	18,8	18,8	19,3	18,6	19,2
15	20,2	29,5	26,9	29,4	23,6	26,3	20,7	19,8	19,8	19,8	20,4	19,5	20,1
16	20,3	32,4	29,0	32,2	24,5	28,1	22,0	20,9	20,7	20,8	21,6	20,5	21,1
17	19,5	29,8	27,3	29,7	23,3	26,4	22,7	21,3	21,3	21,4	22,0	21,0	21,5
18	18,0	21,6	21,2	21,6	19,8	21,0	21,5	20,7	20,7	20,9	21,1	20,4	20,8
19	16,9	17,0	17,7	17,3	17,5	17,7	19,9	19,5	19,6	19,7	19,9	19,4	19,6
20	16,3	16,2	16,8	16,5	16,8	16,9	18,9	18,5	18,7	18,7	19,0	18,5	18,7
21	15,7	15,6	16,1	15,9	16,1	16,2	18,2	17,8	18,0	18,1	18,3	17,9	18,0
22	15,3	15,1	15,6	15,3	15,6	15,7	17,6	17,2	17,4	17,4	17,6	17,3	17,4
23	14,8	14,6	15,0	14,8	15,1	15,2	17,1	16,7	16,9	16,9	17,1	16,8	16,8
24	14,3	14,0	14,5	14,2	14,5	14,6	16,6	16,3	16,4	16,4	16,6	16,4	16,4

FAMÍLIA 3 - NORTE													
HORA	Temp. ar	Temp superficial do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Verde Antelio	Prata antelio	Incolor	Bronze antelio	Reflectafloat	Verde plano	Verde Antelio	Prata antelio	Incolor	Bronze antelio	Reflectafloat
1	16,2	16,3	16,3	16,3	16,2	16,2	16,1	18,1	18,3	18,3	18,5	18,1	18,3
2	15,7	15,9	15,8	15,9	15,8	15,8	15,7	17,7	17,9	18,0	18,1	17,8	17,9
3	15,3	15,4	15,4	15,4	15,3	15,4	15,3	17,5	17,6	17,6	17,8	17,5	17,6
4	14,9	15,0	14,9	15,0	14,9	15,0	14,8	17,1	17,2	17,2	17,4	17,1	17,2
5	14,5	14,6	14,5	14,6	14,5	14,5	14,4	16,8	16,9	16,9	17,1	16,8	16,8
6	14,3	14,3	14,2	14,3	14,2	14,3	14,1	16,4	16,5	16,5	16,7	16,4	16,5
7	14,1	14,1	14,0	14,1	14,0	14,1	13,9	16,1	16,2	16,2	16,4	16,1	16,2
8	14,7	16,3	17,3	15,3	15,8	16,4	15,9	16,1	16,2	16,0	16,4	16,0	16,1
9	16,8	23,5	25,1	20,4	20,4	23,8	20,9	16,7	16,9	16,6	17,3	16,5	16,7
10	19,2	29,5	30,2	24,0	23,8	28,9	24,6	17,9	18,0	17,5	18,5	17,3	17,5
11	21,3	33,8	34,9	27,5	27,2	33,4	28,3	19,4	19,6	19,0	20,0	18,8	18,9
12	22,7	35,8	37,1	29,3	29,0	35,5	30,4	21,2	21,2	20,5	21,5	20,3	20,5
13	23,4	36,2	37,4	30,0	29,7	35,9	31,0	22,5	22,4	21,7	22,7	21,4	21,9
14	24,1	37,9	39,3	31,3	31,0	37,5	32,3	23,5	23,4	22,8	23,8	22,3	23,0
15	24,5	38,4	40,0	31,8	31,6	37,9	32,9	24,4	24,5	24,0	25,0	23,2	24,1
16	24,3	34,8	35,9	29,9	29,7	34,5	30,6	25,0	25,1	24,8	25,6	23,9	24,8
17	23,5	30,8	31,3	27,4	27,0	30,3	27,5	25,0	25,0	24,9	25,5	24,0	24,8
18	21,6	24,3	24,6	23,3	22,8	24,1	23,0	24,3	24,4	24,6	24,7	23,7	24,3
19	20,0	20,6	20,8	20,7	20,4	20,6	20,4	23,2	23,4	23,6	23,6	22,8	23,3
20	18,9	19,6	19,7	19,7	19,5	19,6	19,5	22,1	22,3	22,4	22,6	21,8	22,2
21	18,1	18,7	18,8	18,7	18,6	18,7	18,6	21,1	21,4	21,5	21,7	21,0	21,3
22	17,8	18,2	18,2	18,2	18,1	18,2	18,0	20,3	20,6	20,6	20,9	20,3	20,5
23	17,4	17,8	17,8	17,8	17,7	17,7	17,6	19,8	20,1	20,1	20,3	19,8	20,0
24	17,1	17,4	17,4	17,4	17,3	17,4	17,2	19,3	19,5	19,6	19,8	19,3	19,5

