



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

**Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas
visando o conforto térmico e visual na edificação**

Paula Silva Sardeiro

**Campinas
2007**

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

Paula Silva Sardeiro

**Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas
visando o conforto térmico e visual na edificação**

Tese de Doutorado apresentada a 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 Arquitetura e Construção.

Orientadora: Profa. Dra. Rosana Maria Caram

**Campinas
2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sa72p Sardeiro, Paula Silva
Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas
visando o conforto térmico e visual na edificação / Paula
Silva Sardeiro.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Rosana Maria Caram de Assis
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Vidro. 3. Ganho de calor. I.
Assis, Rosana Maria Caram de. II. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Parameters for selecting translucent surfaces focusing on the
thermal and visual comfort of the building

Palavras-chave em Inglês: Thermal comfort, Glass, Heat gain

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutora em Engenharia Civil

Banca examinadora: Lucila Chebel Labaki, Vanessa Gomes da Silva, Adriana Petito
de Almeida Silva Castro e Eduvaldo Paulo Sichieri

Data da defesa: 24/08/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
ARQUITETURA E URBANISMO

Parâmetros para a escolha de superfícies
translúcidas visando o conforto térmico e visual na
edificação

Paula Silva Sardeiro

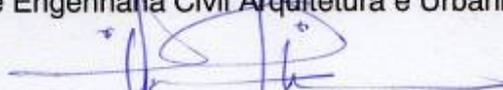
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



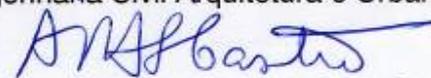
Prof (a) Dra. Rosana Maria Caram
Presidente e Orientadora / Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo



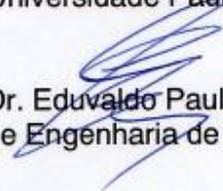
Prof (a) Dra. Lucila Chebel Labaki
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo



Prof (a) Dra. Vanessa Gomes da Silva
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo



Prof (a) Dra. Adriana Petito de Almeida Silva Castro
Universidade Paulista



Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichieri
Escola de Engenharia de São Carlos

Campinas, 24 de agosto de 2007

Dedico esta obra aos meus pais,
Paulo e Márcia, ao meu marido,
Romeu, e à minha filha *Camilla*.

Agradecimentos:

Por nascer, por crescer, por aprender, por ensinar, por levantar, por insistir e por não desistir,
A Deus

Aos meus ídolos, meus guias, meus amores e temos, meus pais,
Paulo Sardero e Márcia Silva Sardero

Ao meu pedacinho de gente, minha luz, alegria, amiga, minha amada filha,
Camilla Sardero Cardoso

Ao meu companheiro, minha realização, a minha outra metade em todos os sentidos, meu amado marido,
Romel Dias Vanderei

Aos amigos incondicionais, confidentes, companheiros, e temos admiradores, meus irmãos amados,
Bruno Silva Sardero e Gabriela Silva Sardero

À minha orientadora, cúmplice, e principalmente amiga querida,
Rosana Maria Caram

Pela doação dos vidros estudados,
CEBRACE

Às instituições que me ajudaram financeiramente,
CAPES e BIPED/UNICAMP

À instituição que me ajudou financeiramente na construção da célula teste,
FAPESP

À querida Professora da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo,
Lucila Chebel Labaki

Ao técnico do laboratório do Instituto de Química da USP,
Mauro R. Fernandes

Ao Professor da Universidade Federal de Santa Maria
João Quim César Pizzutti dos Santos

Ao Professor da Escola de Engenharia de São Carlos
Jaime Gilberto Duduch

Aos técnicos e novos amigos queridos do Laboratório de Conforto Ambiental da FEC,
Obadias Pereira e Daniel Celeste

À minha grande amiga que conquistei, companheira, aliada, cúmplice,
Claudia Cotrim Pezzuto

Aos amigos de Doutorado
Adriana Petito e Tomás Barata

Aos funcionários do departamento da FEC,
Em especial, Paula, Lucineire, Noemia e Ana Paula

Aos funcionários do CESET
Em especial, Luis e Fátima

Aos meus queridos tios, que sempre torceram por mim,
Marcelo Aciole e Magaly Barbosa Aciole

À minha eterna avó, que sempre acreditou em mim,
Hildinha

Às minhas primas irmãs,
Rachel, Marcela, e em especial, Thais Barbosa Aciole

Ao acolhedor amigo que ganhei nas visitas a São Carlos para discussões com minha orientadora,
Fabinho

À minha querida cunhada
Aleksa Dias Vanderei

Resumo

SARDEIRO, P. S. Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas, visando o conforto térmico e visual na edificação. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 202p. Tese (Doutorado).

A escolha de trabalhar com os vidros translúcidos e policarbonatos alveolares ocorreu devido à inexistência de pesquisas na área e por estar sendo ostensivamente utilizados na Europa e Estados Unidos e, no país, vem ganhando espaço nas fachadas das edificações desde a década de 90, como um material renovado e inédito. Conseqüentemente, percebe-se a necessidade de caracterizar este material diante da radiação solar, levando em consideração o conforto térmico e visual no interior da edificação. Para tanto, foram realizadas medições em laboratórios, por meio do espectrofotômetro e do rugosímetro, como também medições *in loco*, através de células-teste. No laboratório foram realizadas medições de transmissão da radiação nos vidros e policarbonatos alveolares, com o espectrofotômetro; e medições do perfil dos vidros com o rugosímetro. Nas células-teste foram medidas a temperatura interna e externa do ar, a temperatura superficial interna e externa do vidro e a temperatura da parede oposta a janela. Obteve-se resultados inéditos, caracterizando a transmissão para cada região específica: ultravioleta, visível e infravermelho, verificando os parâmetros térmicos e luminosos. A rugosidade da superfície do vidro tem poder decisivo na questão da transmissão da radiação. Nas células-teste fechadas com os vidros translúcidos com menores valores referentes ao *Profile Rugose Total* - PRT foram registrados os maiores valores relativos à temperatura interna do ar. Formulam-se recomendações que servirão de subsídios na especificação e na indicação de superfícies translúcidas para arquitetos e projetistas, levando em consideração o térmico e o visual; e, também, divulgam-se informações técnicas que são escassas na literatura nacional e internacional.

Palavras Chave: vidro, conforto térmico, materiais translúcidos, policarbonato alveolar.

Abstract

SARDEIRO, P. S. Parameters for selecting translucent surfaces focusing on the thermal and visual comfort of the building. Campinas, Civil Engineering, Architecture and Urbanism School, State University of Campinas, 2007. 202p. Thesis (Doctorate).

This paper is directed towards translucent glasses and alveolar polycarbonates due to the lack of extensive research in this field. Nonetheless, these materials have been ostensively used in Europe and United States. In Brazil, translucent glasses and alveolar polycarbonates have been increasingly applied to building facades since the decade of 90's as a novel and renewed material. Thus, it is important to characterize translucent glasses and alveolar polycarbonates before solar radiation considering the thermal and visual comfort inside the building. In order to do so, laboratory measurements were performed using a spectrophotometer to measure the glass transmission and a profilometer to measure the glass profiles. *In loco* measurements were also carried out through test cells in which the air, glass surface and wall temperatures were evaluated. The novel results characterized the transmission to each specific region, ultraviolet, visible and infrared, which verified the thermal and visual parameters. The glass surface roughness has a distinguished influence on the radiation transmission. The test cells closed with translucent glass of the lowest PRT values demonstrated the highest values of internal air temperature. It was possible to elaborate recommendations that will serve as groundwork for architects and designers in the specification and indication of translucent surfaces taking into account the thermal and visual comfort. At last, the results also contributed to disclose technical information that is scarce in the national and international literature.

Key-words: glass, thermal comfort, translucent materials, alveolar polycarbonate.

Lista de Figuras

Capítulo 1 - EMBASAMENTO TEÓRICO

Figura 1.1 – Fábrica Fagus, projeto de Gropius	08
Figura 1.2 – Evolução da relação dos vãos com a parede	10
Figura 1.3 – Esquema do comportamento da radiação ao incidir em uma superfície transparente	12
Figura 1.4 – Esquema do comportamento da radiação ao incidir em uma superfície translúcida	12
Figura 1.5 – Curvas de transmissão espectral do policarbonato de chapa compacta, policarbonato alveolar e do vidro comum incolor ao infra-vermelho longo (7000 a 13000nm)	13
Figura 1.6 – Área de conforto e desconforto gerada pela superfície transparente em três cidades brasileiras	15
Figura 1.7 – Fachada norte	17
Figura 1.8 – Fachada oeste	17
Figura 1.9 – Fachada leste	17
Figura 1.10 – Fachada sul	17
Figura 1.11 – Isolação térmica com a inserção de gás	23
Figura 1.12 – Janela isolante	24
Figura 1.13 – Janela com vidro duplo	24
Figura 1.14 – Janela com vidro quádruplo	24
Figura 1.15 – Escala de temperatura no termograma (°F)	24
Figura 1.16 – Vidro colorido e com textura	25
Figura 1.17 – Vidro comum de 3mm	26
Figura 1.18 – Vidro absorvedor de calor de 6mm	26
Figura 1.19 – Transmissão da energia solar para os vidros: comum (a), refletivo (b) e absorvedor de calor (c)	26
Figura 1.20 – Composição estrutural da película que propicia privacidade	29
Figura 1.21 – Composição estrutural da película UV	29
Figura 1.22 – Composição estrutural da película isolante	30
Figura 1.23 – Composição estrutural da película não refletiva	30
Figura 1.24 – Composição estrutural da película refletiva	30
Figura 1.25 – Espectro Solar	32
Figura 1.26 – Comportamento do vidro comum incolor de 3, 5 e 8mm quanto à reflexão, transmissão e absorção da radiação em ângulos distintos de incidência	32
Figura 1.27 – Curvas de eficiência bactericida, eritemas e anti-raquitismo	33
Figura 1.28 – Curvas de transmissão para a película <i>museum</i>	34
Figura 1.29 – Curvas de transmissão para o policarbonato incolor	34
Figura 1.30 – Vista geral do Museu de Artes de São Paulo, MASP	35
Figura 1.31 – Vista interna do Museu de Artes de São Paulo, MASP	35
Figura 1.32 – Espectro visível	35
Figura 1.33 – Curva de transmissão para um vidro considerado “ideal”	36

Figura 1.34 – Curvas de transmissão para vidro comum incolor de 3mm de espessura	36
Figura 1.35 – Curvas de transmissão espectral do policarbonato, vidro e laminado, todos incolores	37
Figura 1.36 – Curvas de transmissão do policarbonato, vidro e laminado, todos cinza	37
Figura 1.37 – Curvas de transmissão espectral do policarbonato, vidro e laminado, todos verdes	37
Figura 1.38 – Coeficientes de transmissão e reflexão em função do ângulo de incidência	38
Figura 1.39 – Transmissão e reflexão para o vidro simples incolor de 3mm em função do ângulo de incidência	39
Figura 1.40 – Refração da luz ao passar por um prisma	41
Figura 1.41 – Comportamento da luz passando por uma superfície prismática	41
Figura 1.42 – Exemplos de prismas inseridos no interior das lâminas de vidros em janelas	41
Figura 1.43 – Visualização do objeto através do vidro transparente (a) e translúcido (b)	42
Figura 1.44 – Comportamento da luz atravessando um vidro plano liso (<i>float</i>) (a) e um vidro translúcido (b)	42
Figura 1.45 – Grande vitrais nas catedrais do estilo gótico	46
Figura 1.46 – Vista geral da Agência dos Correios em Vienna	46
Figura 1.47 – Vista interna da Agência dos Correios, cobertura em vidro translúcido	46
Figura 1.48 – Vista geral da Catedral de Brasília	48
Figura 1.49 – Vista interna da Catedral de Brasília	48
Figura 1.50 – Vista interna da União Brasileira de Vidros, produção de vidro impresso	48
Figura 1.51 – Policarbonatos alveolares	51
Figura 1.52 – Abrigo do ponto de ônibus em SP, utilizando policarbonato alveolar	52
Figura 1.53 – Vista geral da residência em policarbonato translúcido	52
Figura 1.54 – Vista interna da residência em policarbonato translúcido	52
Figura 1.55 – Residência em policarbonato translúcido	52
Figura 1.56 – Terminal Rodoviário em MG, utilizando policarbonato alveolar azul	52
Figura 1.57 – Policarbonato alveolar e compacto com Infrared Solar Control	53
Figura 1.58 – Difusores de luz: capilares hexagonais, alvéolos e micro-esferas	53
Figura 1.59 – Aerogel	54
Figura 1.60 – Esquema do corte do painel de nanogel	54
Figura 1.61 – Corte do painel de nanogel	54
Figura 1.62 – Estrutura em nanogel	54
Figura 1.63 – Tubos em vidro, colocadas no interior das lâminas de vidro de janelas, <i>helioram</i>	55
Figura 1.64 – Tubos em vidro	55
Figura 1.65 – Estrutura em vidro incolor	56
Figura 1.66 – Vários tipos de estrutura em vidro incolor	56
Figura 1.67 – Estrutura em vidro azul	56
Figura 1.68 – Vista da fachada com estrutura em vidro incolor	56
Figura 1.69 – Painel kapilux	56
Figura 1.70 – Kapipane	56
Figura 1.71 – Okasolar	57
Figura 1.72 – Okasolar em corte	57
Figura 1.73 – Vista da coberta da Biblioteca Hartford com painel de Okasolar	57
Figura 1.74 – Vista interna da coberta da Biblioteca Hartford com painel de Okasolar	57
Figura 1.75 – Okatech	57
Figura 1.76 – Vista geral da Biblioteca Central com painel de Okatech	58
Figura 1.77 – Vista interna da Biblioteca Central com painel de Okatech	58
Figura 1.78 – Museu Oscar Niemeyer	58
Figura 1.79 – Vista interna do Museu Oscar Niemeyer	58
Figura 1.80 – Tipos de vidro serigrafado	59
Figura 1.81 – Esquema de funcionamento do TIM	61
Figura 1.82 – Foto do sistema TIM	61
Figura 1.83 – Esquema comparando o uso do Sistema TIM e o sistema convencional de isolamento	61
Figura 1.84 – Vidro isolante	62

Figura 1.85 – Persiana entre as duas folhas de vidro	62
Figura 1.86 – Estrutura capilar	62
Figura 1.87 – Vista interna da clarabóia do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro	63
Figura 1.88 – Desenho esquemático do sistema de vidraça, na estação do verão	63
Figura 1.89 – Desenho esquemático do sistema de vidraça, na estação do inverno	63
Figura 1.90 – Efeito da vidraça: dados de temperatura do ar interno no verão	64
Figura 1.91 – Efeito da vidraça: dados de temperatura do ar interno no inverno	64
Figura 1.92 – Nível de iluminância (lux) no ambiente interno em um dia de sol no inverno: ambiente com vidraça experimental	65
Figura 1.93 – Nível de iluminância (lux) no ambiente interno em um dia de sol no inverno: ambiente com vidraça de referência	65
Figura 1.94 – Influência da quantidade do teor de ferro no vidro na transmissão espectral	65
Figura 1.95 – Painéis ThermoSEE, vidro termotrópico não ativado	67
Figura 1.96 – Painéis ThermoSEE, vidro termotrópico ativado	67
Figura 1.97 – Transmissão do vidro com camada <i>TALD</i>	67
Figura 1.98 – Influência elétrica no alinhamento molecular em cristais líquidos	68
Figura 1.99 – Divisória em cristal líquido: vidro desativado a esquerda e ativado a direita	68
Figura 1.100 – Transmissão do vidro eletrocromico, ativado e desativado, nos intervalos característicos	69
Figura 1.101 – Vista interna da edificação com painel fotovoltaico	69
Figura 1.102 – Vidro eletrocromico com imagens para propagandas em vários níveis	70
Figura 1.103 – Vidros impressos	70
Figura 1.104 – Processo de fabricação do vidro impresso, rolo inferior	70
Figura 1.105 – Vidro acidado	71
Figura 1.106 – Vidro foscado a ácido	71
Figura 1.107 – Fachada em vidro com película de água interna	72
Figura 1.108 – Fachada em vidro com camada de água interna	72
Figura 1.109 – Blocos em vidro com substância orgânica interna	72
Figura 1.110 – Vidro translúcido em forma de grade	73
Figura 1.111 – Vidros coloridos	73
Figura 1.112 – Vidro com pontos de luz no seu interior	73
Figura 1.113 – Vidro holográfico	73
Figura 1.114 – Filme aplicado na cortina	73
Figura 1.115 – Tinta spray para vidro	74

Capítulo 2 – OBRAS UTILIZANDO VIDROS TRANSLÚCIDOS

Figura 2.1 – Museu Saint Romain	76
Figura 2.2 – Vista da Biblioteca Universitária	77
Figura 2.3 – Aberturas na fachada em vidro transparente	77
Figura 2.4 – Vista do detalhe do volume de entrada da biblioteca	78
Figura 2.5 – Vista geral da Galeria Lafayette	78
Figura 2.6 – Vista dos painéis da fachada da Galeria Lafayette	79
Figura 2.7 – Vista geral da Galeria Lafayette	79
Figura 2.8 – Centro de Convenções Kursaal	79
Figura 2.9 – Centro de Convenções Kursaal ao entardecer	80
Figura 2.10 – Detalhe dos vidros curvos na fachada	80
Figura 2.11 – Escola secundária, detalhe da cobertura inclinada	80
Figura 2.12 – Detalhe 1 da serigrafia no vidro	81
Figura 2.13 – Detalhe 2 da serigrafia no vidro	81
Figura 2.14 – Museu sem a cobertura	82
Figura 2.15 – Museu com a cobertura	82
Figura 2.16 – Cobertura possui um formato quadrado, com um círculo no centro	83
Figura 2.17 – Cobertura com um círculo no centro	83
Figura 2.18 – Passarela com o vidro serigrafado	84

Figura 2.19 – Vista interna da passarela com o vidro serigrafado	84
Figura 2.20 – Vista geral da Sede dos Laboratórios Pfizer	85
Figura 2.21 – Vista dos banheiros revestido em vidro serigrafado	85
Figura 2.22 – Cobertura curva do Riopreto Shopping	86
Figura 2.23 – Reticula da serigrafia utilizada na parte intermediária da cúpula	86
Figura 2.24 – Reticula da serigrafia utilizada na parte mais alta da cúpula	86
Figura 2.25 – Vidro aramado no lanternim da estação da luz	87
Figura 2.26 – Painéis serigrafados na Estação Sumaré, em São Paulo	87
Figura 2.27 – Vista da Igreja Notre Dame de Pentecostes	88
Figura 2.28 – Vista interna da Igreja Notre Dame de Pentecostes	88
Figura 2.29 – Vista da fachada sul do Parque Espana Residential Building	89
Figura 2.30 – Vista da fachada sul do KONE Building	90
Figura 2.31 – Vista do reticulado da serigrafia no vidro da fachada	90
Figura 2.32 – Vista geral do Housing and Office Block	91
Figura 2.33 – Vista das edificações do entorno a partir do Housing and Office Block	91
Figura 2.34 – Vista geral do Museum Boijmans van Beuningen	92
Figura 2.35 – Vista interna do Museum com suas generosas aberturas em vidro impresso	92
Figura 2.36 – Vista das fachadas: leste em madeira com vidro e norte toda em vidro impresso	93
Figura 2.37 – Vista interna da circulação com vidro impresso	93
Figura 2.38 – Vista geral NMR Laboratório	94
Figura 2.39 – Vista do vidro serigrafado do NMR Laboratório	95
Figura 2.40 – Vista geral do Lentos Art Museum	96
Figura 2.41 – Vista geral do Hotel Habita no período do dia e da noite	97
Figura 2.42 – Vista geral da House of Glass	97
Figura 2.43 – Vista das placas de vidro laminado coladas	98
Figura 2.44 – Translucidez da parede de vidro	98
Figura 2.45 – Vista geral da Junior High School 500 Pupils at Mériel	99
Figura 2.46 – Visão do exterior através da sala de aula	99

Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 3.1 – Vidro Aramado	105
Figura 3.2 – Vidro Canelado	106
Figura 3.3 – Vidro Miniboreal	106
Figura 3.4 – Vidro Boreal	106
Figura 3.5 – Vidro Rideau	107
Figura 3.6 – Vidro Martelado	107
Figura 3.7 – Vidro Spotlyte	108
Figura 3.8 – Vidro Teorema	108
Figura 3.9 – Vidro Oásis	109
Figura 3.10 – Vidro Spot	109
Figura 3.11 – Policarbonato verde	109
Figura 3.12 – Policarbonato translúcido	109
Figura 3.13 – Policarbonato azul	110
Figura 3.14 – Policarbonato incolor	110
Figura 3.15 – Policarbonato bronze ou fume claro	110
Figura 3.16 – Policarbonato cinza ou fume escuro	110
Figura 3.17 – A amostra de vidro colocada no espectrofotômetro na posição vertical	111
Figura 3.18 – Amostra de vidro girada 90°, com relação à posição anterior	111
Figura 3.19 – Vista geral das células-teste	112
Figura 3.20 – Vista geral da célula-teste com o vidro e o painel instalados	113
Figura 3.21 – Vista externa do painel de vedação	113
Figura 3.22 – Vista interna do painel de vedação	113
Figura 3.23 – Moldura em madeira	113
Figura 3.24 – Termômetro de globo e termopar	114
Figura 3.25 – Termopar fixado na parte interna do vidro	114

Figura 3.26 – Termopar fixado na superfície externa do vidro	114
Figura 3.27 – Termopar fixado na superfície interna da parede leste	115
Figura 3.28 – Estação meteorológica	115
Figura 3.29 – Piranômetro	115
Figura 3.30 – Sensor direção e velocidade do vento	115
Figura 3.31 – Pluviômetro com apoio próprio, situado ao lado da estação	115
Figura 3.32 – Abrigo com sensor de temperatura e umidade do ar	116
Figura 3.33 – Painel solar	116
Figura 3.34 – Planta baixa da célula-teste	117
Figura 3.35 – Cortes das células-teste	118
Figura 3.36 – Planta de cobertura da célula-teste	118
Figura 3.37 – Vista da fachada norte	119
Figura 3.38 – Vista da fachada sul	119
Figura 3.39 – Vista da fachada leste	119
Figura 3.40 – Vista da fachada oeste	119
Figura 3.41 – Vista das células-teste em construção	119
Figura 3.42 – Vista das células-teste prontas com vidros instalados	119
Figura 3.43 – Céu claro, durante as medições	121
Figura 3.44 – Luxímetro marca Minolta, modelo T10	121
Figura 3.45 – Form Talysurf - 120L	122
Figura 3.46 – Amostras dos vidros translúcidos analisados	122
Figura 3.47 – Calibração da ponta do estileto	122
Figura 3.48 – Posição da amostra de vidro no aparelho	123
Figura 3.49 – JoyStik manual da mesa de trabalho	123
Figura 3.50 – Estileto com a ponta de safira	123
Figura 3.51 – Computador acoplado ao rugosímetro	123
Figura 3.52 – Espectrofotômetro <i>CARY 5G</i> utilizado na pesquisa	124
Figura 3.53 – Esquema do tratamento dos dados em cada intervalo característico, exemplo na região do ultravioleta	125

Capítulo 4 – RESULTADOS E ANÁLISE

Figura 4.1 – Curva de transmissão espectral do Vidro Miniboreal	130
Figura 4.2 – Curva de transmissão espectral do Vidro Canelado	131
Figura 4.3 – Curva de transmissão espectral do Vidro Aramado	132
Figura 4.4 – Curva de transmissão espectral do Vidro Refletivo Azul Cool-Lite	133
Figura 4.5 – Esquema do perfil dos vidros: (A) Canelado, (B) Miniboreal e suas respectivas distâncias entre os picos de altura da irregularidade da superfície o e PRT	135
Figura 4.6 – Curva de transmissão espectral do Vidro Oásis	136
Figura 4.7 – Curva de transmissão espectral do Vidro Rideau	137
Figura 4.8 – Curva de transmissão espectral do Vidro Martelado	138
Figura 4.9 – Curva de transmissão espectral do Vidro Teorema	139
Figura 4.10 – Curva de transmissão espectral do Vidro Boreal	140
Figura 4.11 – Curva de transmissão espectral do Vidro Spot	141
Figura 4.12 – Curva de transmissão espectral do Vidro Spotlyte	142
Figura 4.13 – Comparação entre os vidros: Boreal (inferior) e Miniboreal (superior)	143
Figura 4.14 – Curvas de transmissão espectral de todos os vidros impressos	144
Figura 4.15 – Curva de transmissão espectral do vidro plano incolor de 4mm	145
Figura 4.16 – Curvas de transmissão no ultravioleta de todos os vidros impressos de 4mm de espessura	147
Figura 4.17 – Curvas de transmissão no visível de todos os vidros impressos de 4mm de espessura	148
Figura 4.18 – Curvas de transmissão no infravermelho próximo de todos os vidros impressos de 4mm de espessura	148
Figura 4.19 – Curvas de transmissão espectral dos vidros Aramado e Spotlyte	148
Figura 4.20 – Curvas de transmissão na região do visível para os vidros Aramado e Spotlyte	149

Figura 4.21 – Curvas de transmissão na região do infravermelho próximo para os vidros Aramado e Spotlyte	149
Figura 4.22 – Transmissão na região do ultravioleta dos Policarbonatos Alveolares	152
Figura 4.23 – Comparação da transmissão na região do ultravioleta do: Policarbonato compacto incolor, vidro laminado e o vidro incolor <i>float</i>	152
Figura 4.24 – Transmissão espectral para Policarbonatos Alveolares	152
Figura 4.25 – Transmissão na região do visível dos Policarbonatos Alveolares	153
Figura 4.26 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Transparente (incolor)	153
Figura 4.27 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Translúcido	154
Figura 4.28 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Azul	155
Figura 4.29 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Verde	155
Figura 4.30 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Fumê Claro (Bronze)	155
Figura 4.31 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Fumê Escuro (Cinza)	156
Figura 4.32 – Comparação entre as temperaturas internas do ar dos ambientes fechados com os vidros analisados localizados na fachada oeste	160
Figura 4.33 – Comparação entre as temperaturas internas do ar dos ambientes fechados com os vidros analisados localizados na fachada norte	160
Figura 4.34 – Curvas da temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada norte	163
Figura 4.35 – Curva da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada norte	164
Figura 4.36 – Curvas da temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada oeste	164
Figura 4.37 – Curva da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada oeste	165
Figura 4.38 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada norte	166
Figura 4.39 – Curva da média da temperatura externa do ar com a série B, fachada norte	166
Figura 4.40 – Curvas da temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada oeste	167
Figura 4.41 – Curva da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série B, fachada oeste	167
Figura 4.42 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada norte	168
Figura 4.43 – Curva da média da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada norte	169
Figura 4.44 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada oeste	169
Figura 4.45 – Curva da média da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada oeste	170
Figura 4.46 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada norte	170
Figura 4.47 – Curva da média da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série B, fachada norte	171
Figura 4.48 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada oeste	171
Figura 4.49 – Curva da média de temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série B, fachada oeste	171
Figura 4.50 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada norte no inverno	173
Figura 4.51 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada norte no inverno	173
Figura 4.52 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada norte no inverno	173

Figura 4.53 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada norte no inverno	174
Figura 4.54 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada oeste no inverno	174
Figura 4.55 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada oeste no inverno	174
Figura 4.56 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada oeste no inverno	175
Figura 4.57 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada oeste no inverno	175
Figura 4.58 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada norte no inverno	175
Figura 4.59 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada norte no outono	177
Figura 4.60 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada norte no outono	177
Figura 4.61 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada oeste no outono	178
Figura 4.62 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada oeste no outono	178
Figura 4.63 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada norte no outono	179
Figura 4.64 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada norte no outono	179
Figura 4.65 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada oeste no outono	179
Figura 4.66 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada oeste no outono	180
Figura 4.67 – Curvas de temperatura da parede oposta com a série A, fachada norte	181
Figura 4.68 – Curvas de temperatura da parede oposta com a série B, fachada oeste	182



Lista de Tabelas

Capítulo 1 - EMBASAMENTO TEÓRICO

Tabela 1.1 – Transmissão da radiação nos intervalos: ultravioleta, visível e infravermelho	14
Tabela 1.2 – Valores para a eficiência luminosa e eficiência térmica	14
Tabela 1.3 – Critérios de classificação para a seleção de superfície transparente	15
Tabela 1.4 – Valores de Fator Solar para diferentes tipos de vidro	19
Tabela 1.5 – Transmitância da radiação solar e coeficiente de sombreamento para diferentes tipos de vidro	25
Tabela 1.6 – Transmissão do infravermelho e visível para diferentes envidraçamentos	28
Tabela 1.7 – Composição típica de vidros de janela em dois períodos (% massa)	44
Tabela 1.8 – Composição do vidro durante os séculos (%)	44
Tabela 1.9 – Síntese das características dos vidros translúcidos	49

Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 3.1 – Organização da amostra dos vidros que foram analisados	104
Tabela 3.2 – Características dos vidros analisados	106

Capítulo 4 – RESULTADOS E ANÁLISE

Tabela 4.1 – Valores do PRT dos vidros translúcidos	135
Tabela 4.2 – Desvio padrão dos vidros impressos analisados	144
Tabela 4.3 – Transmissão da radiação nos vidros translúcidos	145
Tabela 4.4 – Relação entre a transmissão na região do visível e infravermelho	150
Tabela 4.5 – Síntese dos resultados da temperatura do ar obtidos na estação do inverno	168
Tabela 4.6 – Síntese dos resultados da temperatura do ar obtidos na estação do outono	172
Tabela 4.7 – Valores do fator de luz do dia	183

Sumário

Introdução	01
Objetivo	05
Hipótese	06
Capítulo 1 - EMBASAMENTO TEÓRICO	
1. Embasamento Teórico	08
1.1 Abertura Lateral	08
1.2 Conforto Térmico e Luminoso	10
1.3 Luz Natural	17
1.4 Fatores de Avaliação no Desempenho de Superfícies Translúcidas	18
1.4.1 Fator Solar	18
1.4.2 Ganho de Calor Solar	19
1.4.3 Coeficiente de Sombreamento	20
1.4.4 Coeficiente Global de Transferência de Calor	21
1.4.5 Emissividade	22
1.4.6 Fator de Luz do Dia	22
1.5 Alternativas no Controle de Ganho Solar	23
1.5.1 Envidraçamento Múltiplo	23
1.5.2 Vidros Absorvedores de Calor	25
1.5.3 Vidros Refletores ou Refletivos	27
1.5.4 Aplicação de Película no Vidro	28
1.6 Radiação Solar	31
1.6.1 Radiação Ultravioleta	32
1.6.2 Radiação Visível	35
1.6.3 Radiação Infravermelha	36
1.7 Propriedades Óticas	38
1.7.1 Transmissão	38
1.7.2 Reflexão	39
1.7.3 Absorção	40
1.7.4 Refração	40
1.8 Vidros Translúcidos	41
1.8.1 Definição e Composição dos Vidros	42
1.8.2 Processo de Produção	44
1.8.3 História	45
1.8.3.1 O Vidro Translúcido no Brasil	47
1.8.4 Evolução	49
1.8.5 Tipologia	49
1.9 Policarbonato	50

1.10 As Novas Tecnologias de Materiais Translúcidos	53
1.10.1 Vidro Serigrafado	58
1.10.2 <i>Transparent ou Translucent Insulating Material</i> – TIM	60
1.10.3 Vidro Isolante	61
1.10.4 Materiais Cromogênicos	66
1.10.5 Vidros Impressos	70
1.10.6 Outras Alternativas	71

Capítulo 2 – OBRAS UTILIZANDO VIDROS TRANSLÚCIDOS

2. Obras Utilizando Vidros Translúcidos	76
2.1 Museu Arqueológico de Saint Romain	76
2.2 Biblioteca Universitária	77
2.3 Galeria Lafayette	78
2.4 Centro de Convenções “Kursaal”	79
2.5 Escola Secundária	80
2.6 Reforma no Museu Britânico	82
2.7 Parque Industrial Natura	83
2.8 Sede dos Laboratórios Pfizer	84
2.9 Ampliação do Rio Preto Shopping Center	85
2.10 Estação da Luz	86
2.11 Reelaboração da Estação do Metrô Sumaré	87
2.12 Igreja Notre Dame de Pentecostes	88
2.13 Parque Espana Residential Building	89
2.14 Kone Building	89
2.15 Housing and Office Block	91
2.16 Museum Boijmans van Beuningen	91
2.17 Double House	92
2.18 NMR Laboratório	94
2.19 Lentos Art Museum	95
2.20 Hotel Habita	96
2.21 A House of Glass	97
2.22 Junior High School 500 Pupils at Mériel	98

Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3. Materiais e Métodos	102
3.1 Vidros Seleccionados	103
3.1.1 Vidros Aramado, Canelado, Mini Boreal e Boreal	105
3.1.2 Vidros Rideau, Martelado, Spot, Teorema, Oásis e Spotlyte	107
3.2 Policarbonatos Seleccionados	109
3.3 Procedimentos dos Ensaios	110
3.3.1 Ensaios Espectrofotométricos	110
3.3.1.1 Parâmetros de Medição no Ensaio Espectrofotométrico	112
3.3.2 Ensaios nas Células-teste	112
3.3.2.1 Parâmetros de Medição nas Células-teste	113
3.3.2.2 Características das Células-teste	117
3.3.2.3 Avaliação Térmica	119
3.3.2.4 Avaliação do Nível de Iluminância	120
3.3.3 Ensaio do Perfil da Superfície do Vidro	121
3.3.3.1 Parâmetros de Medição	123
3.4 Análise Espectrofotométrica	123
3.4.1 O Aparelho - Espectrofotômetro	124
3.5 Tratamento e Análise dos Resultados	125

Capítulo 4 – RESULTADOS E ANÁLISE

4. Resultados	128
4.1 Espectrofotômetro	128
4.1.1 Vidros Impressos	129
4.1.2 Policarbonato Alveolar	150
4.2 Células-teste	156
4.2.1 Medições Piloto	157
4.2.1.1 Fachada Norte	158
4.2.1.2 Fachada Oeste	159
4.2.2 Medições na Estação do Outono	161
4.2.2.1 Fachada Oeste	161
4.2.2.2 Fachada Norte	161
4.2.3 Medições na Estação do Inverno	161
4.2.3.1 Fachada Oeste	162
4.2.3.2 Fachada Norte	162
4.2.4 Resultados e Discussão	162
4.2.4.1 Temperatura Interna e Externa do Ar	162
4.2.4.1.1 Inverno	163
4.2.4.1.2 Outono	168
4.2.4.2 Temperatura Superficial Interna – TSI e Temperatura Superficial Externa – TSE do vidro	172
4.2.4.2.1 Inverno	173
4.2.4.2.2 Outono	176
4.2.4.2.3 Vidro Transparente e Translúcido	180
4.2.4.3 Temperatura da Parede Oposta	181
4.2.5 Nível de Iluminância	182
4.3 Irregularidade na Superfície de Vidro e o Ganho de Calor	183
4.4 Uso dos Vidros e Policarbonatos Translúcidos	185

Capítulo 5 – CONCLUSÃO

5.1 Conclusões	188
----------------	-----

Referências Bibliográficas	191
-----------------------------------	------------



Introdução

O processo de fabricação dos vidros, nas últimas décadas, apresentou uma evolução tecnológica significativa: os tratamentos superficiais, as dimensões e a aparência. Originou assim, uma diversificada quantidade de materiais transparentes e, em decorrência, surgiram os materiais translúcidos no mercado.