FAMÍLIA 3 - OESTE													
HORA	Temp.ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Verde Antelio	Prata antelio	Incolor	Bronze antelio	Reflectafloat	Verde plano	Verde Antelio	Prata antelio	Incolor	Bronze antelio	Reflectafloat
1	15,0	14,6	14,8	14,6	14,7	14,7	14,7	17,6	17,9	17,5	18,1	17,7	17,9
2	14,4	14,0	14,1	14,0	14,1	14,1	14,0	17,0	17,3	16,8	17,5	17,1	17,2
3	14,0	13,5	13,6	13,5	13,5	13,5	13,5	16,4	16,7	16,3	16,9	16,5	16,6
4	13,6	13,0	13,1	13,0	13,1	13,0	13,0	15,9	16,1	15,8	16,4	16,0	16,1
5	13,0	12,5	12,7	12,5	12,6	12,6	12,5	15,5	15,8	15,4	16,0	15,6	15,7
6	13,1	12,3	12,4	12,3	12,3	12,3	12,2	15,0	15,2	14,8	15,4	15,1	15,1
7	13,1	12,2	12,2	12,1	12,2	12,1	12,1	14,6	14,9	14,5	15,1	14,7	14,8
8	13,8	13,2	13,2	12,6	12,8	12,9	12,7	14,5	14,8	14,3	14,9	14,5	14,5
9	16,8	16,1	16,3	14,8	15,0	15,3	14,8	14,8	15,3	14,8	15,3	14,9	14,9
10	20,0	19,4	19,3	17,5	17,8	18,1	17,6	15,8	16,2	15,9	16,2	15,7	15,8
11	22,3	22,3	22,3	20,5	20,7	21,3	20,8	17,5	17,9	17,8	17,8	17,4	17,7
12	24,0	24,8	24,8	22,9	23,0	24,0	23,2	19,2	19,5	19,5	19,5	19,0	19,4
13	24,7	26,3	26,3	24,3	24,4	25,8	24,8	20,7	21,0	21,0	21,0	20,4	21,0
14	24,9	30,5	30,8	27,2	26,3	30,0	27,6	22,0	22,2	22,3	22,4	21,5	22,3
15	25,0	35,5	35,7	30,1	29,2	34,7	30,5	23,4	23,5	23,6	24,0	22,6	23,5
16	24,9	37,9	38,0	31,3	30,6	36,8	31,6	24,7	24,6	24,8	25,6	23,7	24,6
17	24,1	36,4	36,6	30,1	29,5	35,1	30,3	25,3	25,4	25,5	26,2	24,3	25,3
18	22,0	26,8	26,7	24,1	23,9	26,2	24,3	24,7	24,8	24,7	25,2	23,8	24,8
19	19,8	19,9	20,4	20,0	20,0	20,0	20,1	23,3	23,5	23,2	23,7	22,7	23,4
20	18,4	18,5	18,9	18,6	18,6	18,6	18,7	21,9	22,2	21,8	22,5	21,6	22,2
21	17,8	17,6	17,9	17,6	17,7	17,7	17,8	20,9	21,2	20,7	21,3	20,7	21,1
22	16,8	16,7	17,1	16,8	16,8	16,8	16,9	20,0	20,3	19,9	20,5	19,9	20,3
23	16,5	16,2	16,4	16,2	16,3	16,3	16,3	19,1	19,4	18,9	19,6	19,1	19,4
24	15,9	15,6	15,8	15,6	15,7	15,7	15,7	18,5	18,8	18,3	18,9	18,5	18,7

FAMÍLIA 4 - NORTE													
HORA	Temp.ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Azul intenso	Azul médio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat	Verde plano	Azul intenso	Azul médio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat
1	14,2	14,4	14,0	14,7	14,3	14,9	14,2	17,4	17,6	17,7	18,0	17,5	17,6
2	13,7	13,7	13,3	14,0	13,7	14,2	13,5	16,7	16,9	17,0	17,3	16,8	16,9
3	13,2	13,1	12,7	13,4	13,1	13,7	13,0	16,1	16,3	16,3	16,7	16,2	16,3
4	12,8	12,6	12,2	12,9	12,6	13,1	12,4	15,5	15,8	15,8	16,1	15,7	15,7
5	12,1	12,2	11,8	12,5	12,2	12,7	12,0	15,0	15,3	15,3	15,6	15,2	15,2
6	12,3	12,1	11,7	12,3	12,1	12,5	11,9	14,5	14,8	14,8	15,1	14,7	14,8
7	12,1	11,8	11,5	12,1	11,8	12,3	11,7	14,2	14,4	14,4	14,7	14,3	14,4
8	12,8	15,3	16,5	14,7	14,1	15,0	14,2	14,3	14,4	14,2	14,8	14,2	14,4
9	15,9	23,9	28,1	24,0	19,6	23,8	20,4	15,4	14,8	14,6	15,8	14,6	15,0
10	19,5	31,3	36,1	30,5	24,0	30,0	25,3	16,8	15,7	15,5	17,1	15,4	15,9
11	21,7	35,1	41,1	34,3	27,2	33,9	28,8	18,9	17,4	17,3	18,8	17,0	17,6
12	23,2	38,9	45,9	38,1	30,3	37,7	32,1	21,1	19,3	19,2	20,6	18,7	19,5
13	24,2	41,8	49,5	40,9	32,5	40,6	34,6	23,2	20,9	20,9	22,3	20,2	21,4
14	25,0	40,6	48,0	40,1	32,3	39,7	34,2	24,5	22,1	22,2	23,4	21,3	22,6
15	25,3	39,7	46,4	39,3	32,1	38,8	33,8	24,4	23,2	23,3	24,6	22,3	23,8
16	25,1	36,0	41,1	35,9	30,2	35,3	31,4	25,1	23,9	24,2	25,5	23,1	24,6
17	24,7	33,4	36,9	33,2	28,4	32,7	29,3	25,2	24,3	24,5	25,6	23,5	25,0
18	22,7	26,1	27,2	26,2	23,6	26,1	23,9	24,8	24,3	24,6	25,2	23,7	24,8
19	20,1	20,2	19,7	20,5	20,0	20,6	19,9	23,2	23,2	23,5	23,9	22,7	23,5
20	19,3	19,1	18,5	19,3	18,9	19,5	18,8	22,0	22,1	22,2	22,7	21,7	22,3
21	18,1	18,2	17,6	18,4	18,0	18,5	18,0	21,0	21,1	21,2	21,7	20,8	21,3
22	17,4	17,4	16,9	17,6	17,3	17,8	17,2	20,0	20,2	20,2	20,7	19,9	20,3
23	16,7	16,6	16,1	16,8	16,5	17,0	16,4	19,2	19,4	19,5	19,9	19,2	19,5
24	16,0	15,9	15,4	16,1	15,8	16,4	15,7	18,6	18,8	18,8	19,2	18,6	18,8

FAMÍLIA 4 - OESTE													
HORA	Temp.ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Azul intenso	Azul médio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat	Verde plano	Azul intenso	Azul médio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat
1	17,4	16,0	15,8	16,2	16,1	16,6	16,1	19,8	19,9	19,9	20,3	19,6	20,1
2	15,8	15,2	14,9	15,3	15,2	15,8	15,3	19,1	19,2	19,2	19,6	18,9	19,4
3	14,6	14,3	14,1	14,5	14,4	15,0	14,4	18,5	18,6	18,6	18,9	18,3	18,7
4	13,6	13,5	13,2	13,7	13,6	14,2	13,6	17,8	17,8	17,8	18,2	17,6	18,0
5	13,1	12,9	12,6	13,1	13,0	13,6	13,0	17,0	17,1	17,1	17,4	16,9	17,2
6	12,8	12,4	12,1	12,5	12,5	13,0	12,5	16,2	16,4	16,3	16,7	16,2	16,5
7	12,5	11,9	11,6	12,1	12,0	12,5	12,0	15,6	15,8	15,7	16,1	15,6	15,9
8	12,7	12,1	12,1	12,3	12,0	12,6	12,0	15,2	15,4	15,2	15,7	15,1	15,4
9	14,7	14,1	14,6	14,2	13,4	14,0	13,3	15,1	15,2	14,9	15,5	14,9	15,1
10	19,0	17,6	18,6	17,4	16,3	16,8	16,0	15,4	15,5	15,0	15,9	15,0	15,2
11	22,6	21,1	22,3	20,7	19,6	19,9	19,3	16,6	16,7	16,2	17,1	16,2	16,4
12	24,8	24,3	25,6	23,8	22,6	23,2	22,5	18,6	18,6	18,3	19,0	18,1	18,4
13	25,9	26,6	28,1	26,2	24,9	25,7	25,0	20,5	20,5	20,2	20,9	19,9	20,4
14	26,5	30,0	32,0	29,6	27,4	29,2	27,7	22,1	22,0	21,8	22,5	21,3	22,0
15	27,2	36,1	39,5	36,0	31,1	35,2	32,0	23,9	23,4	23,4	24,4	22,6	23,7
16	27,7	42,3	47,6	42,1	34,6	41,2	35,7	26,2	24,9	25,1	26,6	24,0	25,4
17	27,7	45,0	51,2	44,9	35,9	43,8	37,0	28,1	26,3	26,6	28,5	25,3	27,0
18	26,6	40,7	46,3	40,8	33,0	39,9	33,6	28,8	27,0	27,4	29,0	26,0	27,7
19	23,7	29,5	31,9	29,4	26,2	29,6	26,4	27,4	26,7	26,9	27,9	25,7	27,1
20	21,3	22,4	22,6	22,4	21,8	22,8	21,9	25,3	25,2	25,3	25,9	24,4	25,3
21	20,0	20,0	19,9	20,1	20,0	20,5	20,0	23,6	23,7	23,7	24,2	23,1	23,8
22	18,7	18,7	18,5	18,8	18,7	19,2	18,8	22,4	22,5	22,5	23,0	22,0	22,6
23	18,0	17,9	17,7	18,0	18,0	18,4	18,0	21,4	21,6	21,6	22,0	21,2	21,6
24	17,3	17,2	16,9	17,3	17,3	17,7	17,3	20,4	20,6	20,5	21,0	20,3	20,6