Essa variedade de materiais ocasionou também uma alteração nos conceitos de projeto. Muitas vezes, uma arquitetura que transporte ao estilo contemporâneo ou "*high tech*" tem que apresentar uma fachada de vidro, conseqüentemente, aumenta a responsabilidade do profissional encarregado de especificar esse material. Aí nasce o grande desafio do arquiteto: equilibrar a estética, a função e o conforto ambiental, buscando uma composição de projeto racional e harmoniosa. O vidro serigrafado é uma dessas novidades que ganham espaço no Brasil, seguindo tendência há algum tempo registrada no exterior.

Zanotto (1998) ressalta que a produção mundial de vidros alcança dezenas de bilhões de dólares anuais, sendo de aproximadamente US\$2 bilhões/ano no Brasil, devido às suas propriedades estéticas e funcionais, à disponibilidade das matérias-primas mais abundantes no planeta, isto é, minerais contendo O, Si, Al, Ca e Na e à facilidade de reciclagem. A sua enorme variabilidade e flexibilidade de propriedades físico-químicas, aliada à possibilidade de ainda se testar um número infinito de composições, com todos os elementos da tabela periódica (devido à sua estrutura desordenada), permite prever significativo desenvolvimento científico.

O uso excessivo do vidro nas edificações, sem uma preocupação simultânea com elementos de proteção, orientação ou tipo adequado, registrou um ícone na arquitetura das edificações pós segunda guerra mundial. A interação entre a edificação e o clima foi relegada a segundo plano, em virtude de se ter energia em abundância e a um custo irrisório, ocasionando edificações completamente dependentes dos sistemas convencionais de energia, para se ter condições mínimas de habitabilidade na questão de conforto térmico para seus usuários.

A primeira crise de energia produzida pelo grande aumento do preço do petróleo, em 1973, fez retomar o pensamento em se criar uma edificação integrada ao clima local, uma arquitetura voltada ao meio ambiente, que possa liberar-se da dependência do consumo excessivo de energia. E também, a partir da década de 90, começa nova preocupação no meio de arquitetos e projetistas: difundir uma

arquitetura sustentável, que possua, entre outros objetivos, a integração da edificação ao meio. Consiste em um novo conceito de edificação, que funcione de maneira otimizada, sem esgotar os recursos naturais, preservando-os para as futuras gerações.

A decisão em se utilizar uma superfície de vidro na edificação deve estar intrinsecamente ligada à preocupação com o controle do consumo energético e não somente relacionada a questões estéticas. Com a crise de energia de 2001, foi sancionada a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. No artigo 4º, afirma que o poder executivo deve desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País. (LAMBERTS et al., 2005)

O movimento moderno impôs, de maneira hostil, que a arquitetura deveria seguir os mesmos preceitos da arquitetura adotada em países com clima bem distinto do Brasil, como as cortinas de vidro nas fachadas das edificações, que passaram a ser uma tendência inexorável. Percebe-se a presença dessas "curtain-walls" em diversas partes do mundo, independentemente das peculiaridades econômicas, culturais, sociais e climáticas.

As fachadas envidraçadas representam um personagem "vilão" no cenário da edificação, em termos de ganho e perda de energia. Assim, é de fundamental importância que se envidem esforços no sentido de se apurar a caracterização e análise da transmissão da radiação solar através de materiais translúcidos. Existem especificações referentes aos materiais transparentes, porém são escassas as informações sobre materiais translúcidos.

Firmino (1999) e Wilson (1990) complementam que é indiscutível a importância da especificação da superfície em vidro para que esta alcance o desempenho requerido em cada obra. Yannas (s/d) ressalta que especificar uma superfície envidraçada é uma situação árdua, pois envolve vários parâmetros que devem ser otimizados e que, às vezes, torna-se uma missão quase impossível, tendo assim que estabelecer prioridades na especificação desse elemento de fechamento.

As informações técnicas de fácil acesso referentes a superfícies envidraçadas são oriundas de catálogos de fabricantes. Vale salientar que são de superfícies transparentes, geralmente com divulgação de materiais que deveriam ser empregados em uma localidade com clima bem diferente da realidade brasileira e nem sempre de maneira clara e precisa, pois os catálogos têm o objetivo de divulgar o material de maneira que incentive a venda do produto.

Para a compreensão das informações contidas nesses catálogos, é necessária uma base conceitual sobre o assunto. Além dessas informações se deterem na questão de resistência mecânica, isolamento acústico e transmissão energética da radiação solar, sendo esta última tratada de forma generalizada, apresentando dados referentes à região do visível e ao fator solar, ignoram o comportamento do material na radiação ultravioleta e infravermelha.

Os dados, usualmente, tratam apenas da transmitância para incidência da radiação normal à superfície, circunstância que acontece na realidade em um período de tempo mínimo. Caram (2002) complementa que "*em todos os catálogos consultados as informações são insuficientes, apenas um catálogo importado da Sun Guardian acrescenta dados a respeito do coeficiente de ganho de calor solar, porém, referente ao infravermelho, nada é abordado.*" Tal fato, dificultaria que o projetista e/ou consultor fizesse uma correta análise do comportamento espectral individualmente (ultravioleta, visível e infravermelho).

Vale salientar, que há informações dúbias e até mesmo apresentando erros comprometedores, como, por exemplo, alguns catálogos de policarbonatos, que abordam a questão de resistência térmica de maneira indutiva, quando fala que o "*policarbonato é um melhor isolante que o vidro, porque sua condutividade é de 0,21W/mK contra 1,2W/mK do vidro*" (GE plastics, s/d). Realmente, a transmissão de calor por condução é menor, porém, ao analisar o desempenho térmico de materiais transparentes e translúcidos, existe a necessidade de se avaliar a capacidade de transmitir, absorver e refletir o fluxo incidente, aspectos esses primordiais e indispensáveis para uma correta avaliação.

Santos (2002) e Caram (2002) já estudaram a influência da variação do ângulo de incidência da radiação em superfícies transparentes, e constataram que a proporção de energia transmitida diretamente através do material transparente diminui, à medida que o ângulo de incidência da radiação se torna maior que 45° com a normal. Há uma carência enorme da análise desses dados para superfícies translúcidas.

Discussões pertinentes ao comportamento da radiação solar frente às superfícies transparentes com ênfase na eficiência energética vêm sendo realizadas por Caram (1996), Labaki et al. (1996), Sichieri et al. (1996), Alucci (1999), Carmody et al. (2000), Caram et al. (2001), Santos (2002), Gomes da Silva (2004). A princípio, as pesquisas divulgadas referiam-se apenas à transmissão da radiação em vidros transparentes, mas Caram (2002) e Santos (2002) ampliaram esses dados, caracterizando as porcentagens de radiação absorvida e refletida na região do ultravioleta, visível e infravermelho. Vale salientar que em pesquisas com relação aos vidros translúcidos nada consta até o momento; pretende-se com este trabalho divulgar dados referentes ao mesmo.

Em função desses fatos, e também das poucas referências na literatura acerca desse assunto, é bem-vinda a idéia, com uma certa premência, de estudar e caracterizar as propriedades óticas das superfícies translúcidas. Pode-se, dessa maneira, fornecer informações essenciais e inéditas que auxiliarão arquitetos e projetistas na especificação de superfícies translúcidas para as edificações, a fim de se obter uma resposta satisfatória da mesma em termos ambientais, e não só estético.

O texto ora apresentado foi dividido em cinco capítulos. O primeiro recebe a denominação de embasamento teórico. Realizando-se um levantamento de todos os termos, itens e símbolos utilizados na pesquisa; aborda desde a definição, origem e composição do vidro, passando pelos parâmetros necessários para a avaliação do desempenho térmico de um ambiente com uma superfície em vidro, até as novas tecnologias com superfícies translúcidas disponível no mercado nacional e internacional.

+

Introdução

No segundo capítulo, são apresentadas obras nacionais e internacionais que utilizaram o vidro translúcido no decorrer dos últimos dez anos, seja como função puramente estética, devido ao forte simbolismo desse material, ou com uma intenção mais aprimorada de diminuir o ganho de luminosidade no ambiente interno.

O terceiro capítulo descreve a metodologia adotada, assim como todos os passos pensados e seguidos para alcançar o objetivo desta pesquisa, os procedimentos adotados e as etapas seguidas; os equipamentos utilizados; e os ensaios realizados.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos nas duas maneiras distintas de obtenção: em laboratório, via espectrofotômetro; e *in loco*, via células-teste. E, à medida que os resultados são apresentados, já é realizada a sua análise e discussão.

Por fim, o quinto capítulo, que traz as considerações finais do trabalho.

Objetivo

Caracterizar o comportamento dos materiais translúcidos perante a radiação solar, levando em consideração o conforto térmico e luminoso no interior da edificação. São fornecidos dados inéditos a respeito da caracterização ótica dos materiais translúcidos, facilitando a ação do projetista na hora da escolha ou especificação desses materiais.

Objetivos específicos:

- ✓ observar e comparar *in loco* a temperatura interna das células-teste com diferentes superfícies translúcidas;
- ✓ medir e comparar *in loco* a iluminância nas células-teste com diferentes materiais translúcidos;
- ✓ caracterizar os diversos elementos translúcidos em relação à sua transmissão na região do ultravioleta, visível e infravermelho;
- ✓ comparar e confrontar os dados obtidos de transmissão espectral via espectrofotômetro e via células-teste.

+

Hipótese

Hipótese

Ocorre uma redução da transmissão da radiação nos vidros translúcidos quando a incidência acontece na superfície rugosa do vidro.

Capítulo 1

Emb a s a m e n t o Te ó r i c o

Neste capítulo, reúnem-se todos os termos, símbolos, fórmulas necessárias para a compreensão da pesquisa. Foi realizado um levantamento desde a história do vidro, suas características e propriedades, até fatores que influenciam no desempenho térmico e luminoso de um ambiente. Finaliza com a citação de diversos tipos de vidros translúcidos que vêm ganhando espaço nas edificações nacionais e internacionais.



1. Embasamento Teórico

1.1 Abertura Lateral

No século XIX, a arquitetura muda sua essência. Caminha-se para o rompimento da tradição da janela como quadro, as aberturas são prolongadas em todos os sentidos até o desaparecimento da conjugação: parede e janela. Jorge (1993) salienta que sua moldura se torna o teto e o chão, e a janela é formada pelo limite desses dois planos e o espaço externo.

Em decorrência, ilustres nomes da arquitetura moderna, como Mies van der Rohe, Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, Walter Gropius, mudaram completamente o sentido de sua arquitetura, enfatizando a participação da janela no jogo da reflexão-refração da luz, ora espelhando a cidade, ora aprisionando a luz, que é a própria matéria com que trabalha.

Ao se falar da utilização do vidro em fachadas, tornando a transparência um parâmetro de projeto com valor expressivo, não se pode deixar de citar a Fábrica Fagus, em 1911 (Figura 1.1), projeto do arquiteto alemão Walter Gropius, em Alfeld an der Leine, onde utilizou o vidro de forma inteiramente nova e revolucionária. É nessa obra que aparecem pela primeira vez os cantos da edificação em vidro, sem intervenção de nenhuma superfície opaca. “Aqui os vidros correm sem interrupção em volta do edifício, sem suporte algum, nem elemento de encontro dos ângulos, os pilares nos quais se apóia são colocados por trás do vidro, de modo que a cortina de vidro vem representar um exemplo da mais pura construção em balanço” (GIDEON, 1978).

Em seguida, em 1947, destaca-se Mies van der Rohe, com a amostra de suas obras no museu *of Modern Art*, onde foram consideradas um marco as soluções dispostas por ele nas estruturas de aço e vidro.



Dutra (1994) considera a janela um dos mais expressivos elementos da fachada arquitetônica e destaca o tratamento dado, a esse elemento, por diversos arquitetos como Adolf Loos, Louis Khan, Eolo Maia e Mário Botta, que a tornaram, por sua vez, o mais importante elemento da fachada.

Figura 1.1 – Fábrica Fagus, projeto de Walter Gropius

Fonte:

www.anxo.org/artigos/050600.html

Para Fry (1982), a janela tem a capacidade de interferir no espaço interno, além de permitir a presença da luz, ar, calor e da paisagem que será apreendida pelo usuário no interior da edificação, promovendo o rompimento da privacidade íntima do ambiente interno pelo cotidiano da cidade.

A arquitetura do Movimento Moderno mostra a nova amplitude conquistada pela janela, graças ao uso do vidro associada à tecnologia da estrutura, o concreto armado e a estrutura metálica. Desvincula a arquitetura do peso e da solidez e surge uma nova arquitetura, os grandes arranha-céus, a conhecida cortina de vidro, típica do Estilo Internacional, importada como símbolo de poder e com ausência de preocupação com a adaptação da edificação ao clima local.

Nessa época, a energia possuía custos relativamente baixos e era abundante, por isso não existia a preocupação com a economia, com uma arquitetura sustentável, já que se tratava de uma edificação totalmente dependente de recursos energéticos artificiais. *“Além da falta de incentivos para que os órgãos públicos, os arquitetos e os construtores levassem em consideração os problemas energéticos percebidos durante a vida útil da edificação”* (Caram, 1996). Mas a crise e o embargo do petróleo na década de 70 reverteu essa tendência, ressaltando a necessidade de se modificar o uso indiscriminado de energia. As mudanças ocorridas no país fizeram ressurgir a concepção do aproveitamento dos recursos naturais nas edificações.

De acordo com Caram (1996), as fachadas de uma edificação constituem um elemento de proteção entre as condições internas e externas, sendo que Koenigsberger (1977) ressaltava que as fachadas *“promovem condições ambientais internas agradáveis, agindo como superfície seletora, que exclui condições indesejáveis e aproveita condições benéficas do ambiente externo.”* A ASHRAE¹ complementa que as fachadas possuem enorme responsabilidade no tocante ao conforto ambiental da edificação, sem deixar de satisfazer diversas exigências humanas, como: iluminação natural, aquecimento no período frio, estética.

Para Olgay (1973), o abrigo constitui-se no principal instrumento para cumprimento das exigências de conforto, já que pode modificar o ambiente natural, de forma a serem obtidas condições ótimas de existência. E Magalhães (1995) afirma que a forma arquitetônica não pode ser apenas uma composição plástica, mas deve responder a uma série de requisitos técnicos, entre os quais os de conforto ambiental devem ocupar lugar relevante.

“A janela não é um simples artifício construtivo que permite ventilar e iluminar um aposento. Exatamente por ser uma abertura do universo privado, que é a casa, para o exterior, ela carrega valores simbólicos, culturais e estéticos, que são inseparáveis da própria noção que se tem da janela” (ABCI², 1991).

A ABCI (1991) relata um comentário da evolução da relação dos vãos com a parede, realizado por Lúcio Costa: *“nas casas mais antigas, presumivelmente nos fins do séc. XVI e durante todo o séc. XVII, os*

¹ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS.

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA.



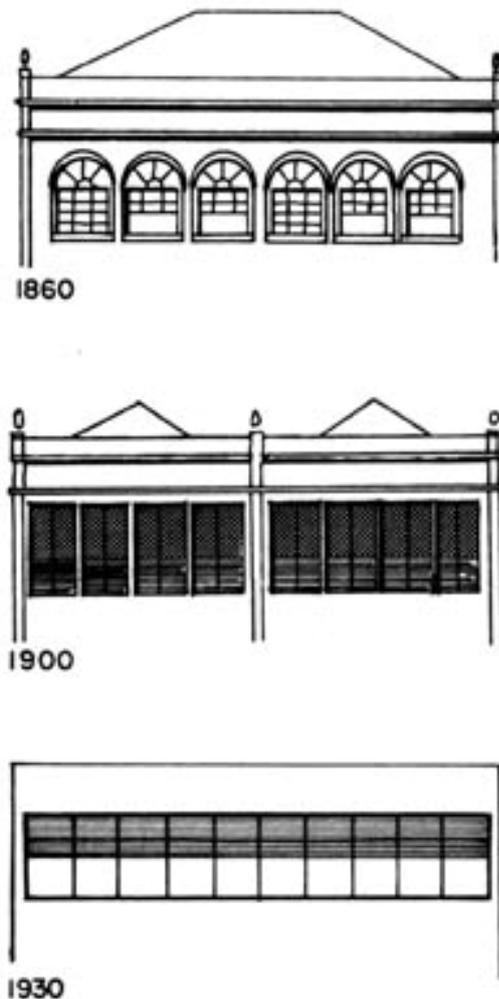
cheios teriam predominado, e logo se compreende por que; à medida, porém, que a vida se tornava mais fácil e mais policiada, o número de janelas ia aumentando; já no séc. XVIII cheios e vazios se equilibram, e no começo do séc. XIX predominam francamente os vãos; de 1850 em diante as ombreiras quase se tocam, até que a fachada, depois de 1900, se apresenta praticamente toda aberta, tendo os vãos, muitas vezes, ombreira comum.

O que se observa, portanto, é a tendência para abrir sempre e cada vez mais.” Pode-se ilustrar o comentário de Lúcio Costa por meio da Figura 1.2.

Quando se parte para o estudo sobre a influência das características arquitetônicas no consumo de energia, tem sido utilizada como parâmetro a relação da área envidraçada sobre a área total da fachada, representada pelo coeficiente WWR (Window Wall Ratio). Quando este coeficiente ultrapassa 50%, ou seja, a área de janela é maior que 50% da área da fachada, o desempenho é insatisfatório e começa a necessidade de resfriamento do ar interno.

Toledo et al. (1995) ressaltam que, para avaliar o desempenho energético de edificações com fachadas envidraçadas, é de fundamental importância o WWR e o fator solar dos vidros.

Figura 1.2 - Evolução da relação dos vãos com a parede
Fonte: ABCI, 1991.



1.2 Conforto Térmico e Luminoso

O conforto térmico está intrinsecamente associado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o ambiente, e este último depende de algumas grandezas, como: temperatura e umidade do ar, temperatura radiante e velocidade do vento; e grandezas pessoais, taxa metabólica e a resistência

térmica da vestimenta. Já o conforto luminoso depende de dois quesitos básicos: a intensidade e a qualidade da luz.

Segundo a ISO 7730 (2005) e a ASHRAE (2004), conforto térmico pode ser definido como a “*condição de estado da mente que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico*”.

Na literatura nacional e internacional, encontram-se a preocupação e estudos com o conforto térmico e luminoso e com o ganho de energia em ambientes com superfícies em vidros planos comuns, refletivos e laminados, como Castro et al. (2007); Motta (2007); Bispo et al. (2005), Castro al. (2005); Bordeira et al. (2005); Castanheira e Corbella (2005); Santos e Roriz (2005); Castanheira e Corbella (2005); Michelato et al. (2005); Fernandes (1998); Labaki et al. (1999); Caram (1996), Goetzberger (1987); Kaushika e Sumathy (2003); Arulanantham et al. (1998); Dolley et al. (1994); Etzion e Erell (2000); Magalhães (1995); mas tratando-se de superfícies translúcidas, nada consta até o momento. Pretende-se, com a finalização desta pesquisa, iniciar um acervo correlacionando o conforto térmico e luminoso em ambientes revestidos com superfícies translúcidas, seja ela em vidro ou policarbonato.

Comparando-se um fechamento opaco com um translúcido ou transparente, é nos fechamentos translúcidos ou transparentes que acontecem as principais trocas térmicas, e a passagem da luz para o interior da edificação. Portanto, essas superfícies atuam diretamente no conforto luminoso e térmico.

A radiação solar, ao incidir no vidro transparente (Figura 1.3), parte da energia é transmitida diretamente para o interior do ambiente, fato que diferencia do fechamento opaco e translúcido, parte refletida e parte é absorvida pelo material.

No caso de superfícies transparentes, cerca de 1/3 desta radiação absorvida é reenviada para o ambiente interno com comprimentos de ondas longas, entre 7000 e 10000nm (VAN STRAATEN, 1967). Essas proporções dependerão do Fator Solar-FS do vidro. De acordo com a ASHRAE (1993) o Fator Solar é denominado de Coeficiente de Ganho de Calor Solar, sendo, no entanto, diferenciado do Fator Solar por possuir valor variável de acordo com o ângulo de incidência.

Nas superfícies translúcidas (Figura 1.4), também acontece à reflexão, absorção e transmissão, porém esta última ocorre de maneira diferente: a luz, ao penetrar no vidro translúcido, difunde-se e sai como uma luz difusa e não direta, como no vidro transparente.

Ao especificar uma superfície transparente ou translúcida é necessário um cuidado redobrado com a dimensão, orientação, uso de proteções solares externas e os tipos de vidros a serem utilizados, pois a radiação solar penetra no ambiente através da superfície transparente, incide nos corpos que se aquecem e esta energia é transformada em radiação de onda longa, em relação a qual o vidro e o policarbonato são opacos. Como citam McCluney (1993), Caram (1996) e Givoni (1982), o *aquecimento excessivo devido a superfícies transparentes é causado por um efeito térmico conhecido como efeito estufa*. Enfim, uma vez transmitido para o interior do ambiente, o calor não atravessa o vidro ou policarbonato, sendo então acumulado no ambiente interno. Através da Figura 1.5, pode-se visualizar

melhor a transmissão do infravermelho no intervalo de comprimentos de onda de 2500nm a 25000nm, em três materiais transparentes diferentes que são utilizados nas fachadas das edificações, e percebe-se que o vidro e os policarbonatos são completamente opacos a comprimentos de onda entre 7000nm e 13000nm; esse intervalo corresponde ao infravermelho longo gerado no interior do ambiente. Dessa maneira, todos esses materiais produzem o efeito estufa.

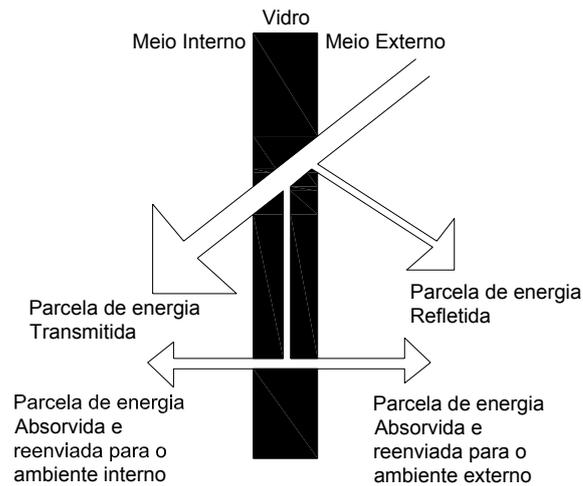


Figura 1.3 – Esquema do comportamento da radiação ao incidir em uma superfície transparente

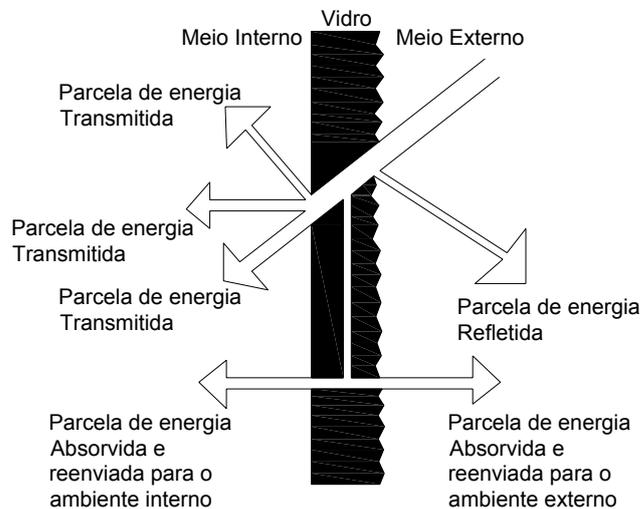


Figura 1.4 – Esquema do comportamento da radiação ao incidir em uma superfície translúcida

Macedo (2002) ressalta “*como o fluxo radiante, transmitido através das superfícies transparentes, afeta tanto o desempenho térmico quanto luminoso. A análise combinada do impacto desses dois parâmetros sobre a edificação torna-se uma questão decisiva para a otimização do uso de energia em edificações.*”

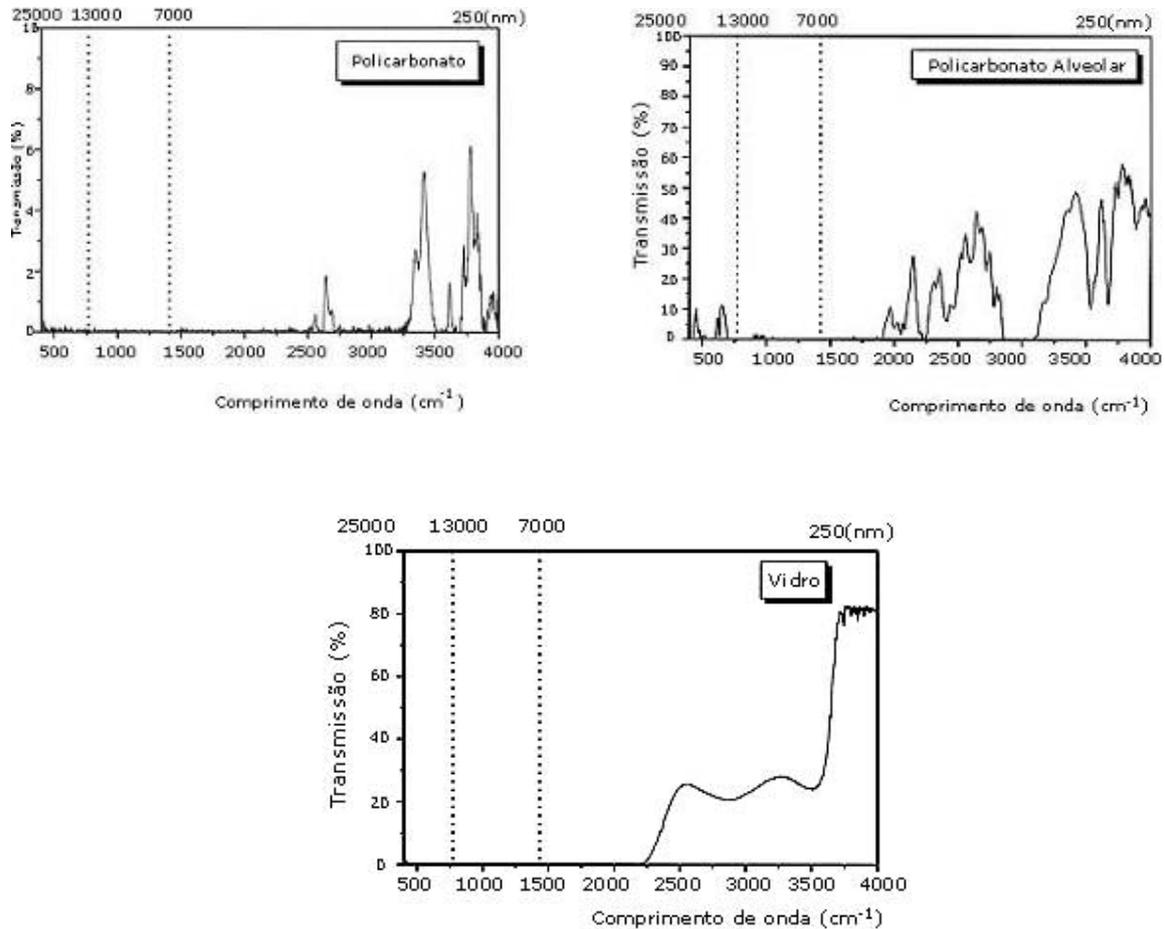


Figura 1.5 – Curvas de transmissão espectral do polycarbonato de chapa compacta, polycarbonato alveolar e do vidro comum incolor ao infravermelho longo (7000 a 13000nm)
 Fonte: Labaki et al., 1999

Na literatura³, encontra-se uma metodologia para facilitar a especificação da superfície transparente no projeto arquitetônico. Em virtude do clima tropical, parte-se da premissa que se deseja o mínimo valor possível do Fator Solar (FS) e o máximo para a Transmissão Luminosa (TL). No entanto, sabe-se que a superfície transparente e translúcida responde de maneira diferente a cada região do espectro; e adotar simplesmente como parâmetro o FS para realizar a escolha do vidro não é o procedimento mais adequado. Portanto, a partir dos três valores destacados na Tabela 1.1, referentes ao vidro incolor, e a proporção de radiação referente ao visível e infravermelho que atinge a superfície terrestre, é possível determinar a Eficiência Luminosa (EL) e a Eficiência Térmica (ET) para qualquer tipo vidro. Dessa maneira, obtém-se uma avaliação mais criteriosa quanto ao vidro indicado em cada caso. Quanto maiores os valores para a eficiência luminosa (EL) melhor, já se tratando da eficiência térmica (ET), o processo se inverte, o ideal são os menores valores.

³ Fonte: <http://www.usp.br/fau/deptechnologia/docs/bancovidros/termica.htm>

De acordo com Carmody et al. (2000) uma maneira eficaz de analisar a relação entre o ganho de luz e calor através de superfícies transparentes é o “*Coolness Index*”, que pode ser definido como o quociente entre a transmitância de luz visível e o coeficiente de sombreamento de determinada superfície transparente. Quanto maior o “*Coolness Index*”, mais seletiva é a vedação transparente com relação à transmitância da luz visível em detrimento do calor.

Outro procedimento adotado é o da ASHRAE (1997), em que adota um coeficiente semelhante ao “*Coolness Index*”, definido como a relação entre a transmissão da luz visível e o ganho total de calor solar (GCS) ou Fator Solar (FS).

Tabela 1.1 – Transmissão da radiação nos intervalos: ultravioleta, visível e infravermelho

Vidro Plano	Espessura	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
		ultra-V	Visível	infra-V	
Incolor	4 mm	39	88	77	78
	6 mm	38	86	70	72
Cinza	4 mm	14	57	56	54
	6 mm	12	46	43	42
Bronze	4 mm	14	61	57	56
	6 mm	11	49	54	52
Verde	4 mm	18	71	43	48
	6 mm	16	68	40	45
Refletivo Incolor*	6 mm	6	34	60	53
Refletivo Prata*	6 mm	18	54	63	60
Refletivo Cinza*	6 mm	11	43	72	63
Refletivo Bronze*	6mm	5	28	45	40
Refletivo Verde*	6 mm	5	53	42	43
Lam. Incolor	6 mm	2	85	63	65
Lam. Cinza	6 mm	1	45	55	51
Lam. Bronze Claro	6 mm	1	53	55	52
Lam. Bronze Escuro	6 mm	1	31	42	38
Lam. Verde	6 mm	2	81	65	66
Lam. Rosa	6 mm	1	52	55	52
Lam. Azul	6 mm	1	75	65	64

* Vidros refletivos pirolíticos

Fonte: Caram, 1996.

A preocupação com o conforto ambiental e o consumo de energia constituem os dois critérios principais que o projetista deve atender na escolha de uma superfície transparente ou translúcida. Sendo assim,

Alucci (1999) fez simulações utilizando um ambiente de 10 X 10m, com fachada oeste totalmente envidraçada (vidro de 6mm de espessura, plano monolítico, na cor verde), às 15 horas, no mês mais quente do ano. Foi analisado o desempenho térmico e luminoso em três cidades brasileiras: São Paulo, Brasília e Rio de Janeiro e os resultados podem ser observados na Figura 1.6.