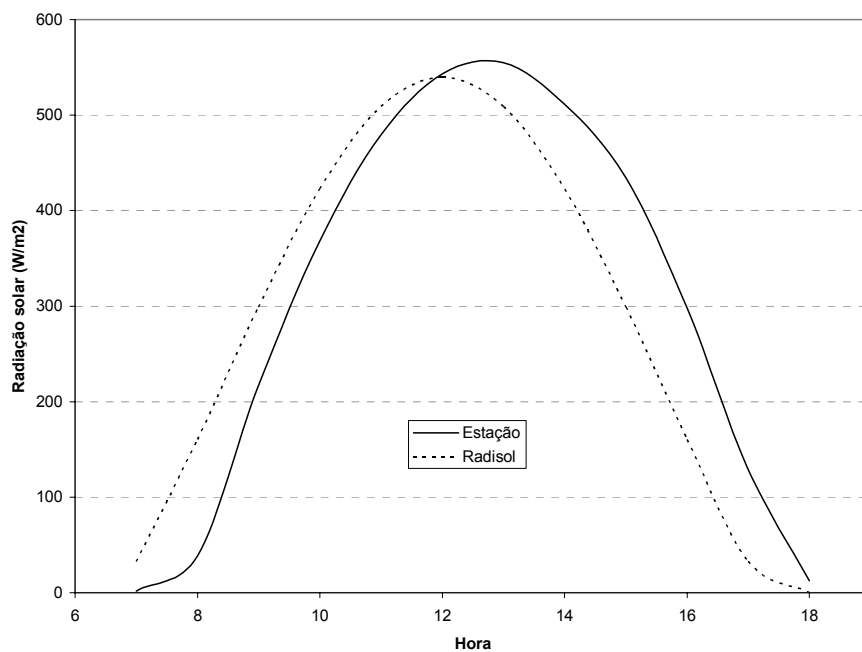
FAMÍLIA 5 - NORTE													
HORA	Temp.ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Verde antelio	Prata antelio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat	Verde plano	Verde antelio	Prata antelio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat
1	18,1	18,4	18,2	18,3	18,4	18,7	18,2	21,0	21,3	20,9	21,6	21,1	21,4
2	17,7	17,8	17,6	17,7	17,9	18,2	17,7	20,4	20,7	20,4	21,0	20,5	20,8
3	17,3	17,4	17,2	17,3	17,5	17,8	17,3	19,8	20,1	19,7	20,3	20,0	20,1
4	17,0	17,0	16,8	16,9	17,1	17,3	16,9	19,3	19,6	19,2	19,9	19,5	19,7
5	16,7	16,5	16,4	16,4	16,6	16,9	16,4	18,9	19,2	18,8	19,4	19,0	19,2
6	16,3	16,1	15,9	16,0	16,2	16,5	16,0	18,5	18,8	18,4	19,0	18,7	18,8
7	16,0	16,0	15,8	15,8	16,0	16,3	15,8	18,1	18,4	18,0	18,6	18,3	18,4
8	17,4	20,7	19,8	18,3	18,3	20,1	18,8	18,2	18,4	17,9	18,6	18,0	18,3
9	19,9	27,0	27,7	23,3	23,2	26,3	24,0	18,9	19,3	18,8	19,6	18,5	19,0
10	22,5	32,9	34,2	27,9	27,6	31,7	28,7	20,2	20,7	20,2	21,0	19,6	20,2
11	24,8	38,1	40,0	32,1	31,5	37,0	33,1	22,2	22,6	22,1	22,8	21,2	21,9
12	26,5	41,7	44,0	35,1	34,4	40,7	36,3	24,3	24,4	23,9	24,7	22,9	23,7
13	27,7	43,8	46,2	36,9	36,3	42,7	38,0	26,0	26,0	25,5	26,3	24,3	25,4
14	28,5	44,1	46,7	37,5	37,3	43,2	38,8	27,1	27,3	26,8	27,6	25,4	26,9
15	29,0	43,8	46,3	37,5	37,6	43,0	38,7	28,2	28,5	28,0	28,9	26,4	28,1
16	29,0	40,7	42,6	35,7	35,9	40,1	36,5	29,2	29,3	29,0	29,8	27,4	29,1
17	28,3	36,4	37,6	32,8	32,8	35,9	33,1	29,4	29,6	29,3	29,9	27,9	29,4
18	26,4	29,8	30,1	28,1	27,9	29,8	27,7	28,9	29,1	29,0	29,3	27,8	28,9
19	23,6	24,3	24,2	24,3	24,2	24,6	24,0	27,3	27,7	27,6	28,0	26,8	27,6
20	21,9	22,6	22,5	22,6	22,6	22,9	22,4	25,7	26,2	25,9	26,4	25,5	26,1
21	20,7	21,4	21,2	21,4	21,4	21,7	21,2	24,5	24,9	24,6	25,2	24,3	24,9
22	19,6	20,2	20,0	20,2	20,3	20,5	20,1	23,3	23,8	23,3	24,0	23,3	23,7
23	19,0	19,4	19,2	19,3	19,5	19,7	19,2	22,2	22,7	22,2	22,9	22,3	22,7
24	18,3	18,6	18,4	18,6	18,7	19,0	18,5	21,5	21,9	21,4	22,1	21,6	21,9

FAMÍLIA 5 - OESTE													
HORA	Temp.ar	Temp superficial interna do vidro						Temperatura de bulbo seco interna					
		Verde plano	Verde antelio	Prata antelio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat	Verde plano	Verde antelio	Prata antelio	Incolor	Prata neutro	Reflectafloat
1	15,2	15,2	15,2	15,2	15,3	15,7	15,2	17,7	18,0	17,9	18,1	17,8	17,7
2	14,4	14,5	14,5	14,5	14,5	15,0	14,5	17,2	17,5	17,4	17,6	17,3	17,2
3	13,9	13,9	13,9	13,9	14,0	14,4	14,0	16,6	17,0	16,9	17,1	16,8	16,7
4	13,4	13,3	13,3	13,3	13,4	13,9	13,4	16,2	16,5	16,5	16,7	16,4	16,3
5	12,8	12,7	12,7	12,7	12,8	13,3	12,8	15,8	16,0	16,0	16,2	15,9	15,9
6	12,3	12,1	12,1	12,1	12,2	12,7	12,2	15,3	15,5	15,5	15,7	15,4	15,4
7	11,8	11,5	11,6	11,5	11,7	12,3	11,7	14,9	15,1	15,1	15,3	15,0	15,0
8	12,7	12,7	12,8	12,0	12,3	13,1	12,3	14,5	14,8	14,6	14,9	14,6	14,6
9	15,6	15,7	15,9	14,2	14,5	15,2	14,2	14,6	14,9	14,7	15,1	14,6	14,6
10	18,6	18,6	18,7	16,7	17,0	17,5	16,7	15,1	15,6	15,2	15,8	15,1	15,1
11	21,0	21,8	22,0	19,6	20,0	20,5	19,8	16,7	17,1	16,8	17,3	16,5	16,7
12	22,6	24,5	24,8	22,3	22,5	23,3	22,5	18,5	18,9	18,5	19,0	18,1	18,6
13	24,0	26,8	27,1	24,6	24,6	25,8	24,8	20,0	20,4	20,1	20,6	19,5	20,2
14	24,9	32,2	32,8	28,5	28,2	31,4	29,0	21,7	22,0	21,7	22,4	20,9	21,8
15	25,1	35,7	36,4	30,6	30,1	34,7	31,2	23,8	23,7	23,4	24,3	22,3	23,4
16	25,1	38,3	39,1	31,8	31,5	37,3	32,5	25,3	25,0	24,7	25,9	23,4	24,6
17	24,6	36,6	37,6	30,5	30,1	36,0	30,6	26,2	25,9	25,6	26,6	24,1	25,5
18	22,9	27,3	28,0	24,7	24,6	27,5	25,1	25,4	25,5	25,3	26,0	24,2	25,1
19	21,1	20,8	21,2	20,8	20,9	21,5	21,1	23,8	24,1	24,0	24,2	23,2	23,9
20	20,2	19,6	19,9	19,6	19,7	20,2	19,8	22,6	22,9	22,9	23,0	22,2	22,8
21	18,5	18,4	18,6	18,4	18,5	19,0	18,6	21,6	21,9	21,9	22,0	21,3	21,7
22	17,0	17,2	17,4	17,2	17,3	17,8	17,4	20,7	21,0	21,0	21,1	20,5	20,8
23	16,6	16,7	16,7	16,6	16,7	17,1	16,7	19,5	19,9	19,8	20,0	19,5	19,6
24	16,2	16,1	16,1	16,0	16,1	16,5	16,1	18,7	19,1	19,0	19,2	18,8	18,9

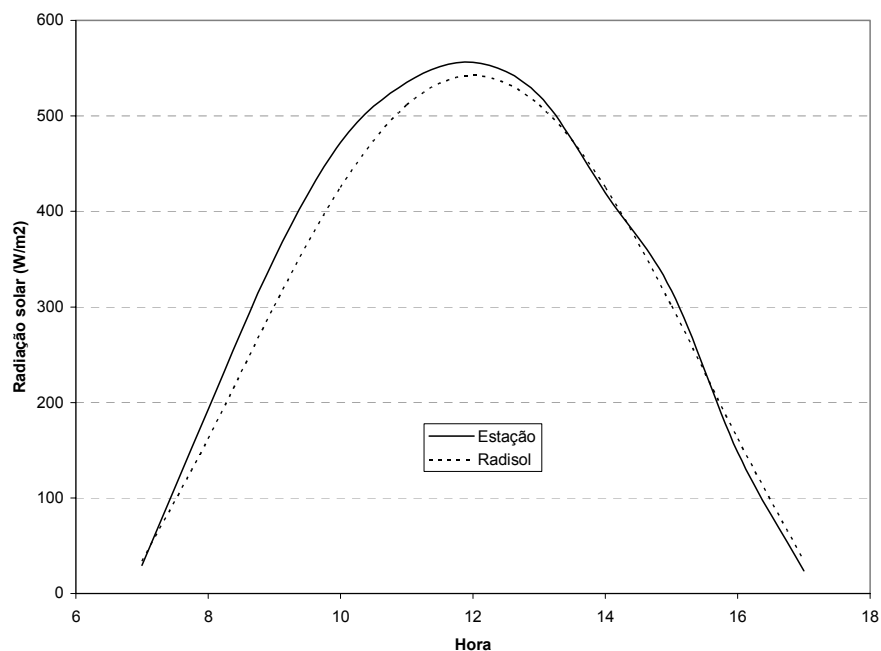
ANEXO F

Neste anexo são apresentados os gráficos de radiação solar horizontal, tanto daquela medida pelo piranômetro da estação meteorológica quanto da obtida pelo programa Radisol, para o dia de maior radiação de cada família analisada.