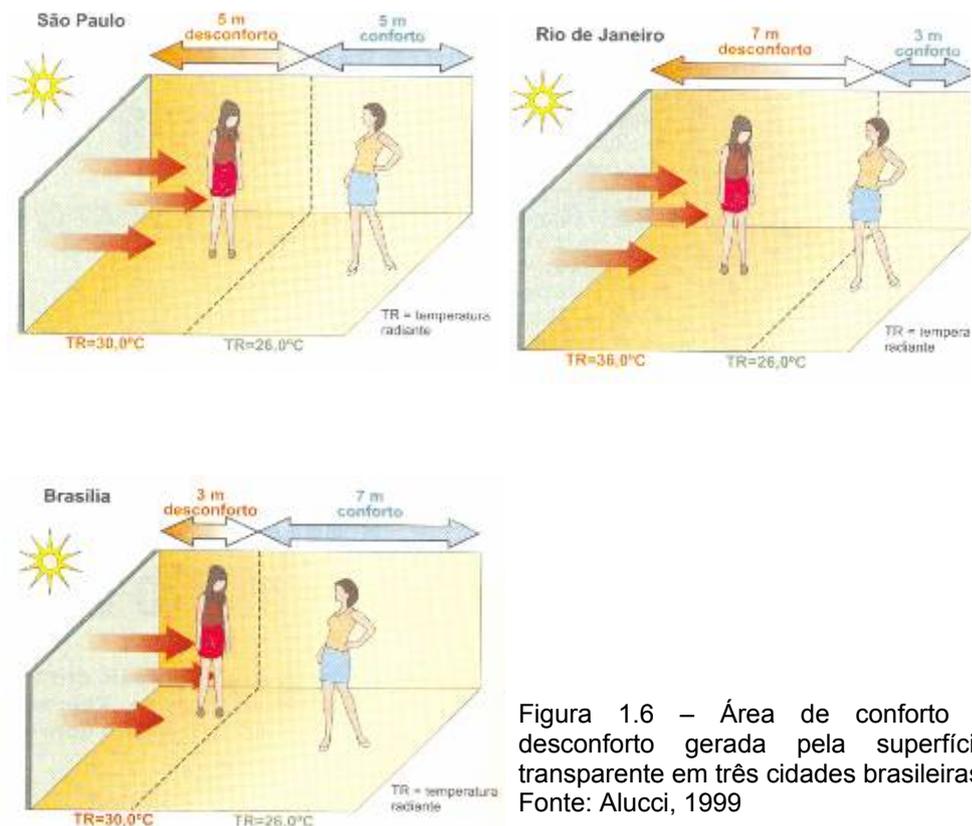


Figura 1.6 – Área de conforto e desconforto gerada pela superfície transparente em três cidades brasileiras
Fonte: Alucci, 1999

A iluminação de um ambiente pode influenciar diretamente no comportamento do indivíduo, gerando um ambiente confortável ou não, alterando, dessa forma, o desempenho da realização de determinada tarefa visual. Conforto luminoso ou visual abrange um conjunto de condições (iluminância suficiente; boa distribuição de iluminância; ausência de ofuscamento⁴, etc), em um determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas atividades visuais com o máximo de acuidade⁵ e precisão visual.

Para se obter o conforto luminoso, deve-se evitar o ofuscamento, e este pode depender da quantidade de luz que atravessa o material translúcido. Sendo assim, é interessante analisar o vidro que será

⁴ De acordo com a ABNT, é a condição de visão na qual há um desconforto ou uma redução da capacidade de distinguir objetos, ou ambos, devido a uma distribuição desfavorável das luminâncias ou a luminâncias elevadas, ou a contrastes excessivos no espaço ou no tempo.

⁵ Para a ABNT, em sentido qualitativo, é a capacidade de ver distintamente objetos que se apresentam muito juntos; em sentido quantitativo, é o inverso do valor, geralmente em minutos de arco, do menor ângulo sob o qual o olho pode ainda perceber separados dois objetos, pontos ou linhas que se apresentam muito juntos.



especificado para determinada abertura, levando em consideração a transmissão na região do visível, juntamente com a orientação da abertura e a latitude onde se encontra a edificação.

Alucci (1999) realizou um experimento para verificar o grau de ofuscamento em um ambiente (com revestimentos internos em cores claras e escuras) com fachada voltada para oeste com vidro monolítico verde, de 6mm de espessura, na cidade do Rio de Janeiro. Concluiu que existe ofuscamento, mas que pode ser amenizado quando o revestimento do ambiente interno for de cor clara ou houver a utilização de proteções internas (cortinas, persianas, etc)

Robbins⁶ (1986), apud Magalhães (1995), sugere que os níveis de transmitância dos vidros devem variar de acordo com a orientação das aberturas. Como, por exemplo, se um edifício tem fachadas norte, leste, sul e oeste, as transmitâncias devem ser: 85% na fachada norte (trata-se do hemisfério norte), 75% na fachada leste, 65% na fachada sul e 40% na fachada oeste. A diferença entre o leste e oeste se deve ao fato de que a temperatura do ar é geralmente mais baixa pela manhã.

Um exemplo desta preocupação em especificar vidros com diferentes características óticas, levando em consideração a orientação da fachada e conseqüentemente à transmissão luminosa, é o Edifício Birmann 21, de Skidmore, Owings & Merrill, de New York, em parceria com o escritório brasileiro Kogan, Villar e Associados. No Edifício Birmann 21, as fachadas foram projetadas em função da carga térmica e luminosa que iriam receber, portanto a norte (Figura 1.7) e a oeste (Figura 1.8) possuem pequenas aberturas, a leste (Figura 1.9); as aberturas foram com maiores dimensões, e a sul (Figura 1.10) constituiu uma cortina de vidro. Foi especificado o mesmo tipo de vidro, vidro laminado refletivo prata, de 10mm de espessura, porém com diferentes características óticas, que variavam de acordo com a fachada onde seriam inseridos, mas levando em consideração as seguintes características:

Fachadas norte e oeste – 9,7% transmissão luminosa;
23,6% reflexão luminosa;
61,6% absorção solar;
23,6% fator solar;
0,27% coeficiente de sombreamento.

Fachadas sul e leste - 19,4% transmissão luminosa;
61,7% absorção solar;
31,3% fator solar;
0,36% coeficiente de sombreamento.

⁶ Robbins, C. L. Daylighting: Design and Analysis. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.



Figura 1.7 – Fachada norte
Fonte: Sardeiro, 2003



Figura 1.8 – Fachada oeste
Fonte: Sardeiro, 2003



Figura 1.9 – Fachada leste
Fonte: Sardeiro, 2003



Figura 1.10 – Fachada sul
Fonte: Sardeiro, 2003

1.3 Luz Natural

A importância da luz natural é ressaltada por inúmeros mestres do movimento moderno, como em Le Corbusier: “nossos olhos são feitos para ver a forma sob a luz e habituamo-nos ao ar livre e a plena luz”. Mies van der Rohe registra que essa mudança de paradigma só foi possível com o advento das novas tecnologias de construção. Louis Kahn, com o pensamento extremamente pessoal sobre o uso da luz, diz: “o projeto de um edifício deve ser lido como uma harmonia de espaços em luz, pois toda a matéria é luz (...)”

A luz natural penetra nos ambientes através das aberturas e estas, desde 1331, na Bolonha, receberam um material inédito, o vidro. A partir daí, o uso do vidro nas janelas foi acelerado pelo desenvolvimento da civilização na Europa Setentrional e Ocidental, que necessitava de maior proteção contra o clima.

Diante das diversas razões da utilização da luz natural como fonte de iluminação, Scarazzato (1995) salienta a qualidade da luz natural que é, sem dúvida, a principal razão para justificar o seu uso no interior dos edifícios, “*pois sendo uma combinação entre a luz do Sol e a luz do céu, é a única fonte de luz cuja resposta do sistema visual humano é a mais eficiente, pelas características do seu espectro luminoso, o que não acontece com nenhuma fonte de luz produzida pelo homem.*” É importante que se tenha um maior conhecimento a respeito do uso adequado da iluminação natural no interior dos edifícios.

Williams (1954) destaca ainda que a qualidade espectral da luz influencia na aparência das cores; mesmo com os avanços da tecnologia, a luz natural é considerada a melhor na reprodução das cores, tendo o sentido humano de visão como referência.

Cabús (1997) e Pereira (1995) enfatizam a importância do correto dimensionamento das aberturas, com vistas a se obter a quantidade de luz necessária para as atividades ali exercidas, sem ganho extra de calor e com consumo mínimo de luz artificial.



Robbins (1986) também afirma que o sistema de iluminação natural tem como objetivo, através das aberturas, permitir a entrada de luz natural na habitação onde houver necessidade, contribuindo, assim, para a diminuição do consumo de luz artificial e, portanto, de energia elétrica. Nesse contexto, Pereira (1995) coloca que esse critério no projeto tem grande influência no desempenho global das edificações, exigindo um projeto adequado, visto que as aberturas influenciam não só no desempenho luminoso, como também no térmico e acústico.

Em decorrência da crise energética da década de 70, aumentaram as preocupações e as atenções para os benefícios da iluminação natural. A luz solar começou a ser levada em consideração como uma técnica potencial para a iluminação e economia de energia. (ROSENFELD e SELKOWITZ, 1997)

Segundo Lamberts (1997), do total da produção nacional de energia elétrica, 23% é destinado ao uso em arquitetura residencial, e Jannuzzi (1992) discrimina que cerca de 16% do total de energia elétrica consumida no país é para iluminação. De acordo com Ghisi (1997), a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Souza (1995) salienta que o aproveitamento da luz natural poderá reduzir o consumo de energia elétrica gasta no sistema de iluminação artificial. E Ne'eman (1998) acrescenta que a utilização eficiente da luz natural pode reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação em até 50%.

1.4 Fatores de Avaliação no Desempenho de Superfícies Translúcidas

A seguir serão apresentados fatores que ajudam na avaliação do material translúcido frente à radiação solar, visando facilitar a compreensão e a utilização de vidros e policarbonato perante o conforto térmico e luminoso.

1.4.1 Fator Solar

É o somatório da parcela da radiação que atravessa diretamente o vidro, com a parcela que é absorvida pelo vidro e reenviada para o ambiente interno (GIVONI, 1982). A última parcela é função das condições ambientais externas e internas (as condições padrão de verão da ASHRAE são: coeficiente de transferência de calor na superfície externa e interna do vidro: $h_e = 22,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $h_i = 8,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). E literaturas⁷ complementam: o Sol a 30° acima do horizonte, em plano perpendicular à fachada; temperatura interior ambiente igual à temperatura exterior e coeficiente de condutância térmica superficial (exterior: $23 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e interior: $8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

⁷ <http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm>

Convém observar que a definição de Fator Solar (FS) dada pela ABNT é “o quociente da energia solar absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo”.

O FS serve para caracterizar um determinado material, ou seja, através dele sabe-se a quantidade de energia que atravessa o material, chegando ao interior do ambiente, por exemplo.: o fator solar de um vidro simples de 3mm é de 0,87; isso significa que, 87% da radiação solar incidente sobre o vidro penetra no ambiente. Portanto, quanto maior o fator solar, maior a quantidade de energia transmitida. A Tabela 1.4 apresenta o fator solar para outros tipos de vidro.

$$FS = \tau + 1/3\alpha$$

Fonte: ASHRAE, 1997

Tabela 1.4 – Valores de Fator Solar para diferentes tipos de vidro

Superfícies Separadoras		Fator Solar
Vidros	Transparente (simples) 3mm	0,87
	6mm	0,83
	Transparente (duplo) 3mm	0,75
	Cinza (fumê) 3mm	0,72
	6mm	0,60
	Verde 3mm	0,72
	6mm	0,60
	Reflexivo 3mm	0,26 – 0,37

Fonte: Lamberts, 1997

Santos (2002) cita a fração de 1/3 e Lamberts et al. (1997) de 1/2 para a energia absorvida e reenviada para o ambiente interno. Para exemplificar essa proporção, tem-se o vidro *High-Performance Reflective Glass*, fabricado nos Estados Unidos pela Sun Guardian, que chega a 87% de absorção. Isso significa que cerca de 29% será reenviada para o interior em forma de calor, e este constitui um percentual bastante significativo e definidor na hora de escolha da superfície transparente ou translúcida.

O FS normalmente é indicado pelos fabricantes dos materiais transparentes e translúcidos e através dessa variável, é possível calcular o ganho de calor solar.

1.4.2 Ganho de Calor Solar

É a quantidade de energia que incide sobre uma superfície transparente ou translúcida e que penetra no ambiente interno da edificação, não sendo somente um fator, mas um valor total de energia admitida pela



vedação em um período de tempo, ou seja, é a soma do Fator Solar – FS e da transferência de calor, devido à diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo.

O Ganho de Calor Solar – GCS é obtido multiplicando-se a energia incidente pelo Fator Solar - FS e depende do ângulo de incidência da radiação.

$$\text{GCS} = \text{FS} (I_0) + U(T_e - T_i)$$

Onde:

I_0 – energia incidente (W/m^2)

U – transmitância térmica do componente (W/m^2)

$(T_e - T_i)$ – diferença de temperatura entre o ar externo e interno ($^{\circ}\text{C}$)

O termo $U(T_e - T_i)$ se refere as trocas de calor por diferença de temperatura e representa ganho quando

$T_e > T_i$ e perda quando $T_e < T_i$.

1.4.3 Coeficiente de Sombreamento

Pode ser definido como a razão entre o Fator Solar-FS ou Ganho de Calor Solar de um vidro com o Fator Solar-FS ou Ganho de Calor Solar de um vidro incolor padrão de 3mm de espessura, de $\text{FS} = 0,87$. O vidro de referência para a norma americana é o DSA (*double strenght sheet glass*), vidro estirado incolor de 1/8 de polegada e resistência mecânica duas vezes maior do que o vidro comum. As características ópticas do DSA são: transmitância direta de 0,86; refletância de 0,08 e absorvância de 0,06. O coeficiente de sombreamento pode ser definido também como $\text{CS} = (\text{transmissividade total do vidro}) / (\text{transmissividade total do DSA} = 0,87)$.

O coeficiente de sombreamento-CS foi criado há 30 anos pela ASHRAE⁸, com o objetivo de fornecer o ganho de calor solar, comparando o efetivo controle solar obtido por diferentes sistemas de aberturas ou combinações dessas com proteções solares internas e externas.

A ASHRAE fornece tabelas com os coeficientes de sombreamento para facilitar os cálculos de ganhos solares, especificando alguns tipos de aberturas utilizadas e também a intensidade da radiação e o Fator Solar do vidro de referência, para 16 diferentes orientações de fachadas e latitudes norte, variando de 8° entre 16° e 64° , levando em consideração o ângulo de incidência solar. Esses dados são fornecidos para o 21° dia de cada mês do ano, tido como médio, sendo adotadas determinadas condições ambientais médias. (SANTOS, 2002)

⁸ ASHRAE American Society of Heating, Refrigeration Air Conditioning Engineers.

Apesar de ter o nome de coeficiente de sombreamento, é interessante ressaltar que, quanto menor for o valor do coeficiente de sombreamento, menor será o ganho de calor e, conseqüentemente, tem-se maior proteção contra a radiação solar.

$$\boxed{CS = \frac{\text{Fator Solar do vidro analisado}}{\text{Fator Solar do vidro padrão}}} \quad \text{ou} \quad \boxed{CS = \frac{\text{Ganho de Calor Solar do vidro analisado}}{\text{Ganho de Calor Solar do vidro padrão}}}$$

1.4.4 Coeficiente Global de Transferência de Calor

Também pode ser encontrado como coeficiente de transmissão térmica (K). Na literatura inglesa, chama-se “*Overall Coefficient of Heat Transfer*”, também conhecido como “*U-Value*”, dando origem ao termo “Valor U”, encontrado em algumas tabelas técnicas de fabricantes de vidros nacionais e internacionais.

É uma grandeza que mede a transferência de calor através do vidro por efeito de condução, convecção e radiação. Quando a temperatura externa (t_e) é maior do que a interna (t_i), o calor flui para dentro do ambiente e vice-versa. O “valor U” depende das condições ambientais externas e internas, sendo definidos coeficientes globais de transferência de calor para as condições de verão e de inverno pela ASHRAE, nas seguintes condições:

verão: $h_e=22,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $h_i=8,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

inverno: $h_e=25,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $h_i=8,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Em termos práticos, o “*Valor U*” mede a taxa do fluxo de calor através de um material e diz o quanto um vidro em particular conduzirá o calor ou isolará o ar aquecido ou resfriado do ambiente. Quanto menor o número, menor a taxa de condução de calor. O “*Valor U*” ou a Transmitância é igual o inverso da resistência.

$$\boxed{U = 1 / R}$$

Onde:

U = Transmitância

R = Resistência

$$\boxed{R = 1/h_i + d/\lambda + 1/h_e}$$

Onde:

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

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

λ = Condutividade térmica do material ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)

d = Espessura do componente (m)



A resistência térmica d/λ é pequena para envidraçados, em comparação com os outros termos da equação, devido a pequena espessura dos vidros utilizados nas janelas.

1.4.5 Emissividade

É uma característica da superfície dos corpos. Quanto mais reduzida for a emissividade, mais reduzida é a transferência de calor por radiação.

A emissividade normal de um vidro é de 0,89, mas pode variar de 0,84 para os vidros não-revestidos até 0,10 para vidros revestidos com uma camada designada de baixa emissividade. Quanto menor o valor da emissividade, menor o “Valor U” resultante.

A emissividade varia de 0 (não há emissão de infravermelho longo) a 1 (100% de emissão de infravermelho).

Uma janela de baixa emissividade, essencialmente, dobra a resistência térmica, porque um revestimento de baixa emissividade praticamente barra a condução de infravermelho.

1.4.6 Fator de Luz do Dia

De acordo com Baker et al. (1993) o fator de luz do dia pode ser definido como a relação entre a iluminância em um ponto de um plano qualquer devido à luz difusa recebida direta ou indiretamente do céu, e a iluminância em um plano horizontal, totalmente sem proteção, devido à mesma luz. A luz solar direta em ambos os casos deve ser excluída. E é expresso em porcentagem.

Sardeiro (2002) ressalta que o fator de luz do dia é considerado como a forma mais real de se medir iluminação natural, pois possui a vantagem de ser uma relação que permanece constante mesmo que varie a luminosidade externa, ou seja, a luz do dia no exterior pode aumentar ou diminuir, o fator de luz do dia continua o mesmo, e isso porque a iluminação interior se modifica simultaneamente com a luz do dia exterior.

Koenigsberger (1980) afirma que o fator de luz do dia (FLD) é apropriado para avaliar o nível de iluminância interna para céu encoberto quando a direção da luz do Sol é desconhecida. Para calcular o fator de luz do dia, determina-se o valor de cada componente e faz-se necessário o somatório.

$$\text{FLD} = \text{C.C} + \text{C.R.E} + \text{C.R.I}$$

Onde:

C.C = Componente do céu

C.R.E = Componente de reflexão externa

C.R.I = Componente de reflexão interna

Segundo Goulding et al. (1994), para caracterizar a maneira como a luz natural entra no edifício é comum examinar a distribuição da iluminância no interior da edificação em função da luminosidade exterior, ou seja, conhecer a distribuição do fator de luz do dia internamente. E ainda, a luz que chega a um determinado ponto de um ambiente pode vir de três fontes: abóbada celeste (C.C), reflexão no meio externo (C.R.E) ou reflexão nas superfícies internas (C.R.I). Portanto, para obter o fator de luz do dia será necessário a soma desses três paramentos.

O Fator de Luz do Dia (FLD), na CIE⁹ (1987) apud Santos (s/d) é o *parâmetro de uso mais generalizado na caracterização e quantificação das condições de iluminação natural nos edifícios. O FLD define-se como sendo o quociente (expresso em porcentagem) entre a iluminância num dado ponto de um dado plano no interior de um compartimento devida a um céu de distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminância exterior num plano horizontal proveniente de um hemisfério desobstruído desse céu. A contribuição da radiação direta para ambas as iluminâncias é excluída.*

1.5 Alternativas no Controle de Ganho Solar

1.5.1 Envidraçamento Múltiplo

Quando o objetivo principal é reduzir as perdas de calor por diferença de temperatura sem se reduzir muito os ganhos de energia solar, ou seja, em uma condição típica de inverno, a melhor opção é o envidraçamento múltiplo. Situação mais propícia no hemisfério norte. Como consequência traz três benefícios principais:

- melhoria das condições de conforto térmico, especialmente porque a temperatura superficial interna da janela ficará mais próxima da temperatura do ar, tanto de dia quanto de noite;
- diminuição do risco de condensação superficial;
- diminuição da carga térmica de aquecimento.

No verão, embora os benefícios sejam menos significativos, têm-se pequenas reduções nos ganhos de calor por transmissão de energia solar.

Mas as janelas com envidraçamento duplo ou múltiplo, são mais eficientes sob o ponto de vista do isolamento térmico, devido à camada de ar; e se essa for substituída por um gás (argônio, criptônio) com condutividade mais baixa, o resultado será melhor alcançado.(Figura 1.11)



Figura 1.11 – Isolação térmica com a inserção de gás
Fonte: Lamberts et al., 1997

⁹ COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE): International Lighting Vocabulary. 4Ed. IEC/CIE, 1987.



Cabús (1998) relata que pesquisas realizadas no Lawrence Berkeley Laboratory, na Califórnia, mostraram que a utilização do gás criptônio, entre as duas lâminas de vidro, consegue baixar a transmitância para menos de $0,20\text{W/m}^2\text{K}$ e, com a adição de películas de baixa emissividade, esse valor pode chegar a $0,10\text{W/m}^2\text{K}$.

Carmody et al. (2000) realizaram um experimento para avaliar o desempenho de janelas com várias camadas de vidro com película de baixa emissividade (Figura 1.12), e janelas com várias camadas de vidro intercaladas com camada de gás, em uma única janela, as conhecidas *superjanelas*. Através de imagens no termográfico (Figuras 1.13 e 1.14), com janelas de vidro duplo e quádruplo, pode-se visualizar os resultados. Os sensores foram fixados em uma das superfícies do vidro para obter a temperatura do mesmo e, por meio das cores, pode-se constatar a temperatura do vidro, que varia de 20 a 68°F (Figura 1.15), variando das cores violeta ao laranja, respectivamente.



Figura 1.12 – Janela isolante
Fonte: Carmody et al., 2000



Figura 1.13 – Janela com vidro duplo
Fonte: Carmody et al., 2000



Figura 1.14 – Janela com vidro quádruplo
Fonte: Carmody et al., 2000



Figura 1.15 – Escala de temperatura no termograma (°F)
Fonte: Carmody et al., 2000

1.5.2 Vidros Absorvedores de Calor

Também denominados de vidros atérmicos, estão enquadrados os vidros coloridos (Figura 1.16). Eles fazem com que a energia solar transmitida pela janela seja reduzida que no caso em que se utilizam vidros incolores comuns, uma vez que sua absorvência à radiação solar é maior; é muito indicado quando se deseja o controle do ofuscamento. A presença de óxidos metálicos na sua composição, por exemplo, faz com que o vidro absorva mais energia solar em diferentes comprimentos de onda.

Se uma placa de vidro absorvedor de calor é utilizada como elemento externo numa janela de vidro duplo, a sua eficiência será maior, quando comparada com vidro simples. Pode-se comprovar esse fato através da Tabela 1.6, onde se observa que os valores de transmitância à radiação solar são menores quando se trata de um vidro colorido.

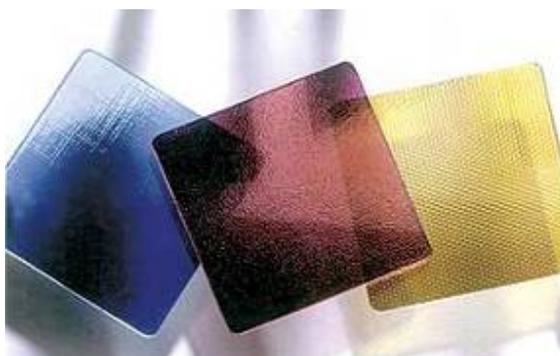


Figura 1.16 – Vidro colorido e com textura
 Fonte: <http://www.alusistem.com.br/ALU-NOTICIAS.html>

Tabela 1.5 – Transmitância à radiação solar e coeficiente de sombreamento para diferentes tipos de vidro

Tipo de vidro	Espessura nominal	CS	Transmitância a radiação solar
Vidro simples Incolores	3mm	1.00	0.86
	6mm	0.94	0.78
	10mm	0.90	0.72
	12mm	0.87	0.67
Coloridos	3mm	0.83	0.64
	6mm	0.69	0.46
	10mm	0.60	0.33
	12mm	0.53	0.24
Vidros duplos Externo e interno incolores	3mm	0.88	0.71
Externo colorido interno incolor	6mm	0.15	0.36

Fonte: ABCI, 1991.

Isso também pode ser melhor observado através das Figuras 1.17 e 1.18, onde Lim (1979) compara um vidro de 3mm e um de 6mm absorvedor de calor, nos quais se registram 12% de absorção e 64% respectivamente.

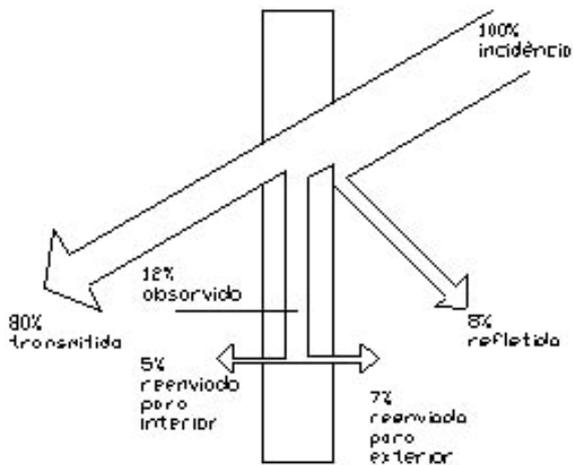


Figura 1.17 – Vidro comum de 3mm
Fonte: Lim, 1979

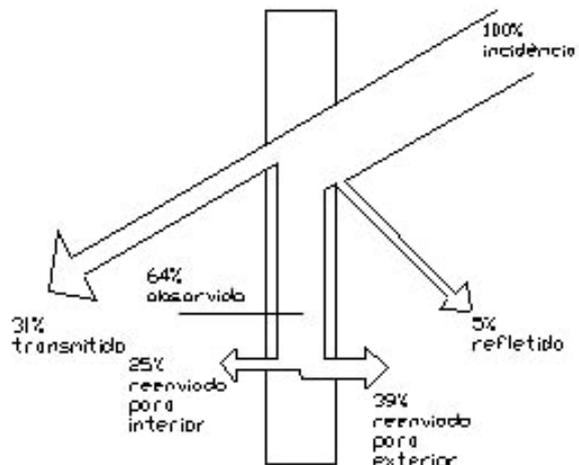


Figura 1.18 – Vidro absorvedor de calor de 6mm
Fonte: Lim, 1979

Carmody et al. (2000), além de fazerem a comparação do vidro absorvedor com o vidro comum, também comparam ao vidro refletivo; observa-se neste último uma parcela significativa de 26% da reflexão, contra 8% do vidro comum e 6% do vidro absorvedor de calor. Porém, quando se avalia a porcentagem absorvida, o vidro absorvente possui a maior absorção, com 34%, contra 24% do vidro refletivo e 8% do vidro comum. E, por fim, a transmissão: 84% é transmitido diretamente pelo vidro comum, 50% pelo vidro refletivo e 60% pelo vidro absorvedor. Portanto é interessante ter conhecimento das propriedades óticas dos materiais transparentes e translúcidos na hora da especificação.

Por meio da Figura 1.19 pode-se visualizar que, dependendo do vidro escolhido, haverá uma situação diferente de conforto térmico e luminoso no interior do ambiente. Convém ressaltar que são necessárias não somente as informações de transmitância, refletância e absortância, como mostram as Figuras 1.17, 1.18 e 1.19, mas sim em que comprimento de onda estão ocorrendo esses processos.

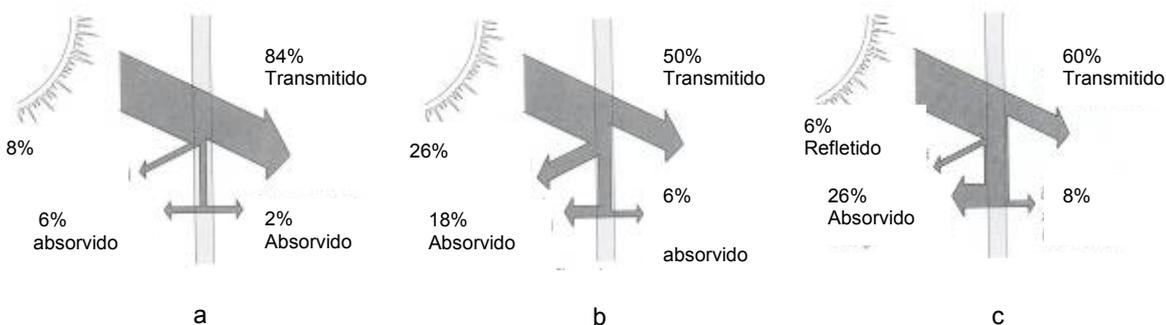


Figura 1.19 – Transmissão da energia solar para os vidros: comum (a), refletivo (b) e absorvedor de calor (c)

Fonte: Carmody et al., 2000



1.5.3 Vidros Refletores ou Refletivos

São vidros comercializados como de alta tecnologia e que os fabricantes garantem serem eficientes no controle da intensidade da luz e do calor. De acordo com Santos et al. (2007) *“os fabricantes relacionam a baixa transmitância dos produtos refletivos a uma grande refletância, o que seria mais interessante visando ao menor ganho de calor. No entanto, esse fato está mais relacionado à maior absortância, causada pelo vidro base ou pela camada refletiva.”*

A fabricação dos vidros refletivos pode ser realizada por meio de dois processos: o pirolítico, ou *“on line”*, e em câmara a vácuo, ou *“off line”*. No primeiro, a camada refletiva é aplicada na face do vidro, enquanto a placa de vidro ainda está quente, com sua superfície em estado plástico; os óxidos penetram na superfície e, ao resfriar o vidro, a camada refletiva torna-se resistente. Já no segundo processo, a camada refletiva é depositada em câmaras de alto vácuo, por bombardeio iônico e em atmosfera de plasma, depois do vidro pronto.

Uma observação importante realizada pelo arquiteto e consultor Duarte (s/d) é que *“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. Os refletivos pirolíticos podem ser temperados e serigrafados após o processo de pirólise.”*

Segundo Duarte (s/d), o vidro refletivo deve ser especificado sempre que a incidência de radiação solar sobre uma fachada for excessiva, mas vale destacar que a escolha não é tão simples. É importante a verificação de alguns coeficientes:

- transmitância – em %;
- refletância luminosa externa Re – em %;
- refletância luminosa interna Ri – em %;
- absortância – em %;
- fator solar FS – em %;
- coeficiente de sombreamento Cs .

E Duarte (s/d) sugere valores para estes coeficientes, para facilitar a escolha do vidro:

- transmitância – esteja entre 30% e 50%;
- refletância luminosa externa Re – seja inferior a 25%;
- refletância luminosa interna Ri – seja inferior a 15%;
- absortância – seja inferior a 70%;
- fator solar FS – seja inferior a 39%;
- coeficiente de sombreamento Cs – seja inferior a 0,45.

Porém Santos et al. (2007) afirmam que o vidro refletivo possui a absorção mais elevada que a reflexão, sendo a maior absorção causada tanto pelo vidro base colorido utilizado em suas composições, como pela característica absorvente do tratamento metalizado, portanto, os vidros refletivos têm características



de vidros absorventes. Independente do ângulo de incidência o vidro refletivo possui baixa transmitância, em decorrência de uma elevada absorção.

O vidro refletivo não é um espelho; ele reflete parcialmente para o lado onde há mais luz. Não existe uma classificação oficial sugerindo o vidro refletivo ideal para cada caso, em decorrência de sua reflexão; a interpretação dos dados é muito subjetiva. Deve prevalecer também o bom senso do profissional. A maioria desses se preocupa apenas com o aspecto externo e esquece ou desconhece o fato que, ao escurecer o dia, os mesmos vidros passam a ser refletivos internamente.

Duarte (s/d) relata que é possível classificar os vidros da seguinte maneira:

- alta refletância – refletividade externa (Re) superior a 25%;
- média refletância – refletividade externa (Re) entre 25% e 15%;
- baixa refletância – refletividade externa (Re) inferior a 15%.

Em muitos projetos observa-se o vidro refletivo empregado em caixilho duplo como elemento externo prometendo uma maior eficácia na atenuação do calor, do que utilizado em vidros simples. Um problema dessa adoção é a diminuição da luz natural no ambiente interno. Através da Tabela 1.6 pode-se constatar esse fato.

Tabela 1.6 – Transmissão do infravermelho e visível para diferentes envidraçamentos

Envidraçado	Transmitâncias	
	Infravermelho (%)	Visível (%)
Simple (vidro transparente incolor)	89	80-91
Duplo (vidro transparente incolor)	80	65

Fonte: Magalhães, 1995.

Arnaud (1997) ressalta que os vidros refletivos pirolíticos foram desenvolvidos para atender as necessidades de conforto térmico dos projetos que se concentram em países com clima que apresentam inverno com baixas temperaturas. O emprego desses vidros na edificação tem como objetivo permitir a transmissão do infravermelho próximo, para conseguir o aquecimento do ambiente na estação fria, porém vale ressaltar que o uso desse tipo de vidro em locais com clima tropical pode causar um superaquecimento.

1.5.4 Aplicação de Película no Vidro

Uma outra alternativa para controlar a radiação solar no vidro é a aplicação de películas, que também são conhecidas como películas de controle solar. Existem no mercado variados tipos e marcas de películas. É constituída de um filme fino resistente de poliéster, que possui espessura entre 0,025 e 0,05mm; sua composição estrutural varia de acordo com o tipo de película, como se pode visualizar

através das Figuras 1.20, 1.21, 1.22, 1.23 e 1.24. Essa variedade, segundo Caram (1998), resume-se em três tipos básicos: a transparente, a pigmentada não refletiva e a pigmentada refletiva.

As propriedades óticas resultantes da combinação vidro + película são em função da espessura da película, da densidade da camada metálica, do tipo de adesivo e da cor do filme. A grande vantagem da película é que se pode alterar as propriedades óticas de um envidraçamento já existente, sem precisar substituir o vidro, apenas aplicando a película.

A garantia fornecida pelos fabricantes é de cinco anos e recomenda-se a aplicação na parte interna da vidraça, que fica livre de intempéries.

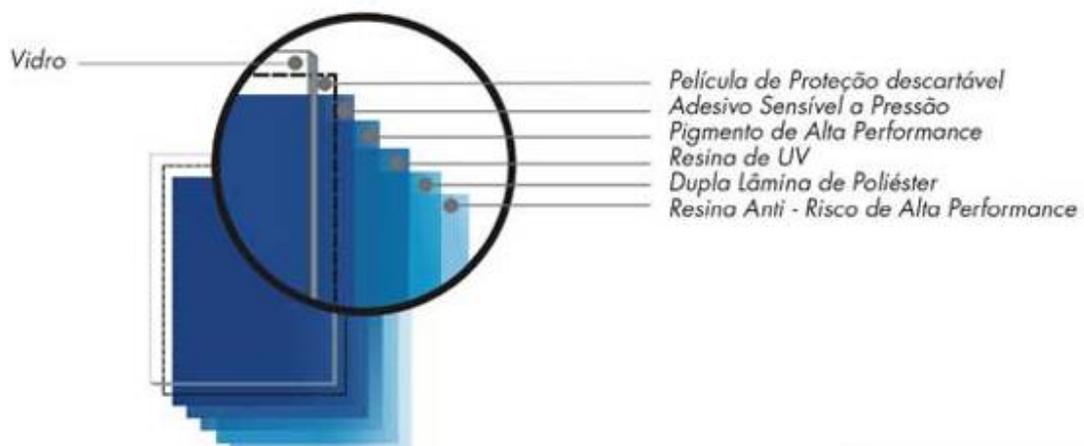


Figura 1.20 – Composição estrutural da película que propicia privacidade
Fonte: www.insulfilm.com.br, acesso em 15/05/2005

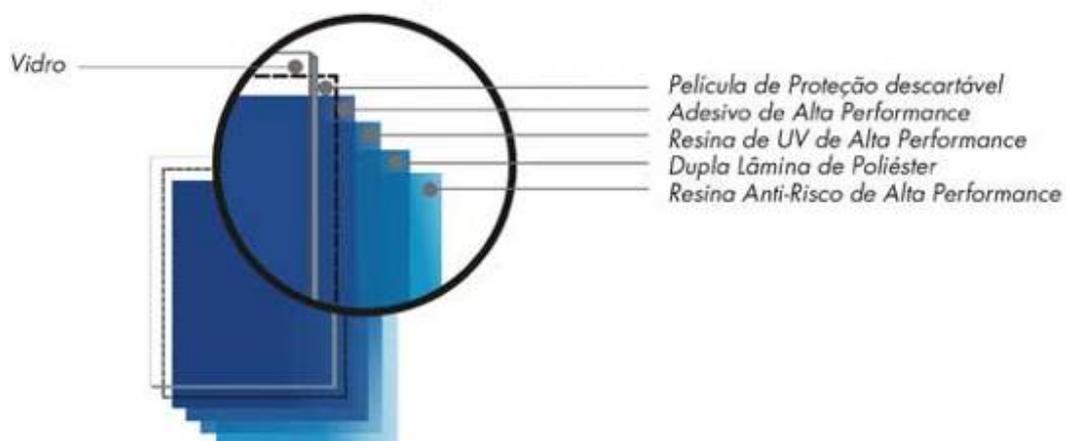


Figura 1.21 – Composição estrutural da película UV
Fonte: www.insulfilm.com.br, acesso em 15/05/2005

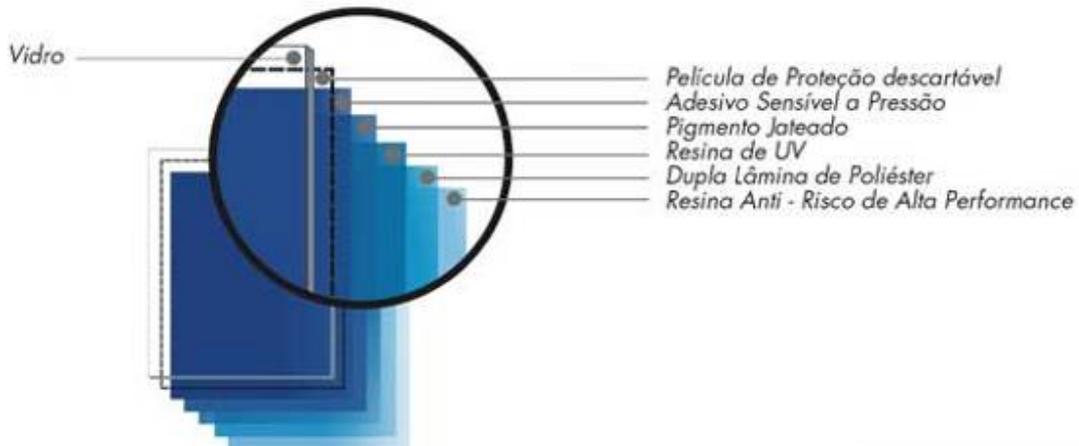


Figura 1.22 – Composição estrutural da película isolante
Fonte: www.insulfilm.com.br, acesso em 15/05/2005

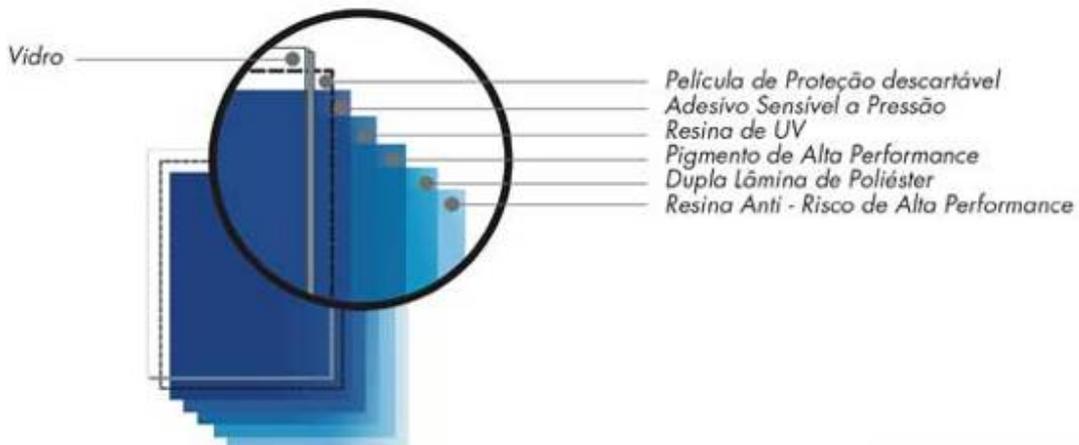


Figura 1.23 – Composição estrutural da película não refletiva
Fonte: www.insulfilm.com.br, acesso em 15/05/2005

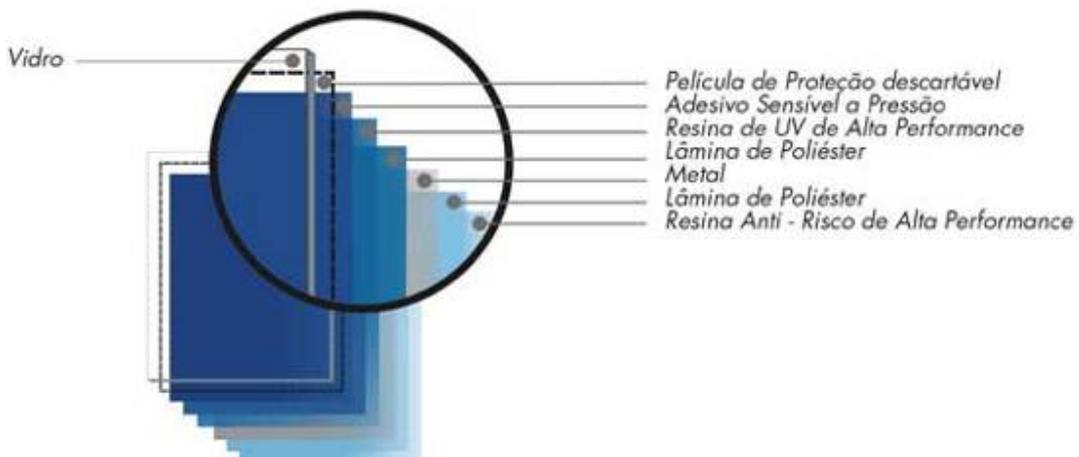


Figura 1.24 – Composição estrutural da película refletiva
Fonte: www.insulfilm.com.br, acesso em 15/05/2005



As alternativas citadas podem ser utilizadas de forma independente ou associadas e constituem-se em maneiras que podem ser adotadas no controle de ganho de calor solar na edificação. Porém existem diversas soluções a serem idealizadas, de acordo com a criatividade. Com o conhecimento no assunto pode vir a surgir inúmeras alternativas, combinando os vários tipos de vidro, acrescentando venezianas ou dispositivos solares, ou na simples redução da dimensão de uma abertura, desde que não fiquem prejudicadas as outras funções: iluminação e ventilação.

1.6 Radiação Solar

A radiação solar ou radiação eletromagnética é a radiação emitida pelo Sol com comprimentos de onda que variam de 290nm a 2500nm, denominada radiação de onda curta. Devido aos vapores de água e aos dióxidos de carbono (CO₂), parte da radiação, na região do infravermelho, é absorvida, e a camada de ozônio barra praticamente toda a radiação ultravioleta, resultando em pouca radiação abaixo de 300nm que consegue alcançar à superfície da Terra. De acordo com Cheremisinoff e Regino¹⁰ (1974), apud Caram (1996), essas proporções são de 1 a 5% ultravioleta; 41 a 45% de visível; e 52 a 60% de infravermelho.

A radiação solar compreende um espectro (Figura 1.25) constituído pelo ultravioleta (290 a 380nm), visível (380 a 780nm) e infravermelho (780 a 2500nm). Cada um desses intervalos de onda, quando incidem sobre uma superfície transparente ou translúcida, são absorvidos, refletidos e transmitidos em porcentagens distintas. Variam devido:

- à espessura do vidro (Figura 1.26): quanto maior for a espessura, menor será a transmissão de radiação pelo vidro, devido à absorção que ocorre no material;
- ao ângulo de incidência (Figura 1.26), pois quanto maior for o ângulo formado, diminuirá a transmissão, pois aumentará a reflexão;
- ao índice de refração do vidro;
- à composição, por exemplo, a introdução de óxidos na composição do vidro, alterando sua cor, é responsável pela absorção seletiva da radiação solar.
- e as características superficiais do vidro, que está sendo ressaltada neste trabalho, devido ao objetivo da pesquisa tratar de superfícies rugosas; estas reduzem a transmissão direta, pois difundem a luz.

¹⁰ Cheremisinoff, P. N and Regino, T. C. Principles and Application of Solar Energy – Arbor Science Publ. Inc. 7 th Ed., 1974

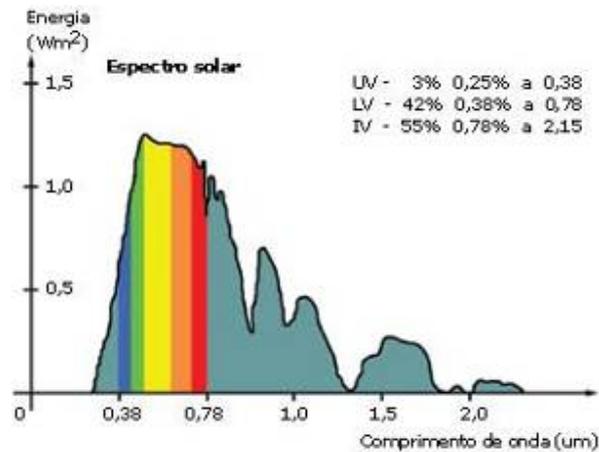


Figura 1.25 – Espectro Solar
Fonte: www.espectrofotometria.com

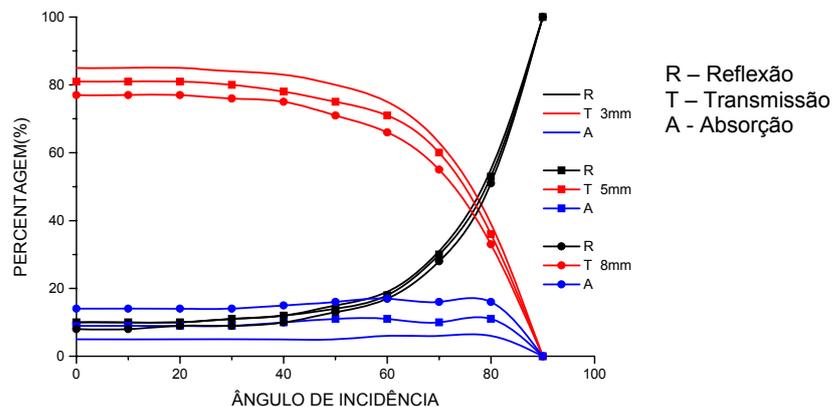


Figura 1.26 – Comportamento do vidro comum incolor de 3, 5 e 8mm quanto à reflexão, transmissão e absorção da radiação em ângulos distintos de incidência
Fonte: Caram, 2002.

1.6.1 Radiação Ultravioleta

A região do espectro denominada de ultravioleta possui comprimento de onda de 100 a 400nm, porém os comprimentos de onda que alcançam a superfície da Terra situam-se entre 290 a 380nm. Os valores de 100 a 290nm não conseguem chegar a essa superfície, porque são absorvidos pela camada de ozônio existente na atmosfera. A região do ultravioleta é dividida em três partes:

- ultravioleta A (UVA), de 400 a 315nm;
- ultravioleta B (UVB), de 315 a 280nm;
- ultravioleta C (UVC), de 280 a 100nm.

A incidência do ultravioleta na pele do ser humano provoca um aumento dos efeitos fisiológicos. Por exemplo, a faixa UVA causa a pigmentação ou bronzeamento direto da pele com eritema fraco, ou sub

queimadura. Segundo Patel (1992), a radiação solar produz efeitos benéficos e danosos ao ser humano; a sua ação está diretamente relacionada à quantidade de radiação, ou melhor, ao tempo de exposição. Ocorrendo uma exposição contínua, ocasiona um acelerado envelhecimento da pele, implicações carcinogênicas e também pode causar imunossupressão do sistema imunológico, ou seja, diminuição da resistência e, portanto, da defesa contra infecções locais e sistêmicas.

A eficiência espectral do processo causador do eritema está situada no UVB, entre os comprimentos de onda de 280 a 320nm, alcançando um pico em 296nm e, em seguida, descendo bruscamente, à medida que aumenta o comprimento de onda (Figura 1.27).

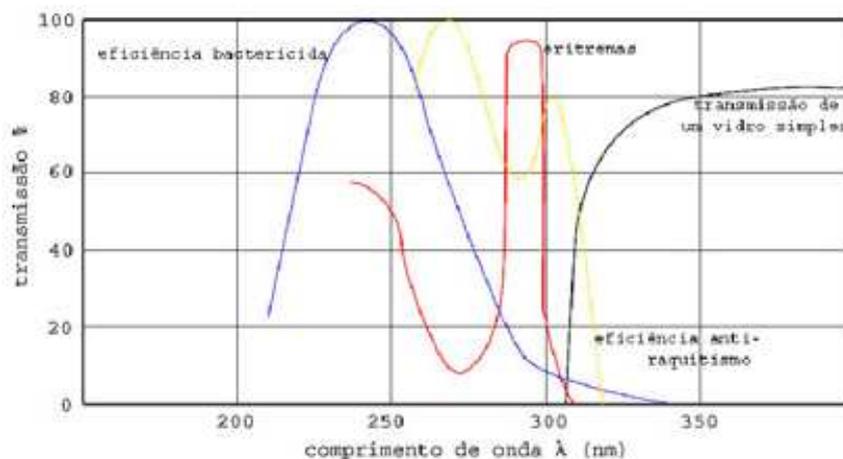


Figura 1.27 – Curvas de eficiência bactericida, eritemas e anti-raquitismo
Fonte: Koller, 1952

Quanto à eficiência anti-raquítica, esta atinge seu ápice em 280nm, estendendo-se até 313nm, e é responsável na cura e prevenção de doenças como o raquitismo, que nada mais é que a dificuldade de calcificação dos ossos, tornando-os fracos e até deformados. Os raios com esses comprimentos de onda promovem a síntese de vitamina D, indispensável para o crescimento e saúde dos ossos, pois fixam o cálcio nos ossos, combatendo, além do raquitismo, a osteoporose. Segundo Kirchoff et al. (2000), a radiação UVB apresenta uma forte dependência da latitude geográfica e da altitude, e a radiação difusa representa pelo menos 45% da global para o UVB eritema.

A faixa da região ultravioleta responsável pelo desbotamento / descoloração de tecidos de maneira geral, móveis, pinturas, madeira, ou seja, descoloração da matéria, ocorre entre 300 e 400nm; comprimentos menores e maiores que estes, chegando até aos 600nm, na coloração do violeta e azul (Manual do vidro, 2000), também promovem o desbotamento, mas de pequena intensidade.

O comprimento de onda de 100 a 280nm corresponde à faixa UVC, mas, como já foi mencionado, esse comprimento não atinge a superfície da Terra, pois são absorvidos pela camada de ozônio da atmosfera. A radiação UVC é altamente danosa à pele humana, devido ao seu alto teor de energia. Este comprimento de onda é responsável pela eliminação de bactérias, fungos, mofo e germes; esta região estende-se até 300nm, mas sua efetividade acontece entre 200nm a 300nm. Vale a pena ressaltar que o

vidro simples transmite somente a partir de 320nm, ou seja, mesmo que atingisse a superfície terrestre, as construções ficariam protegidas pelas superfícies transparentes ou translúcidas.

Analisando o comportamento óptico das superfícies transparentes e/ou translúcidas, pode-se selecioná-las de acordo com a necessidade do local. Quando não se deseja a presença da radiação ultravioleta no ambiente interno de uma edificação, recomenda-se o uso do vidro laminado, do policarbonato, ou a utilização de películas específicas, que podem ser colocadas em vidros comuns, mas não se recomenda a aplicação em policarbonatos, devido à incompatibilidade dos coeficientes de dilatação, afirma Procknor (2004). Estes materiais barram o ultravioleta de maneira eficaz.

Um museu, por exemplo, tem a necessidade de eliminar a radiação ultravioleta, pois ela é responsável pelo desbotamento de tecidos, das cores de maneira geral. Enfim, parte-se para a seleção da superfície transparente que tenha como característica barrar os comprimentos de onda menores que 400nm, porém permitindo a passagem do visível, que é a luz propriamente dita e a única na reprodução fiel das cores. Nesse caso, pode-se optar por diversas soluções eficazes; se já existir a superfície transparente e não se desejar a substituição, sugere-se a aplicação da película *museum* (Figura 1.28) em um vidro incolor comum, ou se ainda estiver na fase inicial do projeto, pode-se optar pelo uso de policarbonato incolor (Figura 1.29). Os dois materiais atenuam significativamente o ultravioleta e transmitem o visível, contudo a primeira opção, tratando-se de um melhor desempenho térmico, é, com certeza, a melhor escolha. (CARAM, 2002)

A película *museum* incolor foi utilizada no MASP – Museu de Artes de São Paulo (Figuras 1.30 e 1.31), com o objetivo de barrar o ultravioleta e, assim, não modificar a cor real das peças. Por meio da Figura 1.33, pode-se visualizar melhor o comportamento da película *museum* frente à radiação solar, onde se tem a porcentagem que é transmitida em função do comprimento de onda; percebe-se que até 400nm a película não permite a passagem da radiação.

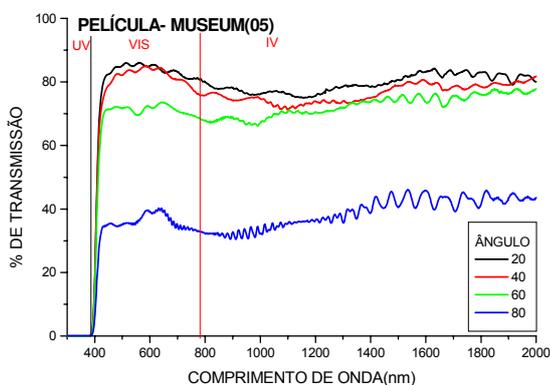


Figura 1.28 – Curvas de transmissão para a película *museum*
Fonte: Caram, 2002

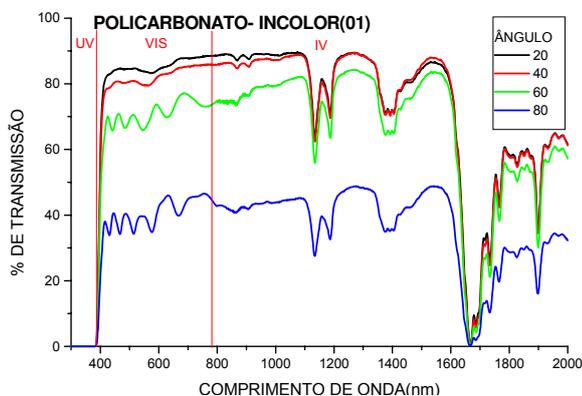


Figura 1.29 – Curvas de transmissão para o policarbonato incolor
Fonte: Caram, 2002

Figura 1.30 – Vista geral do Museu de Artes de São Paulo, MASP
Fonte: Sardeiro, 2003



Figura 1.31 – Vista interna do Museu de Artes de São Paulo, MASP
Fonte: Sardeiro, 2003



1.6.2 Radiação Visível

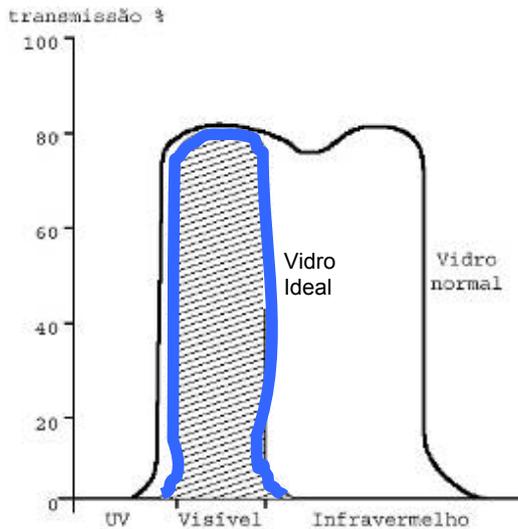
O espectro visível está compreendido de 380 a 780nm e corresponde à luz visível, a única determinante no grau de iluminação natural de um ambiente. A luz visível carrega energia suficiente para estimular reações químicas nos olhos, permitindo o funcionamento do sistema da visão. Este comprimento de onda segue a seqüência: violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho, mas o sistema visual humano possui maior eficácia no comprimento de onda que corresponde às cores, verde e amarelo. (Figura 1.32)



Figura 1.32 – Espectro visível
Fonte: Baker, 1993

A luz visível, além de ser fundamental para o ser humano, também é indispensável para o desenvolvimento dos vegetais, devido ao processo da fotossíntese, pois para este processo há necessidade da luz visível. A clorofila, agente responsável pelo processo da respiração celular vegetal, absorve determinadas regiões específicas do espectro, são elas: 430nm, referentes ao azul e 660nm, referentes ao vermelho. A absorção da luz nestas duas regiões, azul e vermelho, conduzem à cor verde da clorofila.

Quando se parte para a especificação de uma superfície transparente em uma edificação localizada numa região de clima tropical, a maior preocupação é em termos de se obter uma boa luminosidade e um baixo ganho térmico, buscando sempre, um material transparente que permita a passagem deste comprimento de onda e barre o ultravioleta e infravermelho, neste sentido Caram (2002) descreve como seria o vidro considerado “ideal” (Figura 1.33).



O vidro comum de espessura 3mm, que é semelhante ao utilizado como referência nos ensaios experimentais, permite a passagem de grande parte da energia correspondente ao visível, proporcionando a luz, como mostra a Figura 1.34, porém tem que se levar em consideração que deixa passar também grande parte do infravermelho, responsável pelo calor.

Figura 1.33 – Curva de transmissão para um vidro considerado “ideal”
Fonte: Caram, 2002

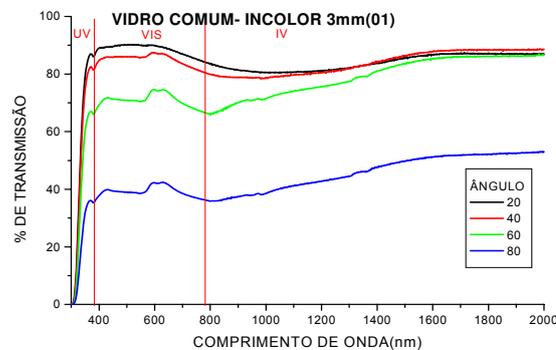


Figura 1.34 – Curvas de transmissão para vidro comum incolor de 3mm de espessura
Fonte: Caram, 2002

1.6.3 Radiação Infravermelha

O infravermelho, invisível ao sistema da visão, mas percebido na forma de calor, é dividido em três faixas: infravermelho de ondas curtas ou infravermelho próximo, com comprimento de onda entre 780 a 1400nm; infravermelho de ondas médias de 1400 a 3000nm e, por fim, o infravermelho de ondas longas, que são radiações resultantes de corpos aquecidos, cujos comprimentos de onda são maiores que 5000nm.

O infravermelho próximo corresponde à grande parte do espectro solar que atravessa em proporções elevadas o vidro comum incolor (Figura 1.34), bastante utilizado em janelas. Sendo assim, é de extrema importância o fornecimento de dados individualizados de cada comprimento de onda, principalmente com relação ao infravermelho. A partir desses dados, pode-se também evitar equívocos comumente cometidos por especificadores, como é o caso do “*vidro ser opaco ao infravermelho de maneira geral.*”

No que diz respeito à estética, também é interessante ressaltar que, quando se comparam materiais transparentes ou com mesma coloração, é observado que se podem obter desempenhos completamente diferentes, tratando-se da transmissão da radiação solar. Por exemplo, o comportamento ótico dos materiais: vidro laminado, policarbonato e o vidro comum, todos incolores (Figura 1.35), todos cinzas (Figura 1.36) e: policarbonato, vidro comum e vidro laminado, todos verdes (Figura 1.37).

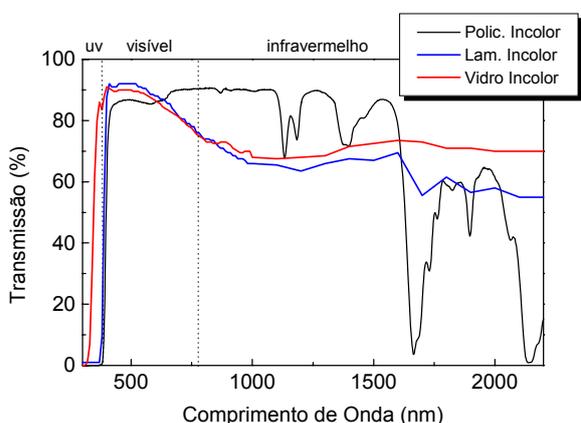


Figura 1.35 – Curvas de transmissão espectral do policarbonato, vidro e laminado, todos incolores
Fonte: Caram, 1998

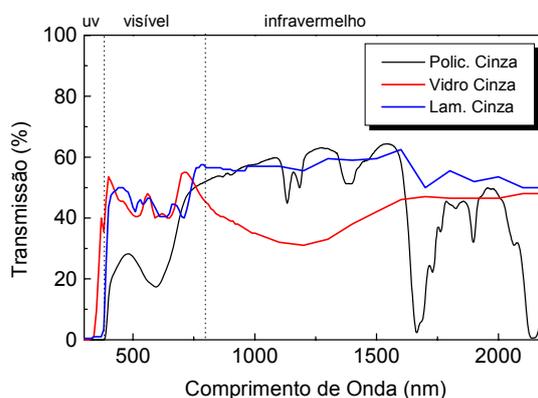


Figura 1.36 – Curvas de transmissão do policarbonato, vidro e laminado, todos cinza
Fonte: Caram, 1998

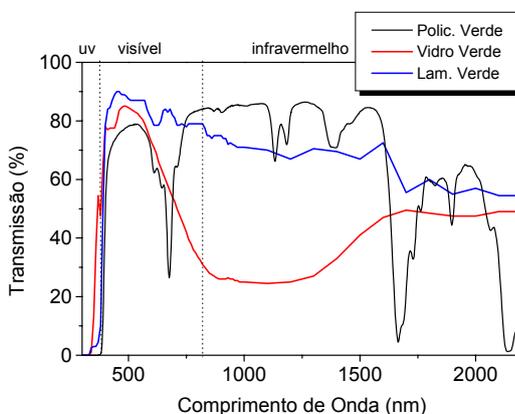


Figura 1.37 – Curvas de transmissão espectral do policarbonato, vidro e laminado, todos verdes
Fonte: Caram, 1998



Vale salientar a questão dos vidros considerados e vendidos como de proteção solar; na verdade, por meio de dados científicos, fica constatado que são vidros absorvedores de calor. Essa parcela de energia absorvida, e que posteriormente será reenviada para o ambiente interno, influenciará nas condições ambientais da edificação e no aumento de gastos decorrentes do consumo de energia elétrica para a refrigeração do ambiente. Esta energia absorvida e reenviada para o ambiente interno possui maior percentagem na região do infravermelho, ou seja, gerando calor; e baixa transmitância no visível, acarretando na necessidade de um projeto de iluminação artificial.

1.7 Propriedades Óticas

No momento em que a radiação solar atinge uma superfície transparente ou translúcida, parte é transmitida diretamente para o interior, parte é absorvida por esta superfície e parte é refletida para o exterior. A interação da reflexão, transmissão e absorção para todos os materiais é dado pela relação:

$$\text{Radiação incidente (100\%)} = \text{transmitância} + \text{refletância} + \text{absortância}$$

1.7.1 Transmissão

A transmissão espectral depende da composição química do material, de sua cor, da absorção ótica dentro do material, do ângulo de incidência (Figura 1.38), e Bamford (1984) complementa: e também das características superficiais do vidro. A transmissão direta através de uma superfície envidraçada pode ser reduzida, se esta possuir alguma rugosidade, difundindo a radiação incidente, é o caso dos vidros que foram analisados nesta pesquisa.

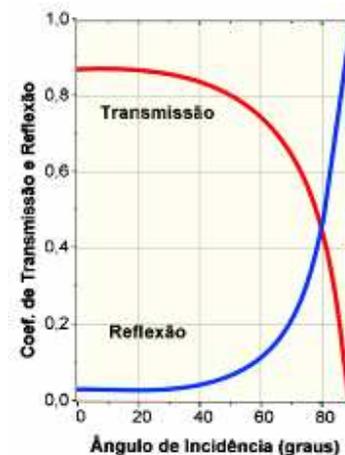


Figura 1.38 – Coeficientes de transmissão e reflexão em função do ângulo de incidência
Fonte: Van Straaten¹¹ apud Caram, 1998

Carmody et al. (2000) fazem um esquema ilustrando o gráfico semelhante ao de Caram (1998), onde se tem 84% de transmissão para um vidro simples transparente de 3mm, com ângulo de incidência de 30° (Figura 1.39).

¹¹ Van Straaten, J. F. Thermal performance of Buildings. Elsevier Publishig Co., 1967, p.117.

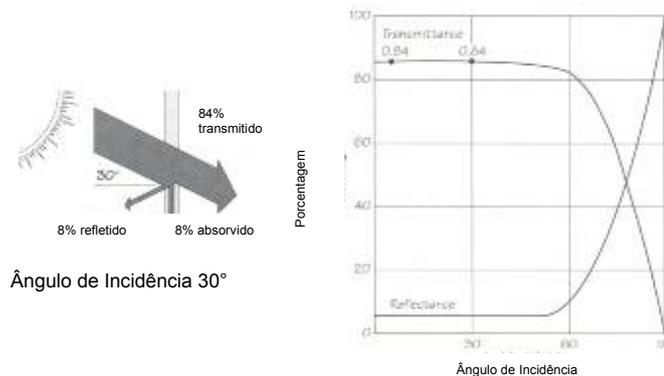


Figura 1.39 – Transmissão e reflexão para o vidro simples incolor de 3mm em função do ângulo de incidência

Fonte: Carmody et al., 2000

O vidro tem transmissão seletiva, ou seja, sua transmissão depende do comprimento de onda da radiação incidente, comenta Rivero (1985). Apesar de ser um material transparente, para os comprimentos de onda inferiores a 300nm e superiores a 5000nm, ele possui um comportamento semelhante aos materiais opacos. A proporção de energia transmitida diretamente por um material transparente reduz à medida que o ângulo de incidência da radiação supere 45° com a normal; ao se aproximar de 60° com a normal, essa transmissão diminui consideravelmente, pois, a partir daí, começa a ser significativa a proporção de radiação refletida (Figura 1.38). Mas Fanderlik¹² (1983), apud Santos (2002), ressalta que uma redução na transmissão da radiação significa, a maioria das vezes, que essa radiação é absorvida pelo vidro, decorrendo um aumento de temperatura do material.

1.7.2 Reflexão

A reflexão depende basicamente do ângulo de incidência e do índice de refração do vidro. Normalmente, os vidros comumente empregados na construção civil têm índice de refração igual a 1,5 ($n=1,5$). A medida que aumenta o ângulo de incidência em relação à normal, aumenta a reflexão da radiação. E Santos (2002) salienta que *“o aumento da reflexão acarreta uma diminuição progressiva da transmissão na mesma proporção. A absorção mantém-se quase inalterada, devido ao maior trajeto dentro do material ser compensado pela diminuição de intensidade da radiação que entra no material, causado pelo aumento no valor da primeira reflexão”*.

¹² Fanderlik, I. Optical Properties of Glass. Praga: SNTL Publishers of Technical Literature, 1983.



1.7.3 Absorção

Uma parte da radiação, ao incidir em uma superfície transparente, é absorvida pelo material e conseqüentemente transformada em calor. Independente do comprimento da onda absorvida, toda a energia, uma vez absorvida, transforma-se em calor. A absorção varia em função da espessura do material e de seu coeficiente de absorção α .

Em virtude dos fatos mencionados, é de fundamental importância dar continuidade ao estudo das características óticas dos materiais transparentes, a fim de se obter valores individualizados referentes a cada comprimento de onda, visando à otimização do desempenho do projeto.

1.7.4 Refração

Em 1621, o matemático Wilbord Snell¹³ explicou o fenômeno da refração, dizendo que a luz, ao penetrar num novo meio, os raios mudam de direção. Snell mediu o desvio da luz em vários meios, como a água, ar, vidro, e constatou que o desvio variava de acordo com o meio.

O ângulo de refração varia com o ângulo de incidência. Se o raio incidir em um ângulo de 90°, não ocorrerá desvio, pois uma parte é refletida e outra transmitida na mesma direção.