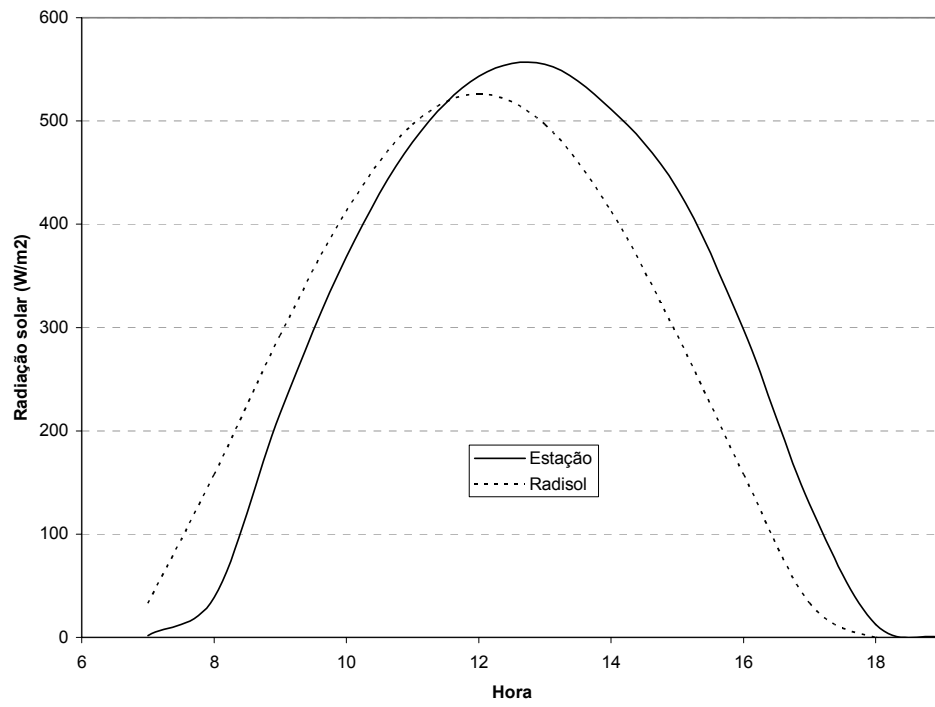
Radiação solar horizontal - Família 1 - Dia 24/06 - Face norte



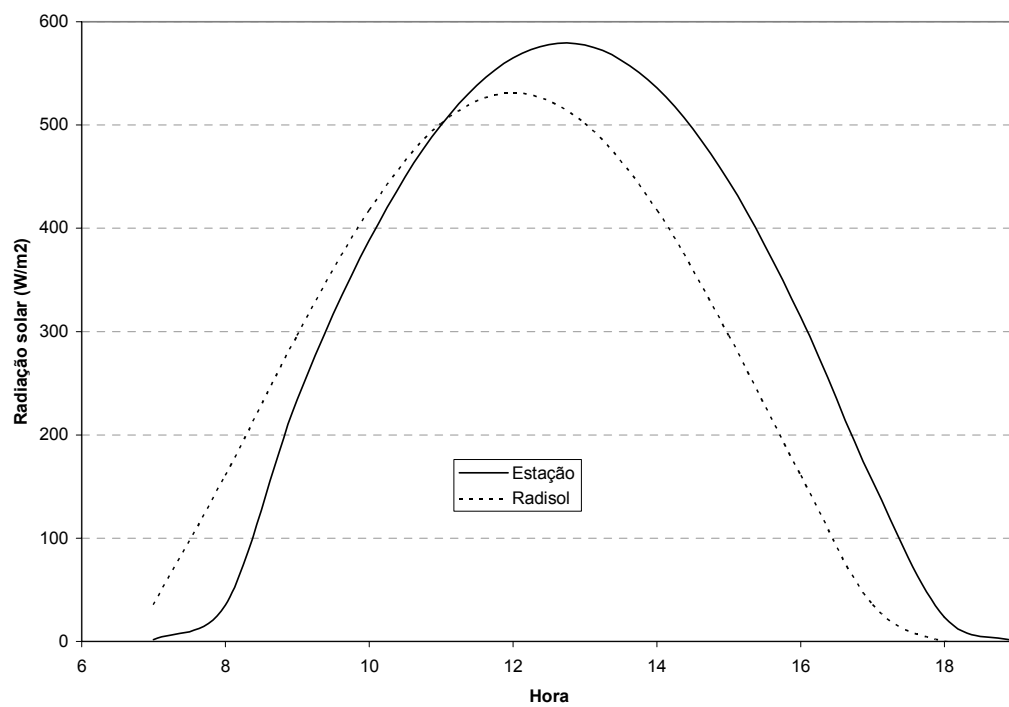
Radiação solar horizontal - Família 1 - Dia 13/06 - Face oeste



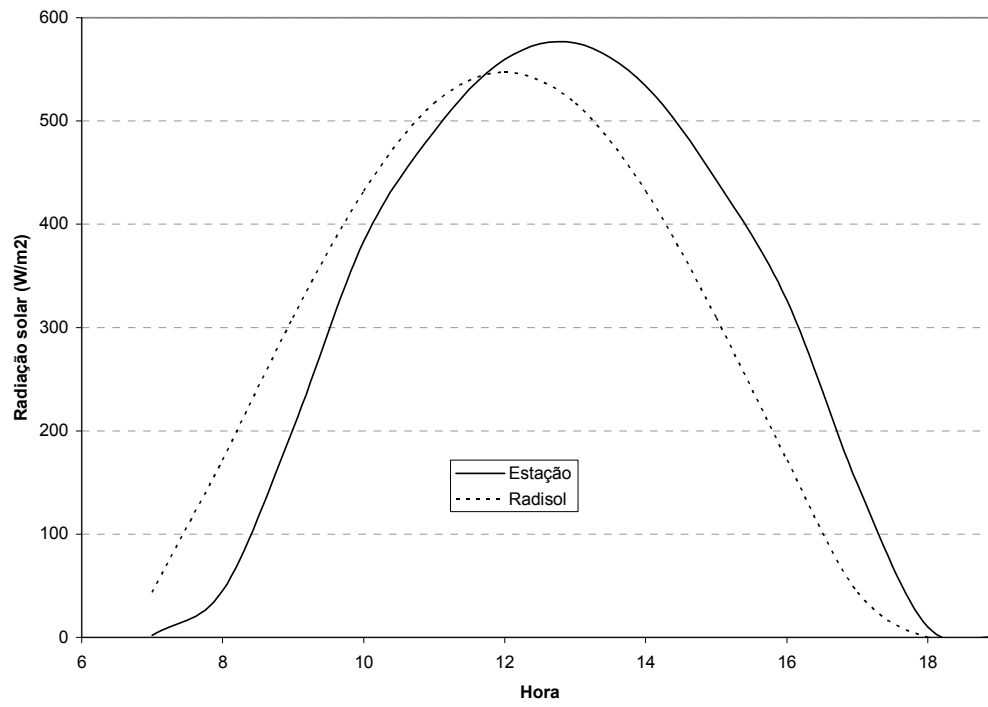
Radiação solar horizontal - Família 2 - Dia 01/07 - Face norte