A refração pode ser definida como a modificação da direção de propagação de uma onda que incide sobre uma interface entre dois meios e prossegue através do segundo meio. O índice de refração de um material é função do comprimento de onda e da frequência da radiação incidente, sendo que, quando é adotado um valor único para o material, é uma média dos valores encontrados para os diversos comprimentos de onda.

O fenômeno de refração da luz ocorre quando a luz atravessa materiais com índices de refração distintos; a direção do feixe de luz é alterado durante sua trajetória através do material (Figuras 1.40 e 1.41). Esse é o princípio dos blocos e painéis de vidros prismáticos (Figura 1.42). O principal aspecto negativo do fenômeno da refração é a distorção das imagens, o que sugere uma integração de porções da janela dedicadas distintamente à iluminação e à visão.

¹³ www.mnemocine.com.br/fotografia/luzfoto.htm, em 28/10/2005.

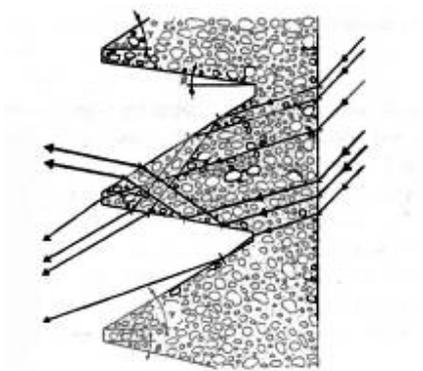


Figura 1.40 - Refração da luz ao passar por um prisma

Fonte: Boubekri, 1999.

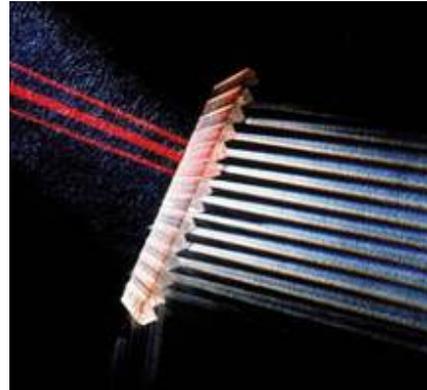


Figura 1.41 – Comportamento da luz passando por uma superfície prismática

Fonte: Herzog, 1996

O fenômeno da refração ou retardamento da onda está relacionado à polarização eletrônica; logo, o tamanho do átomo ou íon constituinte tem grande influência na magnitude desse fenômeno. Quanto maior o átomo ou o íon maior a polarização, menor a velocidade e maior o índice de refração (CALLISTER, 1994).

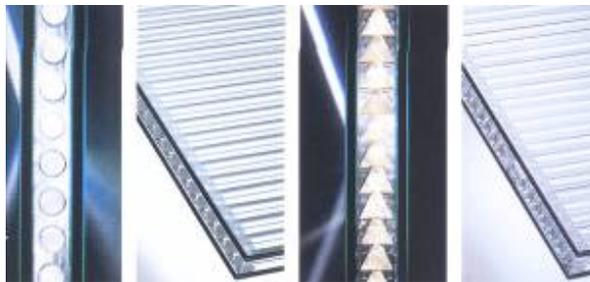


Figura 1.42 – Exemplos de prismas inseridos no interior das lâminas de vidros em janelas

Fonte: Herzog, 1996

1.8 Vidros Translúcidos

O vidro translúcido é um vidro plano, com pelo menos uma superfície irregular, e que possui como grande diferença para o vidro plano liso (*float*) é não permitir a visualização nítida das imagens que se encontram no outro plano (Figura 1.43).



Figura 1.43 – Visualização do objeto através do vidro transparente (a) e translúcido (b)
Fonte: http://www.lucalm.hpg.ig.com.br/conceitos_basicos.htm

O feixe de luz, ao incidir em um vidro plano liso (*float*), tem parte da luz refletida, parte absorvida e parte transmitida diretamente para o outro plano; já no translúcido, acontecem estes três processos, porém o feixe de luz que atravessa o material muda de direção, ou melhor, a luz se difunde no interior do material e sai no outro plano em todas as direções, como uma luz difusa (Figura 1.44).

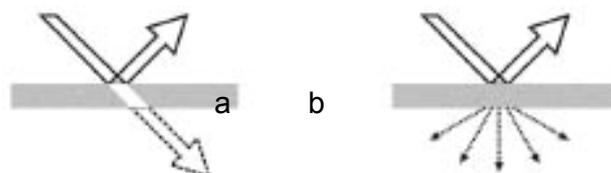


Figura 1.44 – Comportamento da luz atravessando um vidro plano liso (*float*) (a) e um vidro translúcido (b)

1.8.1 Definição e Composição dos Vidros

São produtos inorgânicos, não metálicos e não cristalinos, ou seja, não apresentam um arranjo atômico ordenado característico da quase totalidade dos materiais sólidos naturais. Uma definição do vidro dada pela ASTM (American Society for the Testing of Materials) é a seguinte: "Um material inorgânico formado pelo processo de fusão, que foi resfriado a uma condição rígida, sem cristalizar." Para Zanotto (1998), "vidros são materiais de estrutura desordenada que apresentam o fenômeno de transição vítrea, este é um fenômeno típico de alguns líquidos que, quando resfriados gradualmente a partir de sua temperatura "liquidus", não se cristalizam e apresentam acentuado aumento de viscosidade, até que, numa determinada faixa de temperatura (T_g), passam a se comportar mecanicamente como sólidos, isto é, os átomos e as moléculas não apresentam mobilidade translacional na escala de tempo do experimento. Esse comportamento é reversível e, portanto, o inverso é observado no aquecimento dos vidros. Dessa forma, a rigor, os materiais conhecidos como amorfos, obtidos por evaporação-condensação em substratos frios, por bombardeio com partículas ou através de impactos de alta energia, não são vidros.

Os materiais amorfos, quando aquecidos, cristalizam-se antes de amolecer e não apresentam a transição vítrea“.

Os vidros translúcidos, por terem uma ou as duas superfícies irregulares, não permitem uma visualização nítida da imagem, porém permitem a passagem de luz difusa para o outro plano, além de diminuir a luminosidade direta no ambiente interno e, conseqüentemente, diminuem o ofuscamento.

Uma outra diferença que merece ser citada entre o vidro plano liso (*float*) e o vidro translúcido é com relação ao custo. O vidro impresso, por exemplo, é um translúcido que tem um custo mais baixo, um dos fatores que contribuem para seu uso largamente em janelas de cozinha e banheiro, além, é claro, da necessidade de privacidade.

Depois de milhares de anos sendo produzido, o vidro continua a manter quase a mesma composição: resulta de uma mistura de aproximadamente 70% de sílica, ou areia, que consiste no agente vitrificador, 30% de sódio, magnésio, alumina, potássio e cálcio, fundida e transformada em massa homogênea a 1600°C. Somente o vidro anti-reflexo (“antirreflejo”, da CEBRACE) possui em sua composição um pouco menos de ferro com relação aos demais vidros impressos, porém dessa mistura original deriva-se produtos de vidro plano cada vez mais diversos.

Os vidros coloridos são produzidos se maneira similar aos vidros incolores, porém com o acréscimo de aditivos minerais a mistura vitrificável, de acordo com a coloração desejável. A coloração pode ser obtida devido ao acréscimo de:

- ferro para obter a tonalidade verde;
- cobalto para obter a tonalidade azul;
- cromo, para obter a tonalidade amarela;
- selênio, para obter a tonalidade vermelha.

As composições atuais são praticamente uniformes; já as composições mais antigas variam substancialmente (Tabela 1.7). Os vidros medievais têm um nível mais alto de impurezas, tais como: óxido de ferro (Fe_2O_3), manganês (MnO) e óxido fosfórico (P_2O_5), e são ricos em potássio, enquanto os vidros das janela contemporâneas têm maior teor de sódio. A empresa de vidros Santa Marina, através de seu catálogo, divulga a composição do vidro no decorrer dos séculos (Tabela 1.8).

Tabela 1.7 – Composição típica de vidros de janela em dois períodos (% massa)

	Moderno	Medieval
SiO ₂	73,2	45 - 75
Na ₂ O	13,4	0,1- 18
K ₂ O	0,8	2 -25
CaO	10,6	1- 25
MgO	0,7	1- 8
Al ₂ O ₃	1,3	1- 2
Fe ₂ O ₃	0,1	0,3 - 2
MnO	—	0,3 - 2
P ₂ O ₅	—	2 - 10

Fonte: www.revistapesquisa.fapesp.br, consultado em 04/2005

Tabela 1.8 - Composição do vidro durante os séculos (%)

	Sílica	Cal	Potássio	Soda	Magnésio	Óxido de ferro alumínio	Outros
Egito XII dinastia	68,3	4,9	2	20,2	1	3,2	0,4
Pompéia	69,4	7,3	-----	17,2	-----	3,7	2,4
Pérsia	57,2	5,4	29,7		1,1	5,3	-----
Arábia Século VII	68	2,6	23,4		0,9	4,2	0,9
Veneziano	68,6	11	6,9	8,1	2	1,5	1,9
Cristal Saint-Gobain	72,1	12,2	-----	15,7	3,8	-----	-----
Float glass	71,2	9,4	-----	14,2	-----	1,1	0,3

Fonte: Catálogo Santa Marina, 1993.

1.8.2 Processo de Produção

O processo de produção do vidro pode ser: da indústria primária, na qual o produto básico plano ou produto principal é fabricado, e da indústria secundária, na qual o produto primário é apurado e adicionado a outro. A vantagem de usar uma técnica secundária é evitar correções de custo alto à indústria primária.

O vidro plano usado em edificações da indústria primária é fabricado em três operações básicas:

- fusão;
- modelagem;
- resfriamento.

Métodos de moldagem têm mudado consideravelmente ao longo da história da fabricação. Todos os processos antigos usavam fusão, sopramento e fiação. Os romanos fizeram chapas fundidas de até 1m²,

mas a indústria de janelas de vidro usando cilindros soprados se desenvolveu na Europa Setentrional em torno de 1000d.C. em resposta a necessidades climáticas e de estilo. A técnica envolvia o sopramento de um grande cilindro, que era cortado aberto e então achatado. Um avanço paralelo, durante a Idade Média, foi o aperfeiçoamento da técnica de fazer vidro como um disco rotativo.

Ambos os métodos - cilindro e disco - resultaram em vidro fino, fraco e irregular, tornando-o inadequado para aplicações que exigissem uma superfície e resistência como os espelhos e veículos. Vidros liso e transparente para vagões de trem eram então tradicionalmente feitos por meio de fusão, pulverização e polimento. O uso desse vidro em edificações era extremamente caro. A produção de chapas finas, de boa qualidade foi revolucionada no começo do século XIX; pelo desenvolvimento simultâneo de vidro estirado na Bélgica e nos EUA.

A indústria de vidro, baseada na produção em massa e mercados nacionais e internacionais, nasceu da Revolução Industrial, em particular na indústria automotiva do século XX, e também da invenção de dois métodos-chave de produção - o processo da folha estirada e o de flutuação (*float*), em 1952, fazendo flutuar vidro derretido em estanho também derretido, Pilkington conseguiu produzir vidro quase tão plano quanto suas placas prensadas e polidas, a uma espessura econômica e em grandes quantidades, através de um processo contínuo.

1.8.3 História

É difícil escrever sobre a história do vidro translúcido, devido à escassez de registros escritos e iconográficos que tratam da utilização desse tipo de vidro na arquitetura, ou, pelo menos, que utilizam o termo translúcido. Torna-se, dessa maneira, uma missão árdua, dificultando a pesquisa e o conhecimento sobre o assunto. O que se encontra na literatura nacional e internacional refere-se a um vidro que, devido à tecnologia da época, não se apresenta tão transparente. Essa magnitude de transparência que se tem nos dias de hoje decorreu em função de longos anos. E em decorrência do alcance de um vidro tão transparente, surgiu a necessidade também de um vidro que aglomerasse toda a tecnologia adquirida, resistência, cores, segurança, porém permitisse, ao mesmo tempo, uma certa privacidade. Foi assim que nasceu o vidro conhecido no século XXI, como translúcido.

Em função da escassez de material escrito referente à história do vidro translúcido, adotar-se-á nesta pesquisa o vidro não transparente, mas que permite a passagem da luz e da imagem de maneira difusa, como sendo um vidro translúcido.

Em decorrência do vidro não ser tão transparente, como se tem hoje, partiu-se do princípio que esse vidro poderia ser considerado como translúcido; sendo assim, o uso do vidro translúcido surge juntamente com a nova concepção estrutural das catedrais da Idade Média.



Na catedral românica, as paredes são estruturais, o que permite apenas pequenas aberturas; já na catedral gótica, século XII, é tomada uma nova vertente. Isso muda radicalmente a fantástica inovação estrutural, permitiu que as paredes de alvenaria da catedral românica fossem substituídas por fechamentos translúcidos coloridos, os vitrais (Figura 1.45).

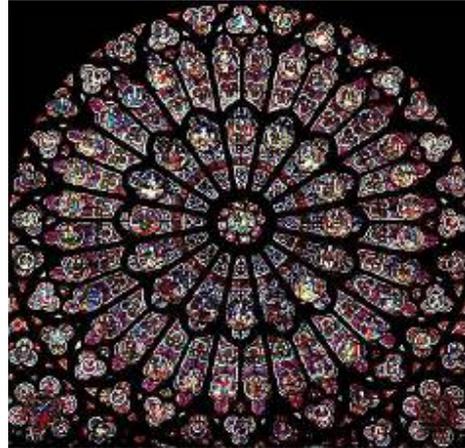


Figura 1.45 – Grande vitrais nas catedrais do estilo gótico

No período da Roma Antiga, é citado na literatura o uso, pela primeira vez, de materiais translúcidos, porém não se trata do vidro. “(...) Materiais translúcidos foram empregados pela primeira vez na forma de pequenas placas de pedras translúcidas – mica, provavelmente por questões climáticas” (PEREIRA, 1995).

Fonte: <http://www.beatrix.pro.br/arte/gotico/archi.htm>

Na literatura de Alcaide (1985) é descrito o vidro das catedrais góticas como translúcido, observa-se “(...) através da articulação dos vitrais do edifício, como um autêntico muro translúcido, criou-se um espaço determinado por uma luz colorida e mutante (...)”. Ele descreve os grandes vitrais não como transparentes, mas como vitrais coloridos e translúcidos.

Em 1903, o arquiteto austríaco Otto Wagner, criador do Edifício dos Correios (Figuras 1.46 e 1.47) em Vienna, utiliza blocos de vidro no piso e uma maravilhosa cobertura em vidro translúcido. A intenção em usar o vidro translúcido era criar uma luminosidade inédita na história da arquitetura, interpretando a luz como luz universal que revela o espaço arquitetônico de maneira inusitada.



Figura 1.46 – Vista geral da Agência dos Correios em Vienna

Fonte: www.vitruvio.ch/arc/masters/wagner.php



Figura 1.47 – Vista interna da Agência dos Correios, cobertura em vidro translúcido

Fonte: www.vitruvio.ch/arc/masters/wagner.php

Nos renomados artigos de Wright - *In the cause of architecture*, são descritas as possibilidades do uso do vidro plano e não totalmente transparentes, relacionando-o com a luz: “a maior diferença entre as edificações antigas e modernas é o uso do vidro (...) agora se pode trabalhar com a luz difusa, a luz refratada, a luz refletida – sombras à parte (...)”

Em 1914, é projetado o Pavilhão de Cristal pelo arquiteto Bruno Taut. Dizia que desenhava o Pavilhão de Cristal como se estivesse desenhando uma catedral gótica do século XX. Segundo Gideon (1954), “(...) espaço enclausurado por prismas de vidro, forro de vidro, piso de vidro, telhas de vidro, escada de vidro. As qualidades prismáticas e translúcidas do vidro foram aqui exploradas, assim como sua transparência. O edifício parecia um cristal mágico.”

1.8.3.1 O Vidro Translúcido no Brasil

Os vidros utilizados nas primeiras construções brasileiras eram de origem inglesa e datam entre os séculos XVII e XVIII. Foi possível essa importação devido à abertura dos portos, eram vidros incolores ou coloridos, mas transparentes, e eram restritos às edificações oficiais e religiosas; nas demais edificações utilizavam-se muxarabi e a rótula; esta era constituída de tiras de madeira cruzadas diagonalmente, de origem mourisca. Não se sabe ao certo se as primeiras janelas envidraçadas apareceram em Salvador, no Recife ou em Vila Rica.

Em 1809, foi estipulada uma diretriz no Rio de Janeiro, abolindo as janelas de rótulas, obrigando a substituição por vidraças ou grades de ferro. Mas esta medida demorou um pouco a ser aceita em todo território brasileiro; somente em 1870 as câmaras municipais de São Paulo e Salvador decretaram oficialmente o fim das rótulas. Em 1810, é fundada na Bahia, por Francisco Inácio de Siqueira Nobre, a primeira fábrica brasileira de vidro, dando início à partida na produção de vidros planos no Brasil. (SZABO, 2002). Em 1822, é criada a indústria brasileira de vidros, no Rio de Janeiro e, em 1895, nascia a companhia vidreira na cidade de São Paulo.

Na verdade, a introdução das janelas de abrir no Brasil utilizando folhas de vidro só se completou no início do século XX, por inúmeros fatores: o vidro era escasso e caro; o aumento do consumo dependia de um conjunto de medidas políticas, econômicas e técnicas ligadas à produção (metrópole) e importação (colônia) do vidro plano e à formação de mão-de-obra especializada.

A partir das décadas de 1940 e 1950, o uso do vidro se intensifica na edificação, sob a influência das principais escolas de arquitetura mundial e sob pressão interna da modernização urbano-industrial do Brasil. Um marco em que se pode perceber o uso do vidro translúcido é a Catedral de Brasília (Figuras 1.48 e 1.49), que integra a singular e feliz combinação de ousadia arquitetônica a atmosfera religiosa. Ao



entrar na catedral, experimenta-se uma sensação diferente gerada pelo espaço circundante mantido à meia luz pelo poder do vidro translúcido que constitui os grandes vitrais. Projeto de Oscar Niemeyer, buscou soluções diferentes das usuais, das velhas catedrais todas escuras. A obra durou doze anos para ser completada, tempo bem menor que as catedrais medievais, mas suficiente para demonstrar o arrojo do projeto e a complexidade da execução.



Figura 1.48 – Vista geral da Catedral de Brasília
Fonte: O vidro plano, 2001



Figura 1.49 – Vista interna da Catedral de Brasília
Fonte: O vidro plano, 2001

Mas somente em 1957 foi criada a União Brasileira de Vidros – UBV (Figura 1.50), para produzir o vidro impresso, popularmente conhecido como “vidro fantasia”; para isso, foram importados alguns fornos e máquinas e implantaram em Parelheiros, na zona sul de São Paulo a UBV. Com menor escala de produção e investimento inicial mais baixo em relação ao vidro plano liso, a fabricação de vidro impresso permitia empreendimentos de menor porte. Porém o uso do vidro impresso se limitava a janelas de banheiro e cozinhas.



Figura 1.50 – Vista interna da União Brasileira de Vidros, produção de vidro impresso
Fonte: O vidro plano, 2001

1.8.4 Evolução

O vidro, hoje, para se tornar translúcido recebe inúmeros processos, aplicações, acabamentos; tecnologias que vêm crescendo e se expandido para acompanhar a criatividade do arquiteto e/ou projetista ou o arquiteto e/ou projetista que se aperfeiçoa para acompanhar todo o ritmo frenético das indústrias produtoras de vidro. Fazem parte desse leque de opções de vidros translúcidos, os vidros impressos ou fantasia; os vidros serigrafados; os vidros acidados; os vidros jateados. Por meio da Tabela 1.9, é realizada uma síntese dos vidros translúcidos, como é produzido e suas vantagens e desvantagens.

Tabela 1.9 – Síntese das características dos vidros translúcidos

Acabamento	Produção	Vantagem	Desvantagem	Aplicação
Fosco	Tratamento com ácido hidrófluorídrico.	Reduz o ofuscamento e passagem de luz; aumenta a difusão de luz.	Reduz a resistência do vidro a impactos e esforços mecânicos.	Em uma face.
	Jatos de areia e ar comprimido.	Aumenta a difusão de luz; Reduz a passagem de luz.	Difícil de limpar, reduz a transmissão luminosa e torna o vidro frágil.	Em uma face.
Esmaltado	Esmalte vítreo aplicado em uma das faces, posteriormente aquecido e fundido à superfície do vidro.	Reduz a transmissão luminosa e proporciona difusão da luz mais uniforme.	----	Em uma face.
Texturizado	Superfície rugosa impressa em uma ou nas duas faces	Reduz a transmissão luminosa.	----	Somente em uma face.

Fonte: <http://www.cehop.se.gov.br/orse/esp/ES00117.pdf>

1.8.5 Tipologia

Os vidros podem ser classificados em muitas categorias, segundo diferentes critérios técnicos, como, por exemplo, o processo de produção, o acabamento, o nível de transparência, a coloração, e assim por diante.

Os vidros abordados nesta pesquisa são os vidros translúcidos, aqueles que deixam passar a luminosidade, porém não permitem a nitidez das formas. Muito utilizados quando se deseja que a



luminosidade penetre no ambiente, porém necessite de uma certa privacidade, contudo vem ganhando espaço nas fachadas das edificações como um material inovador, apesar de ser tão antiga a sua criação. Fazem parte desta classificação os vidros impressos, os vidros serigrafados, os vidro acidados, enfim, superfícies em vidro que geram um fechamento translúcido.

Os vidros translúcidos se apresentam em inúmeras variações e criações, como, por exemplo, um vidro comum transparente pode se tornar translúcido, por meio da criatividade. Este vidro faz parte de um painel de vidro duplo, onde em seu interior possui uma camada de água, ou melhor, entre as duas lâminas de vidro, gerando, dessa maneira, uma superfície translúcida e em constante movimento e variadas formas; ou o preenchimento entre as duas lâminas de vidro com substâncias orgânicas, enfim, materiais transparentes que se tornaram translúcidos e que serão citados e comentados no final deste capítulo.

1.9 Policarbonato

A história da descoberta do vidro data de 6000 anos, já a criação do plástico é mais recente. Literatura¹⁴ no assunto consta que o policarbonato só teve início no mercado em 1959. Nessa época, opticamente, o desempenho da forma transparente do novo material não se apresentava tão bem como, por exemplo, o acrílico, mas possuía duas vantagens exclusivas que facilitaram sua aceitação no mercado: temperatura de distorção pelo calor de 150°C e desempenho de alto impacto. Porém sua grande desvantagem era com relação ao custo, pois seu valor era quase duas vezes o valor do acrílico.

O policarbonato chega ao Brasil em 1990 e começa a ser produzido em 1995, pela Day Brasil, ligada à General Electric (GE), norte-americana. Depois a Policarbonatos do Brasil começa sua produção na Bahia, em 1996, com placas compactas “*PC Light*”; sua produção era significativa: em torno de 3000 toneladas por ano. Posteriormente, instala-se no Rio de Janeiro, em 1998, a Replaex, com matriz na Itália, que inicia a produção de chapa alveolar.

O policarbonato, de acordo com Chaves (1998) e John (1994), pode ser definido como polímeros termoplásticos¹⁵ de cadeia heterogênea linear, originários da condensação do bisfenol A e do ácido carbônico.

O policarbonato, hoje, é encontrado com uma variedade enorme, com espessuras variando de 1mm a 16mm, mas também são fabricados sob encomenda os laminados de policarbonato plano, cuja

¹⁴ <http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm>

¹⁵ São substâncias que amolecem ao receber calor, voltando a enrijecer com a diminuição de temperatura, como por exemplo.: policarbonato e o acrílico.

espessura chega a alcançar 33mm; transparentes, translúcidas, coloridas (cinza, bronze, verde, azul) e opacas, com chapas de dimensão de 2m por 6m e chapas compactas planas e alveolares.

Quanto às vantagens e desvantagens dos policarbonatos, tem-se:

Vantagens:

- leveza: possui baixo peso específico de $1,2\text{Kg/m}^2$, em 1m^2 de policarbonato, com 6mm de espessura; pesa 7,2Kg, enquanto uma chapa de vidro com as mesmas características pesa 15Kg;
- alta resistência a impactos, segundo seus fabricantes¹⁶, o policarbonato é cerca de 250 vezes mais resistente que o vidro e 30 vezes mais que o acrílico;
- pode ser curvado a frio durante a instalação, a um raio com pelo menos 100 vezes a espessura (com uma espessura de 6mm pode ser curvado a frio a um raio de 600mm).

Desvantagens:

- baixa resistência à fadiga e à abrasão; não resiste à ação de alguns solventes orgânicos e produtos alcalinos;
- suas propriedades óticas são modificadas devido à ação do ultravioleta; ocorre por volta de 5 anos de exposição a mesma.

Os policarbonatos alveolares (Figura 1.51), analisados na pesquisa, são chapas lisas, porém com cavidades internas (alvéolos) que dão ao material a aparência visual de um vidro envelhecido. Os fabricantes fornecem garantia de 10 anos contra o amarelecimento. E são fabricados com espessura variando entre 4mm e 16mm, nas cores: cristal (incolor), azul, verde, bronze, cinza escuro, verde e opal ou *Alveolar Solar Ice* (translúcido). Inúmeras obras, simples ou grandiosas, podem ser citadas utilizando este material, como, por exemplo, os abrigos das paradas de ônibus de São Paulo; uma residência, com as paredes em policarbonato alveolar translúcido e o terminal rodoviário de Mariana em Minas Gerais (Figuras 1.52, 1.53, 1.54, 1.55 e 1.56).



Figura 1.51 – Policarbonatos alveolares
Fonte: <http://www.daybrasil.com.br/produtos/construcao>

¹⁶ GE Plastics – Manual técnico para envidraçamento. Lexan, São Paulo, s/d.



Figura 1.52 – Abrigo do ponto de ônibus em SP, utilizando policarbonato alveolar
Fonte: <http://www.daybrasil.com.br/produtos/construcao>



Figura 1.53 – Vista geral da residência em policarbonato translúcido
Fonte: Nakanishi, 2001



Figura 1.54 – Vista interna da residência em policarbonato translúcido
Fonte: Nakanishi, 2001



Figura 1.55 – Residência em policarbonato translúcido
Fonte: Nakanishi, 2001

Figura 1.56 – Terminal Rodoviário em MG, utilizando policarbonato alveolar azul
Fonte: <http://www.daybrasil.com.br/produtos/construcao>



As novidades em policarbonato no mercado são o Lexan® Infrared Solar Control: trata-se de uma chapa de policarbonato alveolar ou compacta que recebe mais um aditivo, com o objetivo, segundo os

fabricantes, de bloquear com mais eficiência os raios infravermelhos, responsáveis pelo aquecimento, (Figura 1.57), e o Lexan® Easy Clean: trata-se de uma chapa de policarbonato alveolar com um “coating” especial sobre sua superfície exposta ao tempo, que lhe confere características de auto-limpeza; o “coating” faz com que a água que cai sobre a cobertura forme grandes gotas que arrastam a sujeira depositada sobre a chapa quase que por completo.

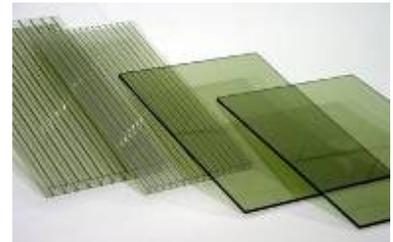


Figura 1.57 – Policarbonato alveolar e compacto com Infrared Solar Control
Fonte: <http://www.daybrasil.com.br/produtos>

1.10 As Novas Tecnologias de Materiais Translúcidos

Depois do uso marcante dos materiais naturais, como a madeira, o tijolo e o concreto na arquitetura moderna, retorna ao centro das atenções dos debates arquitetônicos internacionais a utilização do vidro. Este aparece com versões inéditas e renovadas. Uma delas é o vidro serigrafado, que se encontra cada vez mais presente nas fachadas das edificações européias e americanas, que antes eram revestidas exclusivamente pelo vidro refletivo.

Novas tecnologias visando ao melhor desempenho térmico, à construção de edifícios mais econômicos e ecológicos vêm ampliando rapidamente. O racionamento de energia não é mais considerado pontual; já faz parte do cotidiano de grande parte da população. Por isso, a necessidade de se incorporar novas tecnologias, construções auto-suficientes, como as células fotovoltaicas, por exemplo, que geram eletricidade própria; o vidro combinado com outros materiais, na sua superfície ou no seu interior, a utilização de vácuo no lugar de gases, estruturas capilares, tubulares, microprismas, aerogel, colméias (conhecida como *honeycomb*) (Figura 1.58), funciona como um isolante e redireciona a luz difusa para o interior do ambiente.



No Brasil, duas marcas lideram e dividem o mercado de vidro plano para a construção civil: a Pilkington e a Santa Marina. Esta última recebe os vidros da CEBRACE (Companhia Brasileira de Cristais), que também fornece para a Blindex.

Figura 1.58 – Difusores de luz: capilares hexagonais, alvéolos e micro-esferas
Fonte: Herzog, 1996

Material que está se expandindo no mercado da construção civil e que resulta do aerogel (Figura 1.59), inventado em 1931, é o *aerogel translúcido de nanogel*. Consiste em um material translúcido, leve, composto até de 97% de ar; pesa 3 miligramas por centímetros cúbicos. Tem como objetivo funcionar como um difusor de luz para melhorar a distribuição de luz no ambiente interno, devido à sua cor translúcida e à sua estrutura porosa; é isolante térmico e acústico. É notável seu desempenho acústico, particularmente nas frequências mais baixas (< 500Hz). Através das Figuras 1.60, 1.61 e 1.62 pode-se visualizar melhor como resulta o painel composto em seu interior de nanogel.



Figura 1.59 – Aerogel
Fonte: www.okalux.com

Figura 1.60 – Esquema do corte do painel de nanogel
Fonte: www.okalux.com

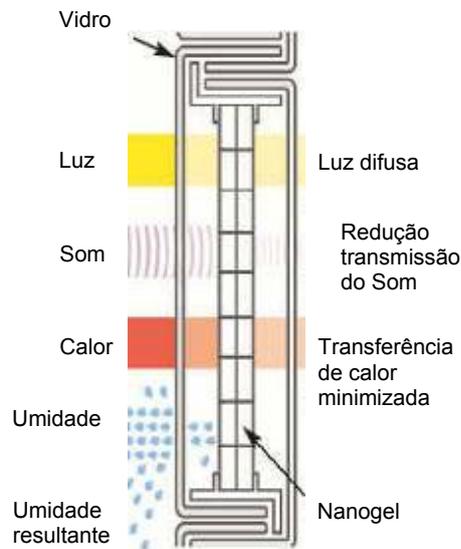


Figura 1.61 – Corte do painel de nanogel
Fonte: www.okalux.com



Figura 1.62 – Estrutura em nanogel
Fonte: www.okalux.com

Nos Estados Unidos, as empresas distribuidoras do material são:

- Kalwall Corporation – líder no campo de sistemas de painéis translúcidos;

- SuperSky Produtos – Introduziu no mercado um sistema de painel de polycarbonato preenchido com aerogel translúcido de nanogel; são painéis de 10 e 16mm. Os fabricantes¹⁷ informam que se constitui como o primeiro painel resistente à condensação.

Na Europa, as empresas são as seguintes:

- Pilkington – é um dos maiores fabricantes de vidro do mundo, seu destaque está ocorrendo em cima do vidro em formato de “U”, com a inserção de nanogel; fornece um valor de $0,97\text{KW/m}^2$, com espessura de 16mm;
- Okalux¹⁸ – produz um painel de vidro isolado com nanogel que fornece uma isolação de $0,6\text{KW/m}^2$, com espessura de 32mm.

Um vidro de alta tecnologia de origem alemã é o *helioram*. Consiste em um sistema de duas lâminas de vidro intercaladas com inúmeros tubos finos, também em vidro (Figuras 1.63 e 1.64). Existem também estruturas em vidro incolor (Figuras 1.65 e 1.66). Ambos os sistemas têm como objetivo difundir e redirecionar a luz natural, principalmente a locais pouco iluminados, melhorando a uniformidade de luz no ambiente. O mercado desconhece o sistema de vedação *helioram*, pois se encontra em estágio de desenvolvimento.



Figura 1.63 – Tubos em vidro, colocados no interior das lâminas de vidro de janelas, *helioram*
Fonte: Herzog, 1996



Figura 1.64 – Tubos em vidro
Fonte: Herzog, 1996

As estruturas em vidro não se limitam ao vidro incolor. Estão sendo desenvolvidas estruturas em diversas cores (Figura 1.67), aumentando o leque de opções em materiais translúcidos para fechamentos de edificações.

Através da Figura 1.68 pode-se visualizar a fachada da edificação, utilizando o sistema de fechamento, com tubos transparentes no preenchimento das duas lâminas de vidro.

¹⁷ www.supersky.com

¹⁸ www.okalux.com



Outro sistema que merece ser citado é o *kapilux* (Figura 1.69). É um painel hermeticamente selado, constituído de duas lâminas de vidro e preenchido em seu interior com o *kapipane* (Figura 1.70).

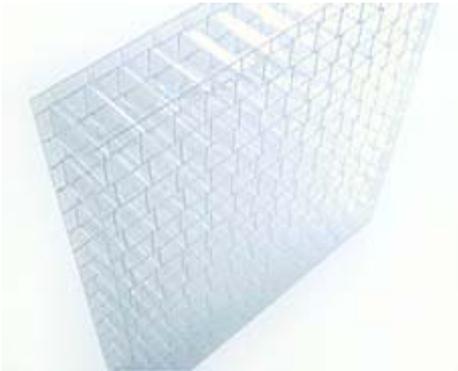


Figura 1.65 – Estrutura em vidro incolor
Fonte: www.supersky.com

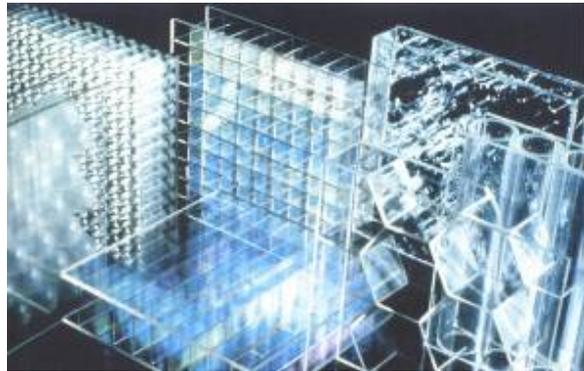


Figura 1.66 – Vários tipos de estrutura em vidro incolor
Fonte: Herzog, 1996

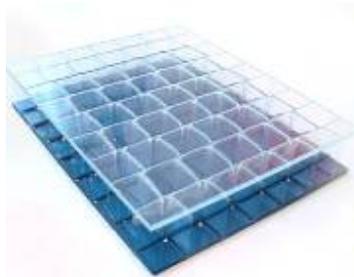


Figura 1.67 – Estrutura em vidro azul
Fonte: www.supersky.com



Figura 1.68 – Vista da fachada com estrutura em vidro incolor

Os *kapipanes* são estruturas capilares que combinam a máxima transmitância da radiação solar, com excelente propriedade de isolamento térmico, formando uma parede, com espessura fina, constituída de tubos com diâmetros de aproximadamente 3,5mm, dispostos com devidos ângulos em uma superfície plana.

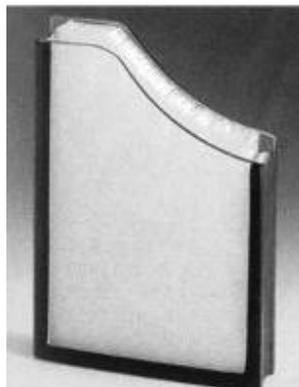


Figura 1.69 – Painel kapilux
Fonte: Herzog, 1996



Figura 1.70 – Kapipane
Fonte: Herzog, 1996



Figura 1.71 – Okasolar
Fonte: www.okalux.com

Parecido com o kapilux, tem-se o Okasolar (Figura 1.71), constituído de duas chapas de vidro, formando uma câmara de ar, mas, no lugar do material translúcido em seu interior, é colocado um tipo de persiana (Figura 1.72), em que as lâminas se movimentam, variando a angulação. Constitui um painel hermeticamente selado. Este tipo de painel foi utilizado na cobertura da Biblioteca de Hartford (Figuras 1.73 e 1.74).

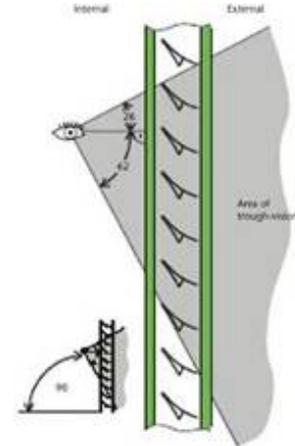


Figura 1.72 – Okasolar em corte
Fonte: www.okalux.com



Figura 1.73 – Vista da cobertura da Biblioteca Hartford com painel de Okasolar

Fonte:

http://www.miamidade.gov/buildingcode/online_product_search.asp



Figura 1.74 – Vista interna da cobertura da Biblioteca Hartford com painel de Okasolar

Fonte:

http://www.miamidade.gov/buildingcode/online_product_search.asp

Da mesma família, porém um pouco mais translúcido, tem-se também o Okatech (Figura 1.75), constituído de duas chapas de vidro, que podem ser de vários tipos, por exemplo, metalizados ou laminados, formando uma câmara, preenchida com uma série de fios, constituindo uma tela metálica. A dimensão do painel de Okatech ainda é limitado, é comercializado com tamanho de 1250mm X 3000mm. O arquiteto francês Dominique Perrault especificou o sistema de painéis Okatech e projetou toda a fachada da Biblioteca Central com painéis Okatech (Figuras 1.76 e 1.77).



Figura 1.75 – Okatech
Fonte: www.okalux.com



Figura 1.76 – Vista geral da Biblioteca Central com painel de Okatech

Fonte: http://www.miamidade.gov/buildingcode/online_product_search.asp



Figura 1.77 – Vista interna da Biblioteca Central com painel de Okatech

No maior museu do Brasil, com 33.000m² de área construída, localizado na cidade de Curitiba, o Museu Oscar Niemeyer (Figura 1.78), antes chamado de Novo Museu. Projeto de Oscar Niemeyer, inaugurado em novembro de 2002, conhecido também como MON. As fachadas principais (frente e fundos da obra) são formadas por painéis duplos de vidro laminado de 10mm de espessura, preenchidas com uma estrutura metálica tipo colméia (Figura 1.79), que reduz a incidência da radiação solar no ambiente interno.



Figura 1.78 – Museu Oscar Niemeyer



Figura 1.79 – Vista interna do Museu Oscar Niemeyer

O projeto do museu consta de uma arrojada estrutura em concreto armado; lembra o desenho de um gigantesco olho apoiado por uma estrutura central e com enormes balanços. O "olho" é uma edificação elevada, em duplo balanço, com 70m de comprimento e 30m de largura. A cobertura, de formato parabólico, está apoiada numa torre central de 21m de altura. Rampas e uma passagem subterrânea fazem a ligação entre os dois prédios. A ampla fachada é revestida com vidro, e a edificação parece flutuar sobre um espelho d'água.

1.10.1 Vidro Serigrafado

A serigrafia é o processo de transferência de desenhos ou superfícies de cor de uma matriz para um suporte, sobre uma tela de seda ou náilon. Geralmente utiliza-se um vidro plano, incolor ou colorido, mas isso não significa que não se possa utilizar outro tipo de vidro. A serigrafia pode ser aplicada em vidros

refletivos. O importante é que a metalização resista à têmpera, pois uma das etapas da criação do vidro serigrafado (Figura 1.80) é o processo de têmpera.



Figura 1.80 – Tipos de vidro serigrafado
Fonte: Revista Finestra, n.7, p10

As primeiras aplicações da técnica da serigrafia em vidros surgiram a partir de 1850, na Europa, destinando-se a objetos cotidianos, como copos, garrafas e frascos de perfume. Na construção civil, o vidro esmaltado foi o antecedente mais próximo do serigrafado, difundindo-se por volta do ano de 1955 no Brasil, com o nome de *emalite*. Este não apresentava tanta versatilidade como o serigrafado e era geralmente opaco ou pouco translúcido.

No Brasil, o vidro serigrafado chegou na segunda metade dos anos 90. Sua presença pode ser citada em obras nacionais, como o projeto The Flat de Afalo e Gasperini, em São Paulo, a indústria da Natura de Roberto Loeb, em Cajamar, a cobertura do Shopping Rio Preto, de Bernardo Figueiredo, em São José do Rio Preto – SP, além de outros usos, como a escada do Centro Brasileiro Britânico, também em São Paulo.

O vidro serigrafado tem também como objetivo barrar a luz ou diminuir a sensação de ofuscamento e obter uma certa privacidade, gerando um jogo de luz e sombra, além de um refinamento no projeto. É também considerado uma alternativa ao vidro jateado; este tem aparência de um vidro "impresso" e, para sua produção, o vidro necessita de um jato de areia. A vantagem da serigrafia é que permite o uso de cores.

Com as constantes inovações, os recentes lançamentos no mercado em esmaltes cerâmicos, é possível criar projetos personalizados, através de:

- vidros opacos e translúcidos - por meio de tinta especial que pode substituir o vidro jateado;
- personalização – por meio de figuras, tramas, letras e desenhos inéditos;
- texturização – permitindo adquirir texturas, por exemplo, de mármore, do granito ou de outro material de revestimento de pisos e paredes, com vantagem de serem mais leves e de fácil limpeza.

A sua especificação deve levar em conta suas características plásticas, de segurança e de controle luminoso. No país, a dimensão dos painéis de vidro serigrafado é limitada, devido ao limite de entrada



das máquinas de serigrafia operadas pelos fabricantes nacionais. Os painéis não excedem as dimensões de 2,200mm de largura por 2,600mm de comprimento.

O vidro serigrafado possui inúmeras funções, além das citadas; ele pode conduzir correntes elétricas através da serigrafia. No mercado, têm-se vidros serigrafados à base de pasta de prata, que são eletrotransmissíveis. Como exemplos de uso podem-se citar os utilizados no vidro traseiro dos carros, como sistema de desembaçamento, os empregados em agências bancárias e caixas eletrônicos, que, em uma tentativa de roubo, disparam um alarme.

Quanto às suas propriedades, é um vidro originalmente temperado, portanto é classificado como um vidro de segurança, devido à sua resistência a impactos. Podem compor ou fazer parte dos vidros insulados ou duplos, e serem curvados, sem alteração de suas propriedades de cor e transparência, e, por fim, são enquadrados como autoportante: são os vidros que em sua forma monolítica podem ser sustentados apenas por ferragens aplicadas com pressão em furações e recortes.

1.10.2 *Transparent ou Translucent Insulating Material - TIM*

Na literatura internacional, é muito conhecido como “*Advanced Glazing*”. Pode ser encontrado de diversas maneiras, como folhas polímeras, capilares, perfis celulares. E também se apresenta de duas maneiras distintas: transparente ou translúcida. O TIM é considerado o melhor isolante translúcido disponível no mercado, além de ajudar a difundir a luz no ambiente interno.

A evolução e a história do TIM podem ser resumidas com Veinberg and Veinberg (1959), que iniciou o estudo com a utilização de malhas estreitas com *honeycomb*, constituindo células anti-radiantes em aquecedores solares. Mais tarde, Francia (1961) demonstrou a eficiência dessas células anti-radiantes em altas temperaturas solares. Hollands (1965) apresentou as características do desempenho teórico de *honeycomb* com o mecanismo de “supressão de convecção”, colocado entre o absorvedor e a cobertura externa de vidro do prato coletor, em aquecedores de água. Tabor (1969) apresentou um conciso quadro de ensaios de *honeycomb*, indicando que para o sucesso do uso de *honeycomb* precisaria esperar por melhores materiais e técnicas de fabricação. Desde essa época, experimentos com extensivas pesquisas sobre instrumentos *honeycomb* para a “supressão da convecção” natural têm sido realizados.

O TIM é bastante citado em pesquisas internacionais: por Nahar (2001), Yang et al. (2000), Dolley et al. (2003), Lien et al. (1999), Robinson (1994), Lampert (2004), Goetzberger (1987), Arulanantham (1998), Manz (1997), Kaushika (2003) e Chaurasia (2001). Porém a maioria das pesquisas refere-se ao material TIM com o propósito de ser utilizado em aquecedores solares de água. Já possui inúmeras referências nesse sentido na Europa; artigos comprovam, através de ensaios, a economia final que se expressa de maneira significativa.

Braun (1992), porém já relatava que o TIM representava uma classe de novos materiais para o sistema de convecção térmico solar, e que, devido às suas características: $U =$ abaixo de $1W/m^2K$ e transmitância

de radiação maior que 70%, era um material que gerava novas esperanças no que diz respeito ao armazenamento de energia e isolamento térmico. Através das Figuras 1.81 e 1.82 pode-se visualizar o princípio esquematizado por Braun (1992) do funcionamento do TIM.

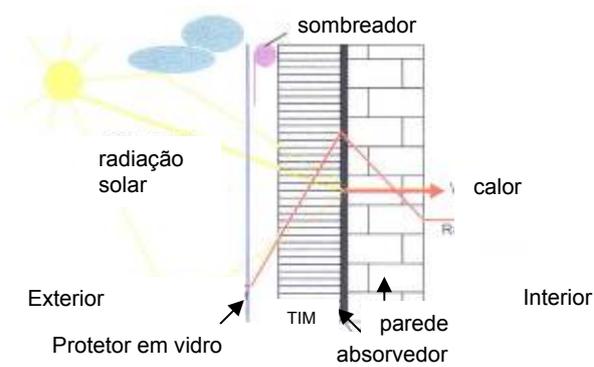
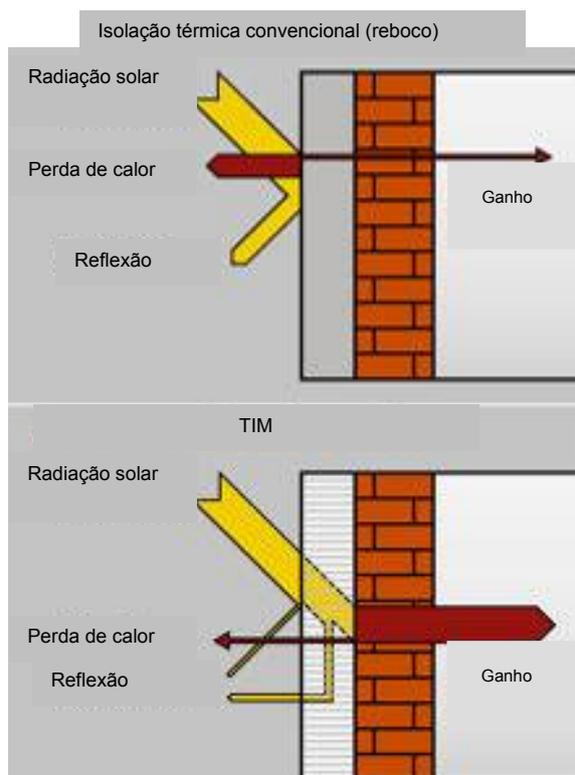


Figura 1.81 - Esquema de funcionamento do TIM
Fonte: Braun, 1992



Figura 1.82 – Foto do sistema TIM
Fonte: Herzog, 1996



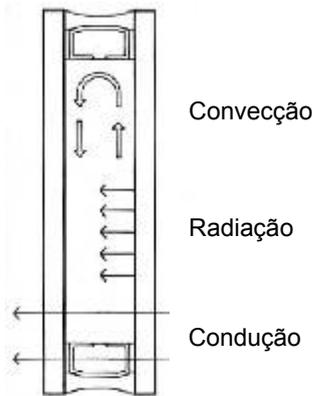
Contudo foram Manz et al. (1999) que estudaram e descreveram um sistema para ser integrado à parede (Figura 1.83) de edificações, usando o TIM associado ao PCM – *Phase Change Material*. Este sistema possui como objetivo transmitir a luz visível (quando aplicado nas aberturas) e absorver a radiação e converter em calor (onda longa). Os ensaios, utilizando o sistema, foram realizados em Zurich, durante o mês de dezembro (inverno).

Figura 1.83 – Esquema comparando o uso do Sistema TIM e o sistema convencional de isolação
Fonte: Herzog, 1996

1.10.3 Vidro Isolante

O vidro isolante, que já foi comentado anteriormente, também conhecido como vidro insulado (Figura 1.84), resulta em uma das inovações que vem sendo muito utilizada principalmente na Europa. É

composto de duas ou mais lâminas de vidros, separadas por uma camada de gás inerte (ar desidratado, argônio, criptônio, xenônio, etc...). As bordas do vidro são hermeticamente seladas com materiais que resistem a altas e baixas temperaturas e a ação do ultravioleta.



Além dos gases, que podem ser colocados na camada interna formada entre as duas lâminas de vidro, têm-se utilizado persianas (Figura 1.85), com acionamento manual ou por controle remoto. Existem também pequenos materiais transparentes ou translúcidos, como estruturas capilares (Figura 1.86), kapipane, já citado, os aerogéis, estruturas em vidro.

Figura 1.84 – Vidro isolante

Fonte: Caram, 2002



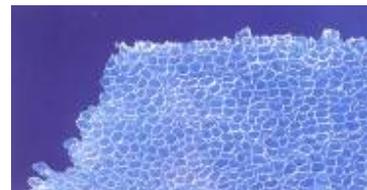
Paulo Duarte (s/d) ressalta que o vidro insulado com um componente refletivo oferece melhores coeficientes fotoenergéticos do que o vidro monolítico ou laminado, além de diminuir a transferência de calor, o fator U mais baixo.

Figura 1.85 – Persiana entre as duas folhas de vidro

Fonte: Caram, 2002

Figura 1.86 – Estrutura capilar

Fonte: Herzog, 1996



Um exemplo da utilização de vidro isolante no Brasil encontra-se na clarabóia do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (Figura 1.87). Trata-se de um sistema que utiliza painéis de vidro duplos, combinados com o gás argônio. O objetivo é a redução da troca de calor dos vidros com o ambiente, proporcionando uma economia na climatização do ambiente.

Utilizou-se um vidro semi-temperado de 10mm, na parte externa, distanciado de um laminado de 12mm, de modo que gerou uma pequena câmara, na qual foi injetado o gás argônio, cuja presença não é identificável visualmente; a impressão final é apenas a presença de vidros transparentes.



Figura 1.87 – Vista interna da clarabóia do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro

Fonte: http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/trabalhos_2002-1/Coberturas_Transparentes/vidro.htm

Etzion e Erell (2000), pesquisadores do Instituto de Pesquisa Jacob Blaustein, na Universidade de Negev, em Israel, criaram um sistema de envidraçamento (*State-of-the-art*), onde realizaram vários experimentos utilizando células-teste, mas que ainda não se encontra disponível no mercado. O objetivo foi inventar um envidraçamento flexível para edificações inseridas em regiões que necessitam de um aquecimento na estação do inverno e um resfriamento no verão.

Consiste em um sistema de vidraça que possui duas configurações diferentes: uma para ser aplicada na edificação na estação do verão (Figura 1.88) e outra para o inverno (Figura 1.89). O sistema é constituído de uma armação giratória, onde se tem fixado duas lâminas de vidro: um vidro transparente, de 4mm de espessura, que permite a transmissão direta da radiação, e um outro, absorvente, de 8mm de espessura. O vidro absorvente é fixado a 22mm de distância do vidro transparente, formando um espaçamento de ar entre eles, o qual é vedado nos lados, mas aberto na parte inferior e superior. Essa abertura tem como objetivo que o ar circule livremente entre os vidros.

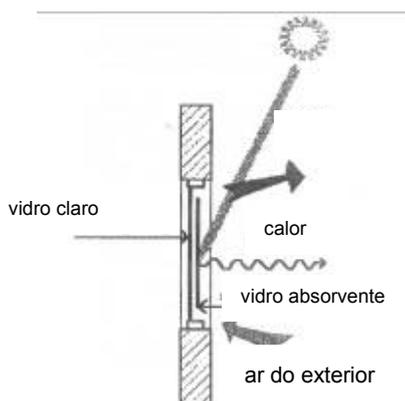


Figura 1.88 – Desenho esquemático do sistema de vidraça, na estação do verão
Fonte: Etzion e Erell, 2000

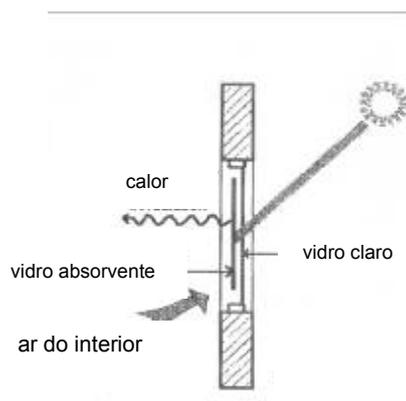


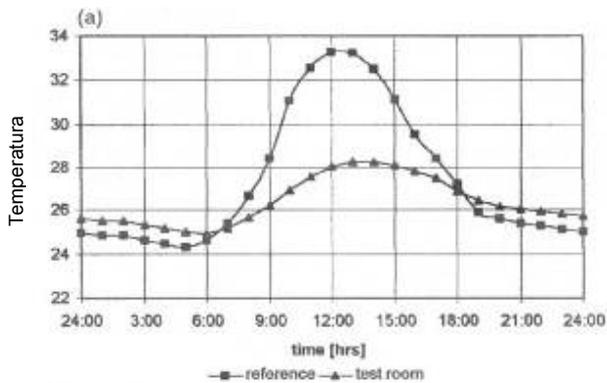
Figura 1.89 – Desenho esquemático do sistema de vidraça, na estação do inverno
Fonte: Etzion e Erell, 2000

Na estação do verão, o vidro absorvente está posicionado do lado externo da edificação, dificultando a transmissão direta da radiação e absorvendo a radiação solar e dissipando o calor para o ambiente externo. No inverno, a armação é rotacionada de forma que a lâmina absorvente se situa no interior da

edificação, reduzindo a luminosidade, contudo permitindo as trocas térmicas por convecção e radiação de calor para o ambiente.

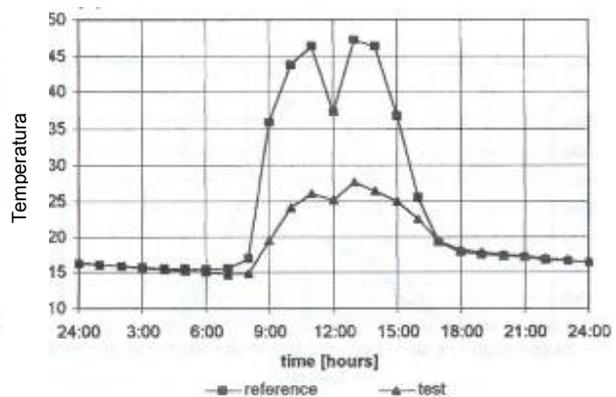
O sistema de vidraças *State-of-the-art* oferece ótimas soluções para climas frios e soluções bastante eficazes para climas quentes, como se pode visualizar através das Figuras 1.90 e 1.91, onde há o gráfico da temperatura interna do ar, em °C. Em função da hora do dia, constata-se que a vidraça experimental consegue reduzir significativamente o valor da temperatura do ar no ambiente interno. No ambiente com a vidraça experimental, a temperatura máxima alcançada foi de 28°C, enquanto com a vidraça referência, os valores ultrapassaram os 32°C, no verão; e no inverno, o ambiente com a janela referência, os valores ultrapassaram os 45°C, porém com a janela experimental, a temperatura máxima registrada foi de 27°C.

Esta janela também apresentou bons resultados no tocante à atenuação da luminosidade decorrente da incidência da radiação solar, por meio das Figuras 1.92 e 1.93. Percebe-se a diminuição do nível de iluminância no interior da sala com o sistema de vidraça proposto, que varia de 200 a 600 lux, enquanto a sala de referência com janela com mesma dimensão e orientação, mas com vidro simples transparente de 4mm de espessura, a iluminância variou entre 4.000 a 10.000lux, sendo registrados simultaneamente 80.000lux no exterior da edificação.



Hora

Figura 1.90 – Efeito da vidraça: dados de temperatura do ar interno no verão
Fonte: Etzion e Erell, 2000



Hora

Figura 1.91 – Efeito da vidraça: dados de temperatura do ar interno no inverno
Fonte: Etzion e Erell, 2000

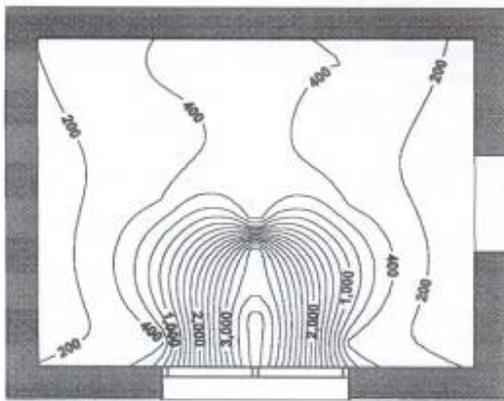


Figura 1.92 – Nível de iluminância (lux) no ambiente interno em um dia de sol no inverno: ambiente com vidraça experimental
Fonte: Etzion e Erell, 2000

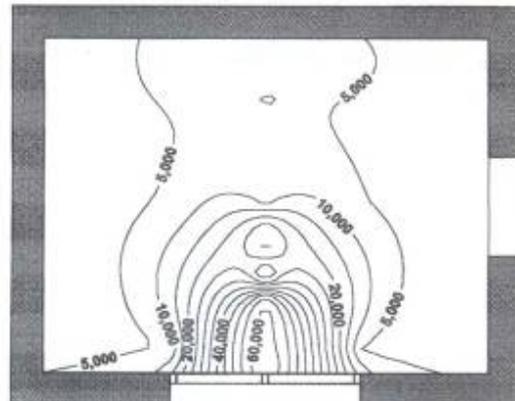


Figura 1.93 – Nível de iluminância (lux) no ambiente interno em um dia de sol no inverno: ambiente com vidraça de referência
Fonte: Etzion e Erell, 2000

Pereira (s/d) avaliou a influência termo-energética do tipo de vidro utilizado na envoltória de edificações. Sua pesquisa tinha como objetivo analisar a resposta termo-energética de duas edificações, quando é alterado o tipo de vidro em sua fachada, visto que a influência que as superfícies semitransparentes exercem na transferência de calor em um ambiente fechado de uma edificação é significativa. Para exemplificar essa diferença, utilizaram-se dois tipos de vidro, com baixo e alto teor de ferro, porém com mesma espessura, de 6mm; observa-se por meio da Figura 1.94 que vidros com baixo teor de ferro permitem maior transmissão espectral.

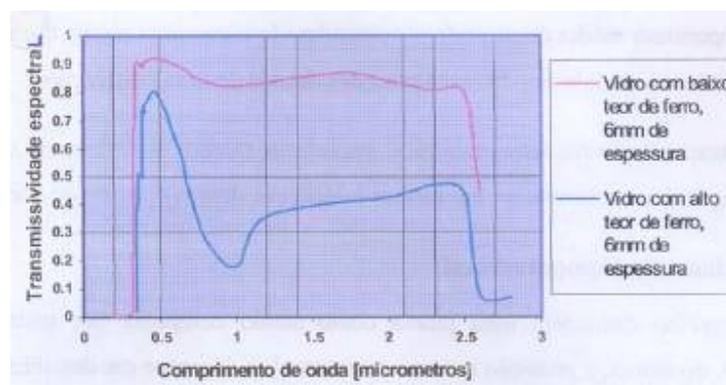


Figura 1.94 – Influência da quantidade do teor de ferro no vidro na transmissão espectral

Fonte: Pereira (s/d)

Foram realizadas simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus, onde se avaliou a evolução das temperaturas internas, a transferência de calor em janelas e a carga térmica sensível de resfriamento das edificações.



Constatou-se que são significativas as diferenças entre as taxas de transferência de calor através das janelas e as cargas térmicas sensíveis de resfriamento. No caso da evolução das temperaturas internas, não são observadas diferenças expressivas.

1.10.4 Materiais Cromogênicos

Os materiais cromogênicos, também denominados de inteligentes, constituem os envidraçamentos passivos e ativos. Esses materiais ainda estão em fase de desenvolvimento, mas já existem várias pesquisas adiantadas, como Selkowitz (1990), Aergertter (1994), Chahroudi (1995), Caram (1998), Carmody (2000), Salahifar (2003), Lampert (2004). E já vêm sendo utilizados na construção civil.

Pesquisas mostram que os materiais cromogênicos representam um futuro próximo dos envidraçamentos inteligentes e têm como propriedade básica permitir alterações de suas propriedades óticas em função da variação de luz ou temperatura e de aplicação de voltagem; em outras palavras: eles possuem a capacidade de escurecer ou de se tornarem completamente transparentes, dependendo das condições que são impostas.

Cabús (1998) sintetiza o sistema de envidraçamento em três mecanismos de controle:

- Fotocromáticos – Alteram suas propriedades óticas quando expostos à luz. Voltam ao normal após cessamento da exposição. Possuem como desvantagem o fato de não serem sensíveis aos efeitos do ganho de calor solar. Quanto ao custo, ainda é elevado, tornando-se seu uso limitado.
- Termocromáticos – Alteram suas propriedades óticas quando submetidos a uma variação de temperatura. Não se detecta a diferença entre alta temperatura ambiente e a radiação solar incidente, nem tampouco a variação de iluminância.
- Eletrocromáticos – Alteram suas propriedades óticas quando submetidos a uma diferença de potencial (variando de 1 a 5V). Sua grande vantagem é a possibilidade de serem ligados a sistemas de controle geral e, por meio de algoritmos, terem sua eficiência otimizada.

Caram (1998) complementa que os fotocromáticos ou fotocromáticos e os termocromáticos ou termocromáticos são enquadrados como materiais passivos, que alteram suas características de transmissão de luz em função da incidência solar e em função da oscilação da temperatura interna e externa do ambiente.

Os vidros fotocromáticos mudam suas propriedades óticas, tornando-se escuros quando expostos à radiação solar, mais especificamente, à radiação ultravioleta e aos comprimentos mais curtos do visível, todavia voltam à sua coloração inicial na ausência de luz (GRANQVIST, 1991). Os vidros fotocromáticos já vêm sendo, há muito tempo, utilizados nas lentes de óculos; seu uso vem se ampliando e sua utilização ganha espaço também na construção civil, porém, ainda, com pouca disponibilidade. Encontram-se

placas de 1m² e a 1mm de espessura; devido a essa espessura, pode-se utilizar na composição de vidros laminados. Os vidros fotocromicos para construção civil estão sendo desenvolvidos pela empresa vidreira Corning Glass, localizada nos Estados Unidos.

Já os materiais termocrômicos são conhecidos desde 1870. Seu princípio de funcionamento é o seguinte: à medida que são aquecidos, o vidro termocrômico muda a sua coloração ou torna-se refletivo; um exemplo tem-se no *Cloud Gel*. Este é constituído de um filme claro, que, quando aquecido acima da temperatura ambiente, sua textura muda de transparente para opaca; esse processo é reversível, à medida que a temperatura abaixa. Em outros modelos, o óxido contido na camada (película entre os dois vidros) quando aquecida, se metaliza, tornando o vidro refletivo e não absorvedor de calor.

Outro material que vem sendo pesquisado e já utilizado na construção civil são os termotrópicos. Como exemplo têm-se os painéis ThermoSEE (Figuras 1.95 e 1.96), que estão sendo introduzidos no mercado pela companhia americana Pleotint. O material opera em todo espectro solar e altera seu aspecto também com o aumento de temperatura, chegando a se tornar translúcido e até mesmo opaco.



Figura 1.95 – Painéis ThermoSEE, vidro termotrópico não ativado
Fonte: Lampert, 2004



Figura 1.96 – Painéis ThermoSEE, vidro termotrópico ativado
Fonte: Lampert, 2004

Constituem um hidrogel, prensado entre duas lâminas de vidro, composto de água e um gel, que geram uma substância homogênea e límpida, e, a partir de uma certa temperatura, entre 5°C a 60°C, variam de acordo com sua produção para atender as necessidades exigidas, tornando-se translúcido. O grande problema desse material é a vida útil. Como exemplos desse material podem ser citados o *Cloud Gel* e o *TALD* (Figura 1.97).

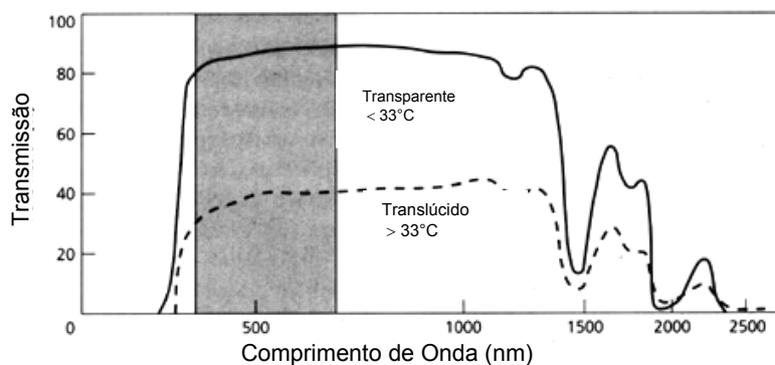


Figura 1.97 – Transmissão do vidro com camada *TALD*
Fonte: Compagno, 1996.

Quanto aos materiais ativos, podem-se citar os vidros eletrocromáticos ou electrocromáticos e cristais líquidos (Figura 1.98). O processo de funcionamento é em função de aplicação de voltagem, que ocasiona a alteração de suas características óticas.

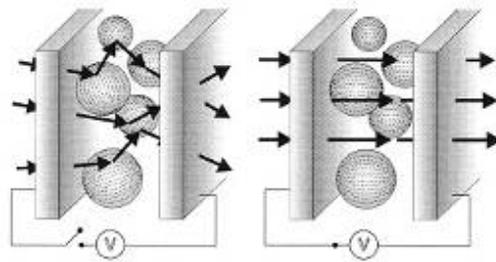


Figura 1.98 – Influência elétrica no alinhamento molecular em cristais líquidos
Fonte: Compagno, 1996

No caso dos cristais líquidos, com a aplicação de voltagem, ocorre o alinhamento das moléculas, ou seja, os cristais líquidos se alinham, permitindo a transmissão de luz e o vidro torna-se transparente, que se mantém enquanto o campo elétrico for aplicado. Quando não há mais aplicação de voltagem, o campo magnético é desativado e o vidro passa a ser translúcido, podendo ser repetida a operação quantas vezes for desejado.

O material cristal líquido já é considerado familiarizado, devido à sua presença em relógios, telas de monitores de variados tipos de computadores, telas de televisores, etc. Desde a década de 90, vem ampliando seu uso também na construção civil, não como elemento de fachada, porque sua estrutura não pode atingir temperaturas superiores a 40°C. Mas sim, como divisórias internas nas edificações, permitindo locais variados, de acordo com a necessidade, ambientes ora integrados e ambientes ora distintos. (Figura 1.99).

Os vidros eletrocromáticos são dotados de memória e, com a aplicação de voltagem, obtém-se a mudança de coloração do vidro, sendo que para descolori-lo basta mudar a polaridade dos eletrodos. O tempo de memória implica o período em que o vidro eletrocromático permanece colorido depois de cessada a aplicação de voltagem. O tempo pode chegar a 24 horas, portanto não necessita de constante aplicação de voltagem (CARAM, 1998).



Figura 1.99 – Divisória em cristal líquido: vidro desativado à esquerda e ativado à direita
Fonte: http://www.floridabuilding.org/pr/pr_overview.asp

As características óticas se alteram, podendo barrar até 90% da transmissão total; o filme, escuro, transmite pouca luz visível, mas também muito pouco na região do ultravioleta e infravermelho. Por meio da Figura 1.100 pode-se constatar o desempenho de um vidro eletrocromico com filme de TiO_2 , nos estados ativado (fumê) e desativado (incolor).