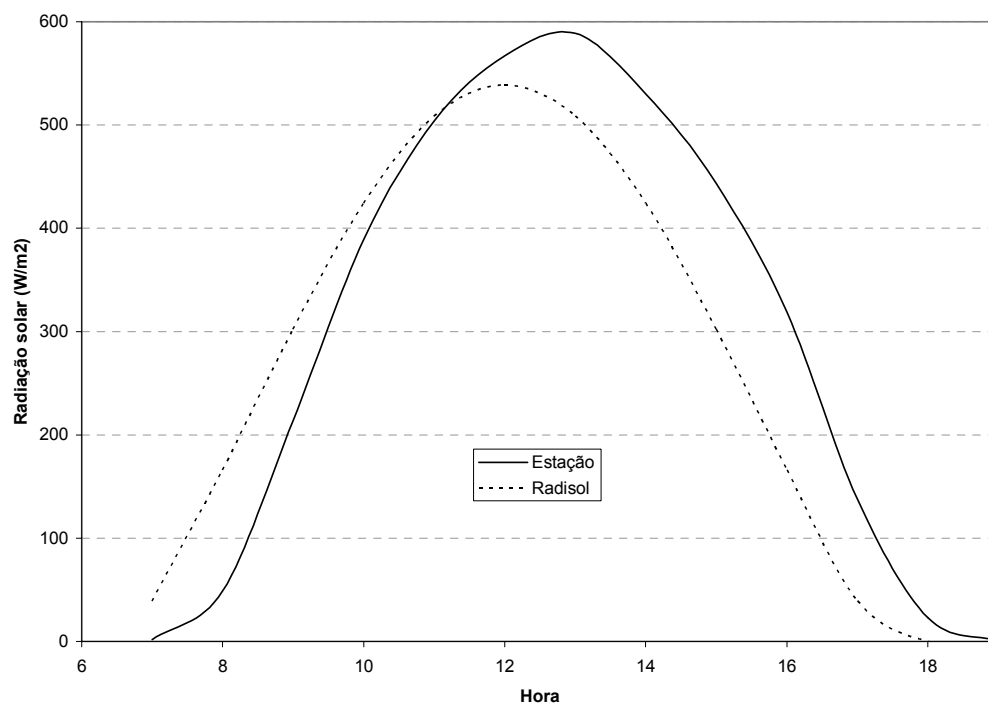
Radiação solar horizontal - Família 2 - Dia 08/07 - Face oeste



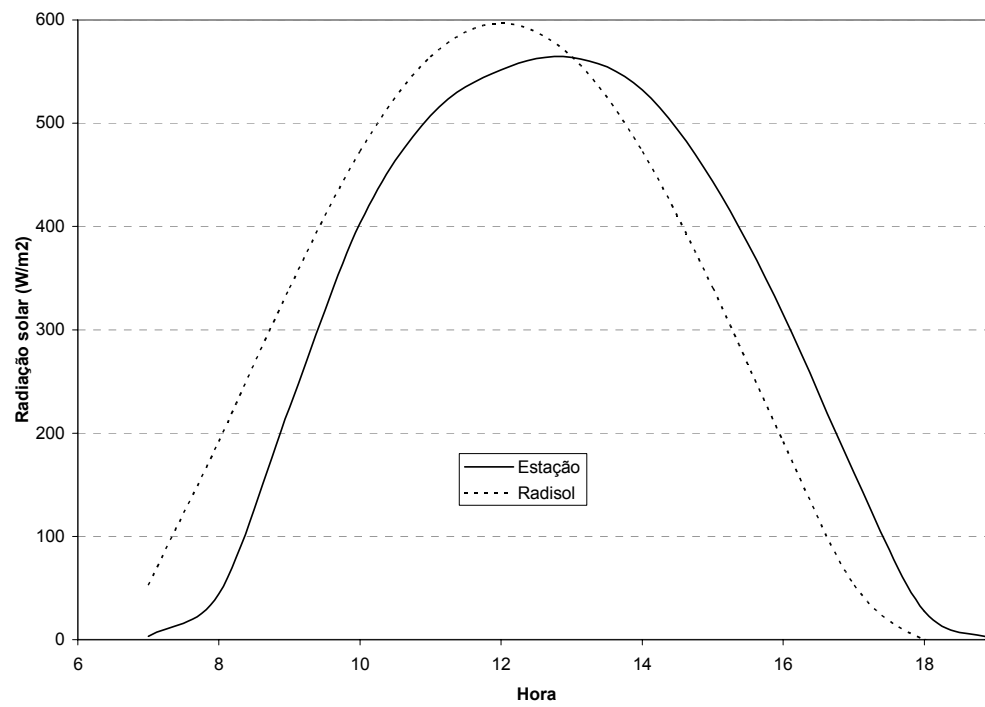
Radiação solar horizontal - Família 3 - Dia 21/07 - Face norte