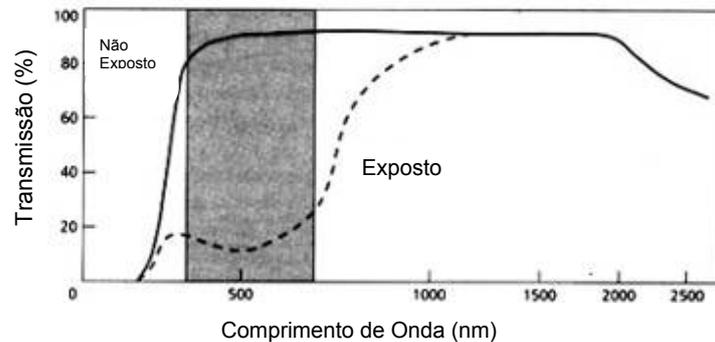


Figura 1.100 - Transmissão do vidro eletrocromico, ativado e desativado, nos intervalos característicos
Fonte: Caram, 1998

O melhor desempenho acontece quando o uso dos vidros eletrocromicos (Figura 1.101) está simultaneamente associado com a utilização de sistema informatizado para controle das condições ambientais dos edifícios, tais como: nível de iluminação, temperatura interna do ambiente, combinação entre luz artificial e natural, de modo a melhorar a eficiência energética dos edifícios.



Figura 1.101 – Vista interna da edificação com painel fotovoltaico
Fonte: <http://www.floridabuilding.org/pr/>

A durabilidade é uma das características que precisam ainda ser melhoradas, devido seu custo ser elevado. Hoje, a vida útil dos dispositivos que se chamam “janelas inteligentes” é de apenas 5 a 15 anos; neste período, são assegurados com total desempenho do produto. A utilização do vidro eletrocromico é mais acentuada na área de propaganda, com objetivo de divulgar produtos. (Figura 1.102)

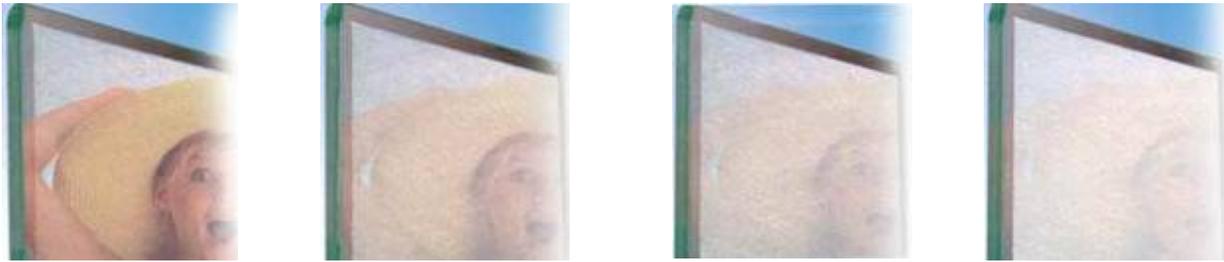


Figura 1.102 – Vidro eletrocromico com imagens para propagandas em vários níveis
Fonte: <http://www.floridabuilding.org/pr/>

1.10.5 Vidros Impressos

Os vidros impressos (Figura 1.103) aparecem neste item com a intenção de apresentar uma nova aplicação tecnológica. O vidro impresso perde a singeleza, a singularidade e restrita aplicação e amplia a sua especificação em fachadas nas edificações.

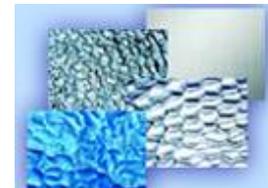


Figura 1.103 – Vidros impressos
Fonte: www.cebrace.com

É conhecido popularmente como “vidro fantasia”. Seu processo de fabricação constitui na passagem do vidro já elaborado, na saída do forno, em torno de 1200°C, entre dois rolos metálicos e refrigerados com água corrente em seu interior, que ao mesmo tempo o modela e esfria. O rolo superior é liso, ou, em alguns casos, com uma estampa delicada, e o inferior é o que efetivamente imprime o padrão desejado ao vidro (Figura 1.104). A espessura do vidro é determinada de acordo com o espaçamento entre os dois rolos laminadores. Após a saída dos rolos laminadores, a chapa de vidro, que ainda não está completamente rígida, é conduzida por uma série de rolos até a entrada no forno de recozimento, onde gradativamente é realizada a diminuição da temperatura até a temperatura ambiente. Na saída do forno de recozimento, a chapa de vidro é cortada nos tamanhos adequados.



Figura 1.104 – Processo de fabricação do vidro impresso, rolo inferior
Fonte: file://A:\mat vidro impresso.htm , 16/12/2004

Resulta em um vidro translúcido muito utilizado em janelas e divisórias, onde se deseja a passagem da luz, sem, entretanto, permitir a visualização através dele, mantendo, assim, a privacidade do ambiente. É um produto versátil, podendo ser utilizado monolítico, temperado, curvado, espelhado e laminado.

1.10.6 Outras Alternativas

São inúmeras as criações e as inovações utilizando o vidro e compondo harmonicamente e plasticamente as fachadas das edificações, sem deixar de lado a preocupação da criação de uma obra interessante e funcional.

O vidro acidado (Figura 1.105) e o foscado a ácido (Figura 1.106) são opções que se pode tratar como recente na construção civil, pois a utilização do vidro acidado em vasos, data de 1940 e 1950 no período “Art Nouveau e Art Deco”. Podendo ser fabricado de forma artesanal ou industrial, ele é submetido a uma solução ácida que age no vidro de modo controlado, criando texturas, desenhos, letras, dando um aspecto de translucidez. No processo artesanal, as estampas são criadas sob encomenda. Já no industrial, o vidro é colocado em máquinas que permitem que ele possa apresentar aparência totalmente translúcida; colorida totalmente translúcida; translúcido decorado com listras brilhantes e desenhos florais, geométricos e artísticos padronizados, enfim inúmeras são as opções.



Figura 1.105 – Vidro acidado
Fonte: <http://www.alusistem.com.br/vidros.html>

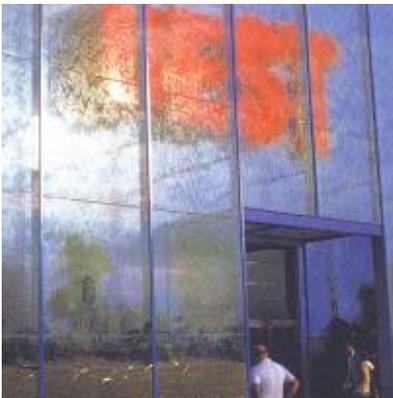


Figura 1.106 – Vidro foscado a ácido
Fonte: <http://www.alusistem.com.br/ALU-NOTICIAS.html>



As Figuras 1.107 e 1.108 mostram como alternativa uma fina camada de água localizada entre as duas lâminas de vidro compondo uma fachada. Por meio de uma superfície transparente, conhecida mundialmente, obtém-se também, alternadamente, superfície translúcida, gerando um ambiente descontraído em constante movimento e exclusivas e distintas apresentações.

Figura 1.107 – Fachada em vidro com película de água interna
Fonte: Herzog, 1996



Nova área de pesquisa são as fachadas revestidas com blocos de vidros compostos internamente de substância orgânica (Figura 1.109). Constitui-se uma inovação em materiais de revestimento de fachadas, onde a vegetação é mergulhada em solução que permite a durabilidade com a exposição e mudanças de temperatura e de luz, permitindo um sombreamento parcial da luz.

Figura 1.108 – Fachada em vidro com camada de água interna
Fonte: Herzog, 1996

Vidro autolimpante é um vidro que, no seu processo de fabricação, foram aplicados produtos químicos que evitam a aderência de sujeira e fazem com que a água da chuva escorra de maneira que forma uma cortina única, retirando homoganeamente o pó e evitando marcas de respingos. Este tipo de vidro só está disponível para importação.



Figura 1.109 – Blocos em vidro com substância orgânica interna
Fonte: Herzog, 1996

A tecnologia do vidro caminha à alta velocidade e desenvolve vários tipos de materiais que tentam se ajustar à necessidade do mercado consumidor. Um desses casos é o vidro translúcido em forma de grade (Figura 1.110), com a finalidade de não isolar por completo os ambientes, permitindo a ventilação

natural. Há os vidros supercoloridos, com estampas cada vez mais inéditas (Figura 1.111), o vidro com pontos de luz no seu interior (Figura 1.112), o vidro holográfico (Figura 1.113).

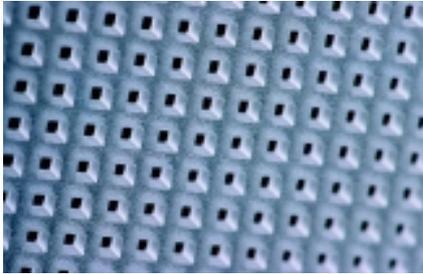


Figura 1.110 – Vidro translúcido em forma de grade
Fonte: <http://www.alusistem.com.br/ALU-NOTICIAS.html>



Figura 1.111 – Vidros coloridos
Fonte: <http://www.alusistem.com.br/ALU-NOTICIAS.html>



Figura 1.112 – Vidro com pontos de luz no seu interior
Fonte: <http://www.iis.com.br/~cat/parabolica/20011022a.htm>

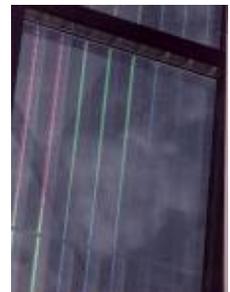


Figura 1.113 – Vidro holográfico
Fonte: Corado, 2001

Em fase de pesquisa, mas apresentando resultados interessantes, tem-se a cortina econômica (Figura 1.114). Trata-se de filmes plásticos flexíveis com deposição de alumínio para refletir o calor incidente e impedir sua transmissão para o ambiente. Para produzir o filme metalizado foi utilizada a tecnologia RCF (filmes de controle de energia radiante, do inglês Radiant Energy Control Films), desenvolvida na década de 60 pela Nasa.



Figura 1.114 – Filme aplicado na cortina
Fonte: www.revistapesquisa.fapesp.br, consultado em dezembro de 2005

Para avaliar a eficiência da cortina com filme RCF, foi escolhido um andar inteiro de um edifício comercial recém construído, todo envidraçado, localizado na zona sul de São Paulo. Nos testes, foram feitas medições da temperatura do ar e da radiação solar incidente, e estes dados foram processados com auxílio do programa Energy Plus.



Fúlvio Vittorino¹⁹ relata que *“trabalhamos inicialmente na determinação da emissividade do filme, propriedade que mede quanto de calor é irradiado por um produto (...) no caso da cortina, quanto mais baixo esse índice, menos calor é transferido para dentro do edifício.”*

Foi lançado no mercado uma tinta em “spray” (Figura 1.115) que existe em duas versões com objetivos diferentes: colorir ou dar uma aparência translúcida ao vidro transparente; nesta última, a superfície em vidro fica semelhante a de um vidro jateado.

O vidro pode de ter aparência de um vidro jateado, e ainda obter as seguintes cores: branco, verde, azul e violeta. O valor médio do produto está em torno de 16 reais.



Figura 1.115 – Tinta “spray” para vidro
Fonte: <http://www.jornaldacidade.com.br/cadernos>

Através deste levantamento, pode-se constatar que são inúmeras as opções em vidros e materiais translúcidos, possibilitando e facilitando o arquiteto/projetista em criações inéditas, exuberantes e arrojadas, sem perder ao mesmo tempo a preocupação e responsabilidade quanto ao conforto térmico e luminoso.

Alguns modelos de vidros translúcidos expostos ainda estão em fase de pesquisa, portanto não disponíveis no mercado, mas as empresas e pesquisadores prometem lançar o mais rápido possível; a grande maioria também só se encontra disponível no mercado internacional. No Brasil, nestes 10 últimos anos, vem crescendo muito a diversificação em materiais transparentes, porém, tratando-se de translúcidos de alta tecnologia, o mercado brasileiro está deixando um pouco a desejar, resumindo, está nascendo, despertando.

¹⁹ Pesquisador do laboratório de conforto ambiental do IPT.

Capítulo 2

Obras Utilizando Vidros Translúcidos

Este capítulo faz um levantamento das obras mais recentes, nacionais e internacionais, que integraram no projeto de maneira harmônica e criativa o vidro translúcido, seja com a intenção somente estética, seja também com a finalidade de reduzir o ganho térmico ou diminuir o ofuscamento no interior do ambiente.



2 Obras Utilizando Vidros Translúcidos

Cada vez mais o arquiteto busca novas tecnologias que respondam as suas necessidades estéticas e funcionais de projeto, e as indústrias acompanham o seu ritmo, criando, descobrindo, sugerindo novos materiais, ou transformando materiais já existentes, mas com um novo “design”, uma nova aparência, seja ela sofisticada ou singela.

A maioria das obras selecionadas neste trabalho podem ser enquadradas como obras que seguem a corrente *high-tec*. Grandes nomes internacionais são responsáveis pela sua criação, como: Norman Foster, Nicholas Grimshaw, Jean Nouvel, Rafael Moneo, Herzog, Meuron.

2.1 Museu Arqueológico de Saint Romain

Localizado em Saint Romain-em-Gal, na França.

O museu foi construído sobre um sítio arqueológico romano nas margens do rio Ródano, portanto exigiu cuidados especiais, pois deveria preservar a antiga colônia Lulia Viennensium, datada de 100 a.C a 300 d.C. Projetado pelos arquitetos Philippe Chaix e JeanPaul Morel, que dividiu a obra em dois edifícios, cada qual com uma função específica, somando 12 000m².

A edificação destinada a abrigar a exposição permanente constitui-se em uma caixa envidraçada e estrutura metálica suspensa sobre o terreno, apoiada em quatro fileiras de seis esbeltos pilares, cujas fundações chegam até as ruínas.

Para proteger da insolação, mas sem interferir na transparência da edificação, foram colocados na fachada, lâminas de vidro serigrafado (Figura 2.1), sustentadas em cabos, tomando o papel de “brises-soleil”.



Figura 2.1 – Museu Saint Romain
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br>

2.2 Biblioteca Universitária

Localizada em Eberswalde, na Alemanha

Projeto de Herzog & de Meuron, de 1994.



Figura 2.2 – Vista da Biblioteca Universitária
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br>



Figura 2.3 – Aberturas na fachada em vidro transparente
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br>

É marcante a presença do vidro serigrafado em toda a fachada, resultando em uma fachada de esmalte cerâmico com figuras distintas no sentido vertical, porém repetitivas nas faixas horizontais (Figura 2.2). Também existem pequenas partes em que o vidro dá lugar para o concreto, mas também obedecendo à sincronia de figuras impressas. A serigrafia também foi realizada sobre o concreto, dando uma continuidade e um certo movimento harmônico na fachada.

Herzog comenta que a intenção na utilização do vidro serigrafado era conseguir um grau de sombreamento no espaço interno e repassar este “ar” misterioso nas partes translúcidas; não se percebe o interior, já nas transparentes é mostrado, é divulgado. Na fachada, observam-se também pequenas aberturas em vidro transparente. (Figura 2.3).

Observando a obra a uma certa distância, nota-se a textura, e não se consegue distinguir o material de revestimento. À medida que se aproxima, constata-se as reproduções fotográficas impressas no vidro (Figura 2.4) e as partes transparentes, permitindo a visão do interior.



Figura 2.4 – Vista do detalhe do volume de entrada da biblioteca
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br>

2.3 Galeria Lafayette

Localizada em Berlim, na Alemanha

Projeto de Jean Nouvel.

Jean utiliza a fachada como divulgação dos produtos que são comercializados no interior da edificação, com a intenção de repassar informações sobre estes, de maneiras diferentes; para isso, ele partiu para o uso do vidro serigrafado (Figura 2.5). A obra tem a função de abrigar lojas e escritórios. A superfície em vidro serigrafado transmite um certo movimento à composição. Através dos vidros, é possível observar tanto o ritmo das pessoas nas lojas, como as que estão em pleno trabalho. A fachada recebe um papel inusitado: é como se a fachada da galeria representasse uma grande vitrine de produtos e pessoas.



Figura 2.5 – Vista do vidro serigrafado na fachada da Galeria Lafayette
Fonte: Corado, 2001

A fachada é de caixilho duplo, constituída de uma pele interna de vidro insulado e uma externa de vidro simples temperado (Figura 2.6). A distância das lâminas de vidro é de 20cm e possui uma persiana de

aço inoxidável, para proteger da radiação solar. O insulado é composto de vidro interno de 6mm, com película de baixa emissividade, cavidade preenchida com o gás argônio e vidro externo de 8mm, resultando numa composição final de 30mm. As lâminas possuem dimensão de 2,75m de altura por 1,35m de largura e são colocados de maneira alternadas, ora o caixilho é fixo, ora é pivotante, porém sempre com fendas na parte superior e inferior de cada painel, para facilitar a circulação do ar. Os vidros externos possuem 12mm de espessura e, em alguns pontos, recebem a serigrafia, que cobre 20% da área da fachada. (Figura 2.7)



Figura 2.6 – Vista dos painéis da fachada da Galeria Lafayette
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br>



Figura 2.7 – Vista geral da Galeria Lafayette
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br>

2.4 Centro de Convenções “Kursaal”

Localizado em San Sebastian, na Espanha

Projeto de Rafael Moneo, de 1999.

Composto de dois blocos cúbicos translúcidos (Figura 2.8), as quatro fachadas são completamente cobertas por vidros translúcidos curvos, exceto as pequenas aberturas; estas receberam vidros transparentes, para permitir a vista da paisagem. Devido ao arrojado projeto, tirando da materialidade peculiar do vidro toda



Figura 2.8 – Centro de Convenções Kursaal
Fonte: Hugo Segawa

sua potencialidade de iluminar, confortar e criar efeitos (Figura 2.9), Moneo recebeu o prêmio Mies van der Rohe de arquitetura.



Figura 2.9 – Centro de Convenções Kursaal ao entardecer

Fonte: Hugo Segawa



As fachadas são constituídas de pele de vidro duplas. Na parte externa são vidros laminados curvos (Figura 2.10) e, internamente, vidros laminados planos jateados (processo em que o vidro se torna translúcido, consiste em um jateamento de areias no processo de produção). Os painéis de 250 X 60cm são fixados sobre uma grande e inclinada estrutura metálica; as aberturas transparentes são compostas por um conjunto insulado de dois vidros laminados.

Figura 2.10 – Detalhe dos vidros curvos na fachada
Fonte: Hugo Segawa

2.5 Escola Secundária

Localizada em Vienna, na Áustria

Projeto de Helmut Richter, de 1995.



Figura 2.11 – Escola Secundária, detalhe da cobertura inclinada
Fonte: Krewinkel, 1998

Esta escola faz parte de um projeto que consiste em quarenta escolas planejadas pelo governo da cidade. Ela abrange segundo grau e curso técnico, para cerca de 600 alunos.



Figura 2.12 – Detalhe 1 da serigrafia no vidro
Fonte: Krewinkel, 1998



O que chama a atenção na edificação é o uso de grandes planos de vidro refletivo tanto na fachada como na cobertura (Figura 2.11). A cobertura é de vidro insulado composto de uma placa externa de vidro temperado verde termo-absorvente de 8mm de espessura, uma cavidade de 12mm e uma placa interna de vidro laminado e refletivo de 16mm de espessura com serigrafia (Figuras 2.12 e 2.13), cobrindo 30% da superfície interna. A idéia em utilizar o vidro serigrafado foi do professor Dr. Erich Panzhauser; seu objetivo era obter um certo sombreamento interno para diminuir a carga térmica no interior, principalmente no verão.

Figura 2.13 – Detalhe 2 da serigrafia no vidro
Fonte: Krewinkel, 1998



2.6 Reforma no Museu Britânico

Localizado em Londres, na Inglaterra

Reforma de Foster & Partners, de 2000.

O Museu Britânico necessitou de uma reforma visando a um reaproveitamento e reorganização do espaço. O prédio do Museu é em estilo Neoclássico de Robert Smirke e foi concluído em 1848.

A reforma constituiu-se no planejamento de uma cobertura para o aproveitamento do pátio interno (Figura 2.14 e 2.15); a retirada dos volumes que surgiram no decorrer do tempo, no pátio; e a restauração das fachadas internas. Mas o marco da reforma foi realmente a cobertura, projetada em conjunto com Buro Happold; sua tecnologia inovadora e surpreendente destaca o conjunto e rouba olhares.



Figura 2.14 – Museu sem a cobertura
Fonte: Corato, 2001



Figura 2.15 – Museu com a cobertura
Fonte: Corato, 2001

A cobertura possui um formato quadrado com um círculo no centro (Figuras 2.16 e 2.17), que recorda os primeiros trabalhos de Foster com Buckminster Fuller. O grande segredo foi em projetar uma cobertura arrojada e que transferisse o mínimo de carga possível às estruturas já existentes; ela transmite a sensação que está flutuando sobre as fachadas neoclássicas.

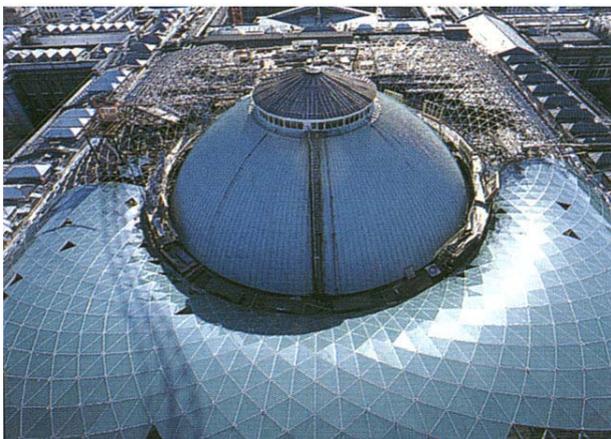


Figura 2.16 – Coberta possui um formato quadrado, com um círculo no centro
Fonte: Corato, 2001



Figura 2.17 – Coberta com um círculo no centro
Fonte: Corato, 2001

A reforma resultou na maior praça coberta de vidro da Europa, com 6000m² de cobertura de vidro, 315 toneladas de aço e 478 toneladas de vidro. Apesar da preocupação com o peso final da estrutura, o vidro foi escolhido para compor a cobertura, em função de maior durabilidade e ter mais ligação com as tradições de uma obra do século XIX.

Cada placa triangular é composta por um vidro termo-absorvente serigrafado, de maneira que não transmitisse a radiação solar em grande intensidade. A ventilação sob a cobertura é natural, por convecção, e o ar quente sai pelas frestas que ficaram entre as fachadas e a estrutura da cobertura.

2.7 Parque Industrial Natura

Localizado em Cajamar, São Paulo

Projeto de Roberto Loeb, de 2001.

O Parque Industrial da Natura deve ser considerado uma revolução na arquitetura brasileira, em termos de edifícios industriais. A arquitetura se libera daquela forma padrão, imposta em projetos industriais que vão transcorrendo no passar dos anos a anos, tipo um bloco fechado, com poucas aberturas, e, quando estas aparecem, se situam a uma determinada altura que não permite a visualização do trabalhador. Essa comunicação entre o meio interno e externo, esse tipo de edificação perdurou por muitos anos, pois tinha como alicerce que se existissem aberturas na altura do observador, poderiam distrair os trabalhadores e, com isso, o rendimento da fábrica cairia.

Roberto criou uma organização espacial e funcional e seus detalhes arquitetônicos humanizaram os espaços; com isso, o projeto rompeu com o caráter duro, introspectivo e unicamente de produção sempre presente nas indústrias.

O uso marcante do vidro acontece até nas circulações, nas passarelas (Figuras 2.18 e 2.19), permitindo sempre um contato visual direto com a paisagem, assim como no edifício da fábrica. Este consiste em três blocos de produção, intercalados com passarelas de estrutura metálica e foi pensado para que futuramente pudesse ser ampliado de acordo com o crescimento da produção.

Foi utilizado o vidro temperado serigrafado de 10mm com faixas brancas horizontais (Figura 2.18), o que possibilitou o aumento da área de sombra sem que a vista fosse prejudicada e conferiu um aspecto muito interessante ao edifício que adquire maior ou menor translucidez, variando de acordo com o ângulo de visão e de incidência de luz.



Figura 2.18 – Passarela com o vidro serigrafado
Fonte: Revista Finestra, 2001



Figura 2.19 – Vista interna da passarela com o vidro serigrafado
Fonte: Revista Finestra, 2001

2.8 Sede dos Laboratórios Pfizer

Localizado em São Paulo

Projeto da Empresa Brasileira de Engenharia e Projetos, de 1999.

A empresa Brasileira de Engenharia e Projetos, ao projetar esta obra, tinha a intenção de atribuir ao edifício um papel inovador, com o uso de elementos metálicos, vidro e formas diferenciadas.

O engenheiro Maurício Margaritelli, da Blindex, especificou sete tipos de vidros, de acordo com os índices de transmissão luminosa, segurança, curvaturas etc. As fachadas têm estruturas e fundações próprias, independentes das do corpo do edifício.

Os volumes curvos (Figura 2.20) localizados nas extremidades da planta em “L”, além de constituírem um importante elemento formal, funcionam como uma barreira acústica, já que a localização se dá em um local de intenso índice de ruídos.

A torre cilíndrica de circulação vertical e que também abriga os banheiros possui estrutura metálica e vedação com vidros curvos metalizados e serigrafados na cor prata (Figura 2.21), permitindo a entrada de luz natural, mas impedindo a visibilidade.

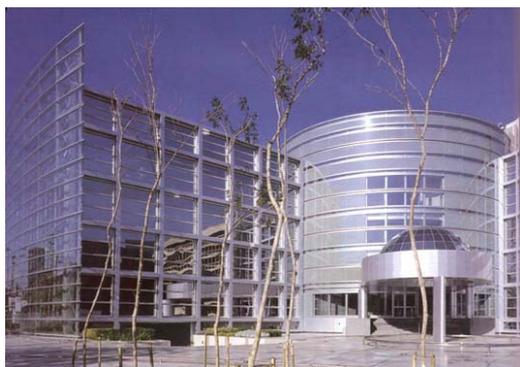


Figura 2.20 – Vista geral da Sede dos Laboratórios Pfizer
Fonte: O vidro plano no Brasil, 2001



Figura 2.21 – Vista dos banheiros revestido em vidro serigrafado
Fonte: O vidro plano no Brasil, 2001

2.9 Ampliação do Rio Preto Shopping Center

Localizado em São José do Rio Preto, em São Paulo

Projeto de Bernardo Figueiredo, 2001.

O grande desafio do arquiteto era criar um novo espaço que se integrasse ao projeto já existente, porém utilizando materiais que transmitissem um visual *high tech*; para isso, ele criou uma cobertura curva de 60 X 12m em vidro (Figura 2.22).

A cidade de São José do Rio Preto apresenta temperaturas em torno de 26°C durante grande parte do ano. Trata-se de uma cidade de clima quente, e a cobertura é a parte da edificação que recebe maior carga térmica e transmite para o ambiente interno. Em virtude disso, Bernardo partiu para a utilização de vidros serigrafados na cobertura, com o objetivo de gerar um certo sombreamento e ao mesmo tempo permitir a entrada de luz para o ambiente interno.

A cobertura curva foi executada com vidros planos laminados refletivos verdes colocados de maneira que formaram seções, que definem a curvatura. Os vidros eram serigrafados com diferentes tipos de retículas, constavam de círculos em tamanhos distintos que geram distintos graus de sombreamento.

Na cúpula, por ser circular, ela recebe em alguns pontos maior quantidade de luz solar, por isso, de acordo com a posição da placa de vidro, era estipulada uma serigrafia diferente. Na parte que recebia menor insolação, parte mais baixa com relação ao piso, foi aplicado o vidro transparente laminado refletivo de alta *performance* na cor verde, com o fator de sombreamento de 25%; na parte intermediária, um pouco mais alta com relação ao piso, foi aplicado o vidro laminado refletivo de alta *performance* com serigrafia de 50% (Figura 2.23); e vidro laminado refletivo de alta performance com serigrafia de 80% (Figura 2.24) no topo da cobertura, área mais exposta ao Sol.



Figura 2.22 – Cobertura curva do Riopreto Shopping
Fonte: Revista Finestra, 2002

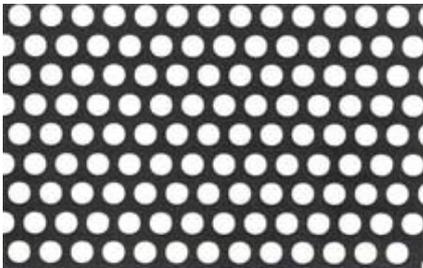


Figura 2.23 – Retícula da serigrafia utilizada na parte intermediária da cúpula
Fonte: Revista Finestra, 2002



Figura 2.24 – Retícula da serigrafia utilizada na parte mais alta da cúpula
Fonte: Revista Finestra, 2002

2.10 Estação da Luz

Localizada em São Paulo, idealizada pelo Barão de Mauá, foi construída entre 1895 e 1901 para substituir a primitiva Estação da Luz de 1867.

A Luz em pouco tempo tornou-se um símbolo e um dos marcos referenciais mais importantes da cidade, era responsável pelo escoamento da produção de café. O projeto era de estilo vitoriano e material importado. Todo o material de construção veio da Grã-Bretanha, por mar: as estruturas de ferro e aço de

Glasgow para a grande nave, pontes e arcos da gare, os tijolos vermelhos, as vidraças, o madeiramento em pinho-de-riga irlandês e até os parafusos.

Em 1946, um incêndio quase destruiu a Estação, o fogo ardeu por mais de sete horas, por isso foi reconstruída com algumas alterações. O complexo arquitetônico de 1901 foi tombado pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Artístico, Arqueológico e Turístico (Condephaat) em 1982.

Em agosto de 2003, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) concluiu a reforma da parte interna da estação. Paredes, estruturas metálicas, incluindo as passarelas, o forro da cobertura e o lanternim (local por onde entra a iluminação natural) em vidro aramado (Figura 2.25) foram minuciosamente reparados durante um ano e meio, por cerca de 200 operários.

Figura 2.25 – Vidro aramado no lanternim da Estação da Luz
Fonte: www.estacoesferroviarias.com.br/l/luz.htm



Foram utilizados 3mil m² de vidro aramado incolor de 6mm, por ser recomendado por norma um vidro de segurança. O vidro aramado foi o que mais se aproximou da realidade anterior, rebuscando a singeleza e refinamento daquela época.

2.11 Reelaboração da Estação do Metrô Sumaré

Localizada em Sumaré, São Paulo

Projeto do artista plástico Alex Flemming.

Alex criou painéis serigrafados (Figura 2.26) para a estação do metrô através da serigrafia artística. O recurso utilizado foi o seguinte: é feita uma primeira impressão numa cor; por cima desta, uma segunda em outra cor e assim por diante.



Figura 2.26 – Painéis serigrafados na Estação Sumaré, em São Paulo
Fonte: Revista Finestra, 2001

Alex tinha como objetivo realizar um projeto diferenciado, utilizando material que ele afirma ser o material do século XXI – o vidro serigrafado, concordando as formas aplicadas em cada módulo, sem repetir as

figuras. A serigrafia artística oferece uma complexidade para a execução; é realizada a partir da sobreposição de várias impressões em uma mesma peça.

2.12 Igreja Notre Dame de Pentecostes

Localizada na França

Projeto de Franck Hammoutene.

A princípio, a idéia do arquiteto era utilizar como material de revestimento a pedra e o vidro na fachada principal; posteriormente, partiu para a utilização única do vidro, devido este permitir a penetração da luz no ambiente interno e o projeto pudesse transmitir uma transparência obtida exclusivamente com o uso do vidro.

No projeto, foram utilizados vidros laminados de 6mm e 10mm de espessura, painéis com dimensões de 3,0X1,5m, intercalados com película de Polivinil Butiral – PVB, de 1,52mm de espessura em suaves tons coloridos. Os vidros utilizados foram: Masterpoint e Diamond Glass, extra branco da Saint-Gobain.

A obra repassa um caráter inovador e pode ser visualizada a 2km de distância. Uma lâmina fina e delgada, marca e destaca o acesso à igreja. As placas que constituem a fachada principal, na verdade representam um grande painel tipo “wafer” de 35m de altura com 19,5m de largura e 80cm de espessura (Figura 2.27). É revestida de vidros translúcidos. A escolha em utilizar esse tipo de vidro é decorrente de sua criação com intenção primordial de não existir a refletância da luz e apenas a penetração da luz difusa, gerando um ambiente interno claro e de permuta de paz. (Figura 2.28).



Figura 2.27 – Vista da Igreja Notre Dame de Pentecostes

Fonte: www.galinsky.com/buildings/notredame, consultado mai/2004.



Figura 2.28 – Vista interna da Igreja Notre Dame de Pentecostes

Fonte: www.galinsky.com/buildings/notredame, consultado mai/2004.

2.13 Parque Espana Residential Building

Localizada na Cidade de México

Projeto de Enrique Norten e Bernardo Gomes Pimenta, 1999.

A edificação consiste em um edifício de seis pavimentos mais o térreo, e garagens no subsolo, situado em frente ao parque na densa Cidade do México; daí, surgiu o nome da edificação.

Neste projeto, o vidro translúcido recebe um papel importante. Além de compor esteticamente a fachada sul (Figura 2.29), é utilizado como proteção solar, constituindo um grande brise, ou uma segunda pele à edificação, pois a fachada da edificação é toda em vidro transparente. A intenção na utilização do vidro translúcido, segundo Enrique e Bernardo, era para atenuar a incidência direta da radiação solar, transmitir a luz natural de forma difusa para os ambientes internos e, ao mesmo tempo, gerar uma certa privacidade, pois, sem a utilização destes painéis de vidro translúcido, os ambientes ficam muito expostos, tanto à radiação como ao público externo.



Figura 2.29 – Vista da fachada sul do Parque Espana Residential Building
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.389

2.14 Kone Building

Localizada na Finlândia

Projeto do Escritório SARC Architects, 2001.