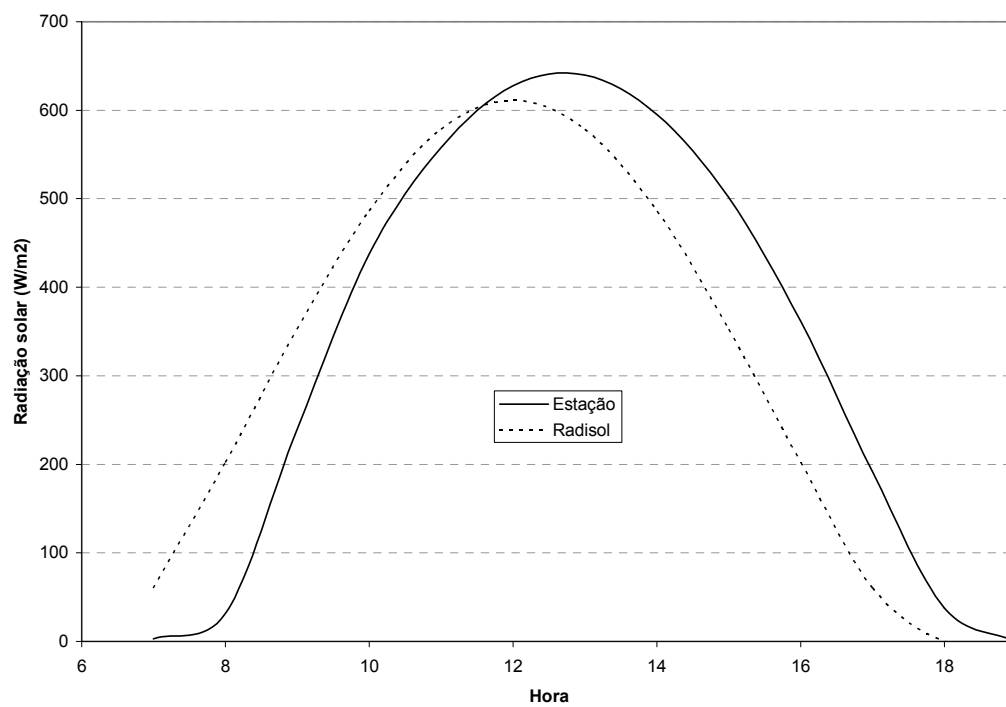
Radiação solar horizontal - Família 3 - Dia 15/07 - Face oeste



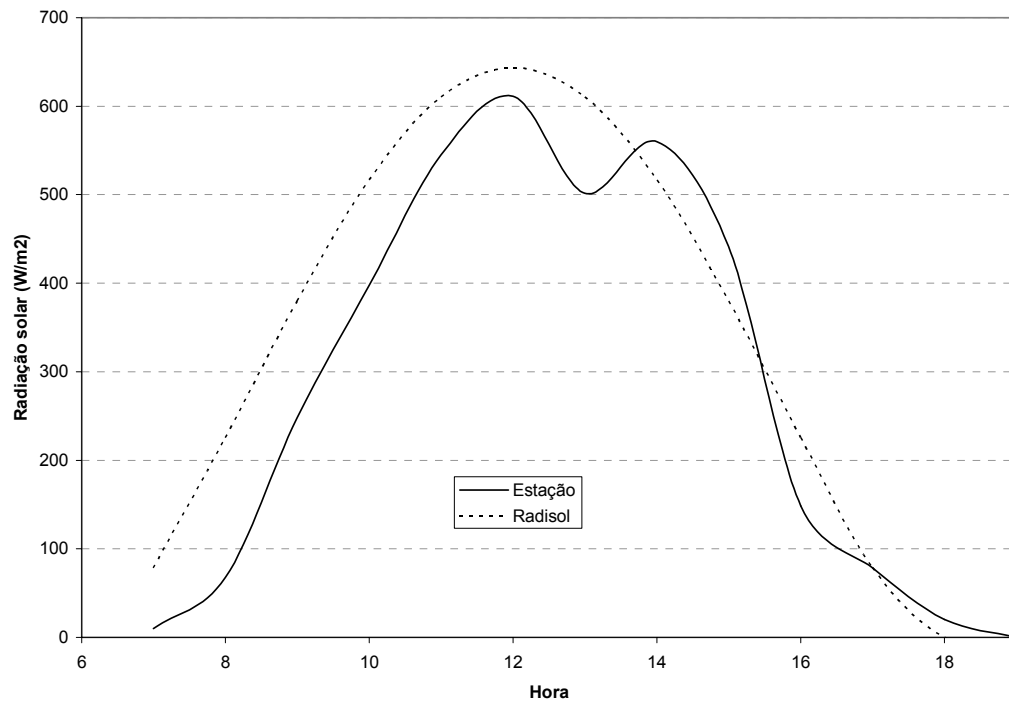
Radiação solar horizontal - Família 4 - Dia 28/07 - Face norte



Radiação solar horizontal - Família 4 - Dia 04/08 - Face oeste



Radiação solar horizontal - Família 5 - Dia 18/08 - Face norte



Radiação solar horizontal - Família 5 - Dia 11/08 - Face oeste