É uma edificação de 18 andares, com fachada toda em vidro laminado e estrutura em aço. A escolha desses materiais foi baseada na durabilidade e para que transmitisse uma arquitetura voltada para um estilo mais clássico.

A fachada sul (Figura 2.30) possui ventilação controlada automaticamente entre as lâminas de vidro laminado, que também possui um reticulado, constituindo um vidro serigrafado, que tem como objetivo controlar o ganho de calor solar.

O reticulado da serigrafia (Figura 2.31) são faixas vazadas verticais em toda a fachada, de largura variada. Ora as faixas semi-transparentes predominam, ora a transparência do vidro é dominante. Esse jogo de transparência e semi-transparência valoriza a obra, transpondo um certo movimento à fachada da edificação, ao mesmo tempo que protege o ambiente interno da radiação solar direta, e pela serigrafia constituir elementos vazados; não barra a visualização entre o meio interno e externo.

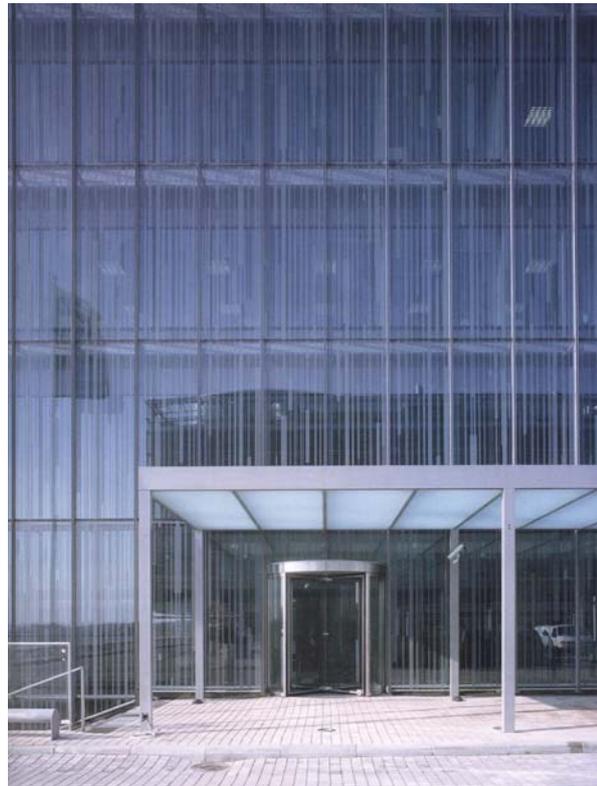


Figura 2.30 – Vista da fachada sul do KONE Building
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.385

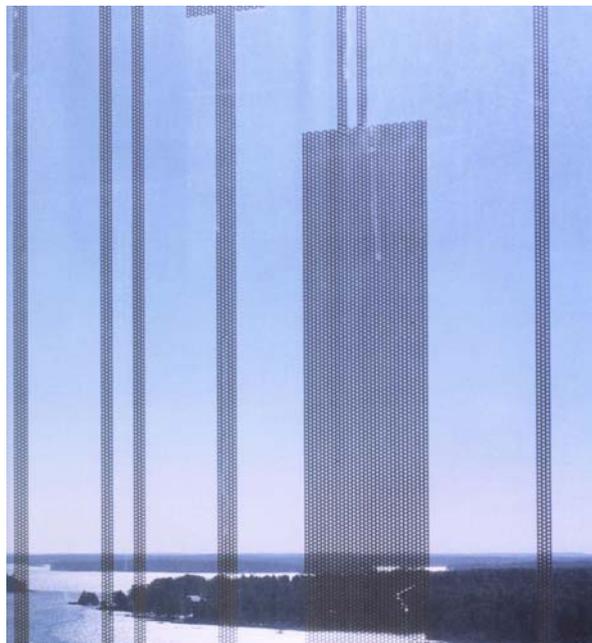


Figura 2.31 – Vista do reticulado da serigrafia no vidro da fachada
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.385

2.15 Housing and Office Block

Localizada em Vienna

Projeto de Delugan Meissl, 2001.

A obra se destaca devido à sua imponência (Figura 2.32) e por estar situada em uma área em que predominam construções históricas, com fachadas do século 19. “Resultando em um contraste entre o velho e o novo”, diz Meissl. Através da Figura 2.33 pode-se visualizar melhor o local com as edificações vizinhas onde está inserido o Housing and Office Block.

A fachada apresenta volumes retangulares, ora horizontais, ora verticais, em vidro laminado serigrafado e transparente, resultando em caixas de vidro trabalhadas pela arte da serigrafia, que transmite um certo movimento através de cheios e vazios, resultante do vidro serigrafado intercalado com vidro laminado transparente, constituindo o peitoril das varandas.



Figura 2.32 – Vista geral do Housing and Office Block

Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.385



Figura 2.33 – Vista das edificações do entorno a partir do Housing and Office Block

Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.385

2.16 Museum Boijmans van Beuningen

Localizada em Rotterdam, Países Baixos

Projeto de Paul Robbrecht & Hilde Daem, 2003.

Paul e Daem usaram e abusaram do vidro translúcido para compor a fachada (Figura 2.34), mais precisamente, do vidro impresso. A intenção era criar algo novo, diferente e irregular e que na verdade

não parecesse com um “museum.” A princípio, o objetivo era de abrir tudo, ter uma fachada mais vazada o possível, que não separasse o meio interno do externo, porém, tratando-se de um “museum”, essa proposta poderia se tornar uma missão complicada, além de desafiante.

O vidro translúcido protege contra a radiação solar direta e na parte interna da fachada tem-se o vidro laminado que é transmissível apenas 1% a 2% do ultravioleta. As aberturas são de dimensões bem generosas (Figura 2.35), seus limites constituem o piso e o teto; por isso, as obras expostas ficam um pouco recuadas das aberturas.



Figura 2.34 – Vista geral do Museum Boijmans van Beuningen
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.400



Figura 2.35 – Vista interna do Museum com suas generosas aberturas em vidro impresso
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.400

2.17 Double House

Localizada em Gits, na Bélgica

Projeto de Wim Cuyvers, 2000.

A Double House localiza-se às margens de uma aldeia, local calmo e com poucas edificações. Possui forma retangular. Wim não fugiu da forma prismática, com 20m de comprimento, por 10m de largura e 6m de altura, as fachadas norte e oeste são constituídas de um pano de vidro translúcido impresso (Figura

2.36). Este pano de vidro resulta verdadeiramente em uma cortina que margeia toda a circulação da casa nos dois pavimentos, o superior e inferior. (Figura 2.37).



Figura 2.36 – Vista das fachadas: leste em madeira com vidro e norte toda em vidro impresso
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.400

Por meio do pano de vidro translúcido é possível iluminar naturalmente todos os ambientes da casa, pois todos os ambientes possuem uma abertura para a circulação fechada em vidro. Quando Wim começou a esboçar o projeto, tinha a intenção de transmitir em sua obra a sensação que não se resumisse a de uma simples habitação, e sim, de um palácio de cristal, todo em vidro. Pretendia alcançar uma percepção de ostentação, mas ao mesmo tempo não queria aflorar a impressão de uma parede de vidro vazia, oca; por isso, acrescentou a madeira para contrastar com a translucidez do vidro e compor as demais fachadas.

O vidro utilizado por Wim aqui no Brasil é conhecido como Boreal. É um vidro que permite uma porcentagem elevada na região do visível, em torno de 70%.



Figura 2.37 – Vista interna da circulação com vidro impresso
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.400



2.18 NMR Laboratório

Localizada em Uithof, Países Baixos

Projeto de Ben van Berkel, 2001.

Na verdade, o Neutron Magnetic Resonance – NMR é um centro de pesquisas, um laboratório que realiza pesquisas com ajuda de altas frequências magnéticas.

Quando foi construído, tinha como objetivo alcançar a meta imposta, que era a necessidade de criar espaços internos amplos e flexíveis, pois teriam que se moldar à necessidade da pesquisa daquela época, porém depois de determinado período, ao acabar aquela determinada pesquisa, o ambiente tinha que se moldar a outras pesquisas. Em virtude disso, foi construída uma estrutura em concreto e vidro serigrafado (Figura 2.38), delimitando a construção que se manifesta em formas curvilíneas; as divisórias internas, todavia, foram planejadas para serem mutáveis.

A serigrafia (Figura 2.39) é constituída por uma retícula formando círculos de tamanhos variados, que proporciona graus de sombreamento e privacidade ao ambiente interno, além de conferir ao laboratório uma imagem atual, capaz de desfazer o aspecto de edificação superada pelo tempo.



Figura 2.38 – Vista geral NMR Laboratório
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.385

Ben van Berkel, ao projetar o laboratório, desejava criar uma edificação contemporânea, atual; por isso, partiu para a utilização do vidro. Ben afirma que o vidro, como material, nunca irá perder o papel exuberante, sofisticado, que atribui a edificação. Ben se preocupou também com o excesso de luminosidade no interior da edificação, pois na sua volumetria não existem elementos de proteção. Em virtude desse fato, especificou o vidro serigrafado.



Figura 2.39 – Vista do vidro serigrafado do NMR
Laboratório
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.385

2.19 Lentos Art Museum

Localizada em Lins, Austria

Projeto de Jurg Weber, 2003.

O cenário não poderia ser mais favorável. Em privilegiada localização, o Museu Lentos (Figura 2.40) margeia o Rio Danúbio, proporcionando um visual arrojado através dos vidros laminados serigrafados, com inscrição do nome do museu “Lentos Kunstmuseum”. Dependendo do clima, ou melhor, da incidência de luz sobre a fachada, é possível deslumbrar um colorido em vários tons de cinza que o nome serigrafado no vidro, “Lentos Kunstmuseum”, transmite.

Com seu volume central elevado, permitindo o livre movimento em sua parte inferior, o museu Lentos reúne elevada tecnologia e grande expressão estética; associa de maneira inovadora o concreto e o vidro.

Sua fachada foi toda revestida em vidro refletivo, associada com uma espécie de segunda pele, também em vidro. Agora, o vidro recebe um toque refinado: o vidro é laminado serigrafado, constituindo uma cortina de vidro afastada da fachada, cerca de 80cm, formando um espaço entre as duas lâminas de vidro para a circulação do ar.

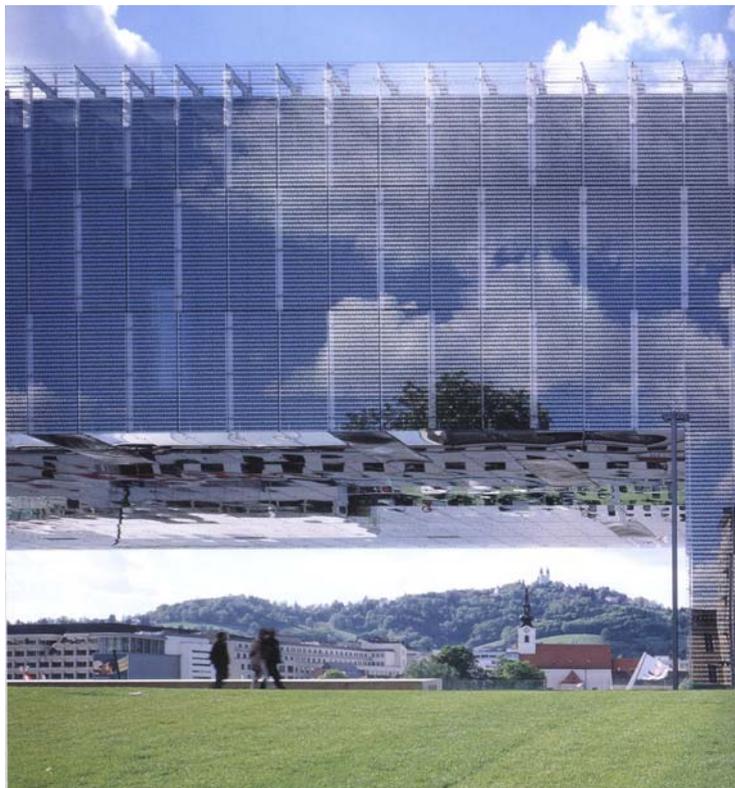


Figura 2.40 – Vista geral do Lentos Art Museum
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.400

2.20 Hotel Habita

Localizada em Polanco, Cidade do México

Projeto de Enrique Norten e Bernardo Gomes Pimenta, 2000.

Uma edificação dos anos 50 recebe nova fachada, ou melhor, uma nova envoltura em vidro translúcido (Figura 2.41), transportando a idéia de uma caixa retangular translúcida. A utilização da pele de vidro circundando toda a fachada antiga, gerando uma nova e requintada fachada, não foi criada apenas com intenção estética, mas também para servir de barreira acústica.

Na verdade, a pele de vidro é constituída de duas camadas de vidro, sendo um vidro transparente (na parte interna) e um outro translúcido (na parte externa). A utilização do vidro translúcido, segundo Enrique, foi para possibilitar privacidade aos ambientes e a do vidro transparente, somente para constituir um vão, entre as duas lâminas, onde se tem a ventilação natural constante. E também possui aberturas estratégicas em tamanhos variados nas lâminas de vidro, com a intenção de renovação do ar e criar um jogo de linhas horizontais para contrapor com o painel translúcido.



Figura 2.41 – Vista geral do Hotel Habita no período do dia e da noite
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.400

2.21 A House of Glass

Localizada em Leerdam, Países Baixos

Projeto de Kruunenberg Van der Erve Architecten, 2001.

Um verdadeiro monumento arquitetônico em vidro, conhecida como “Greenhouse”; muitos arquitetos a comparam a um grande aquário. O vidro é o material principal, predominante e marcante na House of Glass (Figura 2.42). Obra utilizando o vidro de maneira totalmente fora do convencional, atribuindo a este um papel importante na edificação, de limitador entre o meio externo e interno; através do vidro transparente, conseguiu criar uma superfície translúcida, em tons de verdes.

O grande desafio e dificuldade encontrada na realização do projeto foi colar 10.000 folhas de vidro laminado em espessuras variadas e com largura de 15cm, constituindo blocos de vidro, que resultaram na parede em vidro de toda a edificação. Esta obra alterou totalmente a concepção do vidro, antes um material transparente, frágil, delicado, e agora alcançando uma nova postura, transmitindo uma rigidez, similar a um material opaco, porém com todo charme e características de uma superfície translúcida.



Figura 2.42 – Vista geral da House of Glass
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.387

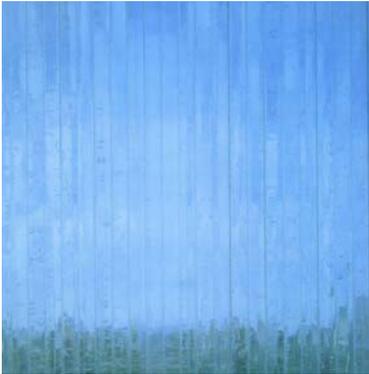


Figura 2.43 – Vista das placas de vidro laminado coladas

Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.387



Figura 2.44 – Translucidez da parede de vidro

Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.387

2.22 Junior High School 500 Pupils at Mériel

Localizada em Mériel, França

Projeto de Bernard Ropa, 1999.

A solução encontrada por Bernard em criar um espaço que não separasse, não desvinculasse da grande floresta que margeia a escola, foi criar serigrafias em formas de vegetação, de árvores nas vidraças da edificação (Figura 2.45).

Além da intenção de trazer o ambiente externo o mais próximo possível do ambiente interno, Bernard partiu para a utilização do vidro serigrafado com a intenção de diminuir a luminosidade interna, reduzindo dessa maneira, o ofuscamento. Através do sombreamento e translucidez gerado pelos desenhos em várias cores no vidro, foi possível criar um ambiente com todas as superfícies em vidro, mas com ausência de grandes contrastes, e com iluminância suficiente para a realização das atividades, com um certo grau de conforto visual para os alunos.

Aplicou-se o vidro serigrafado em alguns panos de vidro da janela, deixando ora o vidro transparente, ora o vidro serigrafado (Figura 2.46), permitindo a visualização do ambiente externo. Foi utilizado esmalte para a serigrafia no vidro em três tons: dois verdes e um marrom.



Figura 2.45 – Vista geral da Junior High School 500 Pupils at Mériel
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.387



Figura 2.46 – Visão do exterior através da sala de aula
Fonte: Revista Architecture and Urbanism, n.387

Diante o levantamento realizado, constata-se que a utilização de vidro translúcido já se encontra bem difundido nos projetos, principalmente na Europa, independente do arquiteto ou do estilo a ser seguido. Apresenta-se em inúmeras maneiras e vários tipos: impresso, serigrafado, etc.

Porém é marcante o uso de vidro translúcido com a intenção primordial em valorizar, enriquecer a estética da edificação, em compor a fachada de maneira diferente, fora do comum, em contrabalançar o transparente e o translúcido na edificação. São poucos os arquitetos que especificam os vidros translúcidos na obra, de maneira, além de estética, funcional, levando em consideração a vantagem em termos de conforto visual e térmico que uma superfície translúcida pode proporcionar.

Percebe-se que cada vez mais se parte para a utilização de materiais novos no mercado, mas espera-se que esse desejo venha acompanhado da preocupação com o conforto ambiental e a eficiência energética, e que essa consciência seja demonstrada nas edificações desse novo século.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

A seguir, serão apresentados os vidros translúcidos e os policarbonatos alveolares analisados nesta pesquisa, assim como todos os procedimentos adotados, as etapas seguidas, os equipamentos utilizados e os ensaios realizados.



3 Materiais e Métodos

A partir da década de 90, os vidros impressos perderam o papel de materiais de “segunda categoria”, ou melhor, de serem utilizados exclusivamente em edificações destinadas a uma população de baixa renda, ou especificados para janelas de banheiros e cozinhas.

Os projetos em que eles estão presentes simbolizam o que há de mais novo, mais moderno em material de revestimento das edificações do século XXI. Na verdade, o vidro impresso, por exemplo, com o passar dos tempos, recebeu outra rotulação, um outro significado: a de um vidro que, com criatividade passa a se tornar um vidro que acompanha a arquitetura contemporânea, que também valoriza e enriquece o projeto, e consegue transmitir um conceito plástico arrojado à edificação.

O vidro translúcido devido à qualidade, à variedade e ao custo baixo estão se tornando uma opção requintada e funcional nos projetos que vêm surgindo na arquitetura contemporânea. Ele possui todo o requinte, a versatilidade e praticidade do vidro e ao mesmo tempo oferece certa privacidade ao ambiente; reduz a transmissão luminosa e diminui o ofuscamento no ambiente interno. Atualmente são inúmeras as opções de vidro translúcido disponível no mercado brasileiro e internacional, com grande variedade de padrões, texturas, espessuras e cores e, dependendo do vidro, ainda se pode criar estampas, rótulos e desenhos padronizados.

Avaliou-se o comportamento térmico e luminoso de vidros translúcidos colocados nas janelas de seis células-teste (denominadas: A, B, C, D, E, F); essas janelas estão voltadas para a orientação norte e oeste. O vidro incolor, plano e liso de 4mm de espessura, foi adotado como referência e permaneceu fixo na célula-teste D. Nas restantes, os materiais foram alternados.

A metodologia adotada baseia-se em dois processos distintos:

- 1) Medições realizadas em células-teste, onde foram obtidos os seguintes dados:
 - temperatura da superfície do vidro interna e externa, por meio dos sensores (termopares) fixados no centro da superfície interna e externa do vidro, com fita de alumínio da 3M;
 - temperatura da parede oposta à abertura: quando está sendo medida a fachada norte, o termopar está locado na parede sul e quando está sendo medida a fachada oeste, o termopar está locado na parede leste;
 - temperatura interna e externa do ar: foi colocado um termopar a 1,10m do piso, localizado no centro da célula-teste, para medir a temperatura interna do ar, e um termômetro na estação meteorológica, para medir a temperatura externa do ar;
 - fator de luz do dia.

Essa série de dados obtidos, para facilitar a compreensão e a visualização, serão apresentados em forma de gráficos no capítulo seguinte.

- 2) Medições espectrofotométricas, onde foram realizadas medições em espectrofotômetro com os mesmos tipos de vidros avaliados nas células-teste e também com policarbonatos alveolares, com o intuito de verificar a porcentagem de radiação na região do ultravioleta, visível e infravermelho, que é transmitida pelo vidro translúcido e policarbonato alveolar.

Ainda foi realizado ensaio laboratorial com auxílio do aparelho Form Talysurf - 120L (rugosímetro) para determinar o índice de irregularidade da superfície do vidro, obtendo o perfil da superfície de cada amostra analisada.

A análise dos resultados é realizada sempre levando em consideração a transmissão energética nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho, e, independente do método de obtenção dos dados, os resultados foram comparados ao vidro comum incolor de 4mm de espessura.

3.1 Vidros Selecionados

Devido à grande gama de vidros translúcidos disponível comercialmente, foi necessário criar uma amostragem para a realização experimental desta pesquisa, para que pudessem ser ensaiados e analisados os mais variados tipos de vidro e, no final do trabalho, conseguir reunir dados que servissem de referência para todos os tipos de vidros translúcidos utilizados na construção civil. Os vidros utilizados na pesquisa foram todos doados pela CEBRACE (Companhia Brasileira de Cristais), a qual fornece as marcas Santa Marina e Blindex.

A seleção dos vidros concentrou-se em materiais que pudessem representar uma determinada série. Foram pesquisados os tipos de vidros translúcidos disponíveis no mercado brasileiro; em seguida, formularam-se séries com os vidros com características semelhantes de espessura, tonalidade, rugosidade e composição; ao todo, resultaram em 10 séries (Tabela 3.1). Um tipo de vidro foi selecionado para representar aquela determinada série, e neste foram realizados os ensaios. O critério decisivo para a escolha do vidro de cada série baseou-se no vidro translúcido de maior uso nas edificações. Os vidros que, independente do objetivo, foram especificados, são os mais utilizados nas edificações brasileiras.

Finalizaram-se 10 amostras de vidro que foram ensaiadas no espectrofotômetro, no Form Talysurf - 120L (rugosímetro) e nas células-teste.



Tabela 3.1 - Organização da amostra dos vidros que foram analisados

Vidros disponíveis no mercado nacional e internacional	Séries de vidros, organizadas em função: espessura; tonalidade e rugosidade	Vidro selecionado de cada série
Aramado	Aramado	Aramado
Canelado	Canelado Glue Strata	Canelado
Mini boreal	Mini boreal spotswood	Mini boreal
Boreal	Boreal Dunas Pontilhado ou Arena Sparkle reed	Boreal
Rideau	Rideau Broodine	Rideau
Spot	Spot	Spot
Teorema	Teorema Silésia	Teorema
Oasis	Oasis	Oasis
Spotlyte	Spotlyte	Spotlyte
Martelado	Martelado Flor Monumental Saninlite	Martelado
Pontilhado ou Arena		
Dunas		
Flor		
Silésia		
Monumental		
Broodine		
Sparkle reed		
Strata		
Saninlite		
spotswood		
Glue		

Os vidros selecionados para a realização da pesquisa foram:

- ✓ vidro aramado;
- ✓ vidro canelado;
- ✓ vidro mini boreal;
- ✓ vidro boreal;
- ✓ vidro rideau;
- ✓ vidro spot;
- ✓ vidro teorema;
- ✓ vidro oásis;
- ✓ vidro spotlyte;
- ✓ vidro martelado.



3.1.1 Vidros Aramado, Canelado, Mini Boreal e Boreal

São todos vidros indicados pelas empresas distribuidoras como vidro adequado, recomendado e empregado na construção civil, apesar de a criatividade de arquitetos e projetistas já os utilizarem também como “linha moveleira” ou “decoração”. São vidros que estão no mercado há mais tempo, comparando aos demais impressos, e possuem essa denominação mesmo em diferentes empresas distribuidoras.

Desses, o vidro Aramado (Figura 3.1) é o único que é classificado como *vidro de segurança aramado* (NB- 226), devido sua tecnologia de fabricação ser diferente dos demais. É considerado um vidro comum e é composto por uma tela metálica no seu interior, com o objetivo de oferecer maior resistência à perfuração, à corrosão e ao fogo; em caso de quebra, os cacos ficam aderidos na tela, diminuindo o risco de ferimentos. Uma outra grande vantagem do vidro aramado é o preço, quando comparado aos outros dois tipos de vidro de segurança (laminado e temperado²⁰). Ele pode constituir um vidro duplo, também conhecido como insulado. A princípio só existia produção no Brasil do vidro aramado translúcido e incolor, mas agora já existe em outras cores (Tabela 3.1); no mercado internacional, há o aramado transparente e com outras tramas na tela de arame. O vidro aramado pode ser aplicado em formas curvas.

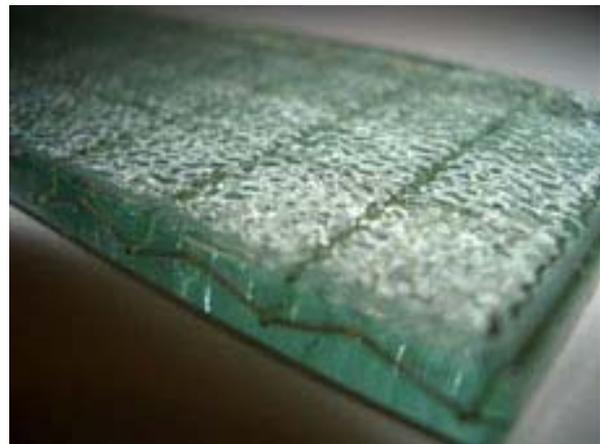


Figura 3.1 – Vidro Aramado

Seu processo de fabricação consiste na inserção de arames de reforço; atualmente incluem malhas de 6mm, redes soldadas de malhas de 12,5mm e redes com malhas hexagonais de 25mm. O rolo de rede é introduzido no vidro quente enquanto ainda está em estado maleável, por meio de um cilindro colocado justamente na frente dos cilindros principais do vidro. A primeira patente foi registrada em 1855, e a Pilkington iniciou a fabricação em bases comerciais em 1898. A necessidade do surgimento de um vidro que transmitisse segurança surgiu com os telhados em grandes dimensões, necessários para as

²⁰ O processo de têmpera, de que resulta o vidro temperado, consiste em um aquecimento da lâmina de vidro a uma temperatura próxima ao seu ponto de amolecimento, seguida de um rápido resfriamento por meio de jatos de ar. Este processo fornece ao vidro resistência maior que um vidro comum, e não modifica as características óticas do material.

estações ferroviárias, edifícios para exposição e feiras da segunda metade do século XIX, criando, assim, algum tipo de vidro de segurança, hoje, o vidro aramado.

É o único que é recomendado como envidraçamento em caixas de escadas. Em aplicações acima do pavimento térreo, que dão para o exterior e que não têm uma proteção adequada, como, por exemplo, o peitoril de uma sacada, só pode ser empregado os vidros aramado e laminado. As características principais dos vidros aramados e dos demais analisados podem ser resumidas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características dos vidros analisados

Vidro	Cor	Espessura (mm)	Dimensões (cm)
Aramado	Incolor	6	220x171
	Cinza	6	220x171
Canelado	Incolor	3/4	220x171
	Cinza	3/4 ²¹	220x170
Miniboreal	Incolor	4	220x170
Boreal	Incolor	4	220x170
Rideau	Incolor	3/4	220x170
Spotlyte	Incolor	7/8	220x170 195X190
Teorema	Incolor	4	220x170
Oasis	Incolor	4	220x170
Martelado	Incolor	3/4	220x170
Spot	Incolor	3/4	220x170

Fonte: CEBRACE, 2004

O vidro Canelado (Figura 3.2) é muito empregado em esquadrias de porta e janela; em termos de espessura, é inferior ao vidro aramado. Pode ser transformado em vidro duplo, vidro laminado, sofrer espelhação e pintura. Suas principais características podem ser resumidas na Tabela 3.2.

O vidro Miniboreal (Figura 3.3), em algumas empresas, apresenta denominações complementares; isso se deve à questão de marketing, como, por exemplo, vidro miniboreal *Listral K*, na CEBRACE.

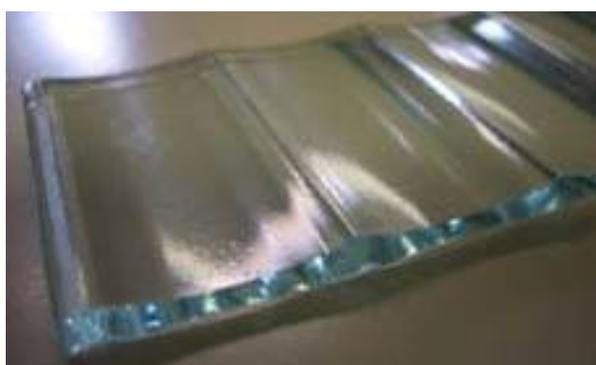


Figura 3.2 – Vidro Canelado

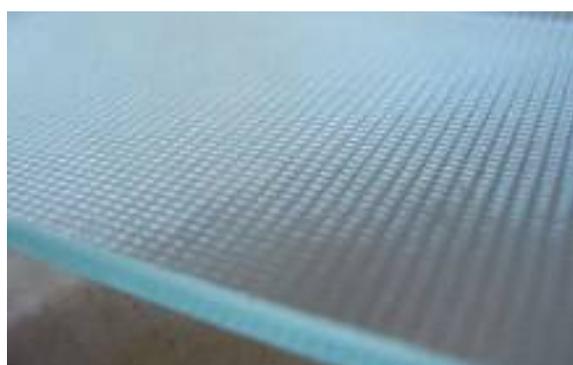
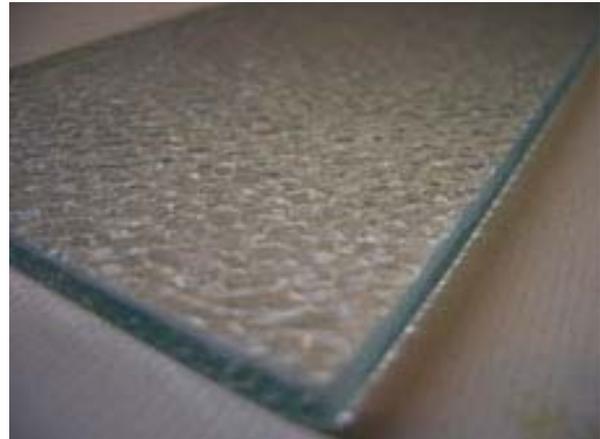


Figura 3.3 – Vidro Miniboreal

²¹ Os catálogos fornecem o valor da espessura do vidro entre barra (/); isso significa que a espessura pode variar entre um valor e outro, devido à superfície irregular. Por exemplo, se a espessura do vidro canelado é de 3/4, a espessura pode variar entre 3 e 4mm (informação fornecida por Kátia Sugimura, consultora técnica da CEBRACE, obtida através de telefone 0800 125 125, em abril de 2005).

O vidro Miniboreal pode sofrer têmpera, tornando-se um vidro temperado, ou melhor, passa a adquirir resistência 5 vezes a mais que um vidro não temperado; espelhação; pintura e serigrafia. Dos quatro vidros citados, é o miniboreal que possui maior leque de aplicações; deixa de ser só um vidro indicado na construção civil e avança no setor da decoração. As principais características podem ser resumidas na Tabela 3.2. Figura 3.4 – Vidro Boreal



O vidro Boreal (Figura 3.4) também é indicado para esquadrias de portas e janelas e, com relação aos anteriores, é o mais utilizado. Ele pode sofrer espelhação e pintura; ser transformado em vidro laminado e ser utilizado em vidro duplo. Suas principais características podem ser resumidas na Tabelas 3.2.

3.1.2 Vidros Rideau, Martelado, Spot, Teorema, Oásis e Spotlyte

Estes outros tipos de vidro já aparecem com maior frequência na decoração e recebem a especificação também de “linha moveleira”. Quanto à estampa, são vidros completamente diferentes.

O vidro Rideau (Figura 3.5), nome em francês, que significa cortina, é indicado para esquadrias de portas e janelas, além também de ser indicado para o mobiliário em geral. Pode sofrer o processo de têmpera, laminação, espelhação e pintura. As principais características são resumidas na Tabela 3.2. O vidro Martelado (Figura 3.6) é o mais antigo dessa classe, muito utilizado na linha moveleira também.

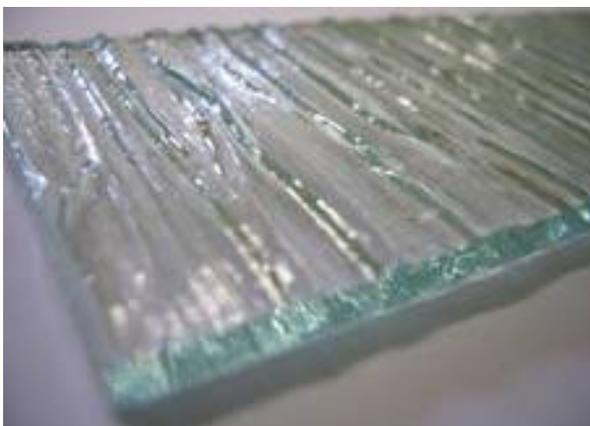


Figura 3.5 – Vidro Rideau



Figura 3.6 – Vidro Martelado



O vidro Spotlyte (Figura 3.7) também possui uma superfície irregular e é muito parecido com o vidro spot; a principal diferença é a espessura. É muito utilizado na “linha decoração”, mas também é indicado para aplicação em portas e janelas. Apresenta poucas cores e dimensões disponíveis no mercado, mas as fábricas já recebem encomendas, se for preciso, em outras cores e dimensões. Foi o vidro com maior espessura utilizado na pesquisa, pois não é fabricado com espessura semelhante aos demais.

O vidro Spotlyte possui um leque de opções e criações; ele pode ser duplo, laminado, temperado, curvo e espelhado. As características principais apresentam-se resumidas na Tabela 3.2.

O vidro Teorema (Figura 3.8) é um produto relativamente novo. É constituído de uma trama irregular e repetitiva na sua superfície; também possui poucas dimensões e cores disponíveis no mercado, mas já se pode operar sob encomenda. Ele também pertence à linha da construção civil, muito utilizado em portas e janelas; pode ser transformado em duplo, laminado, temperado e espelhado.

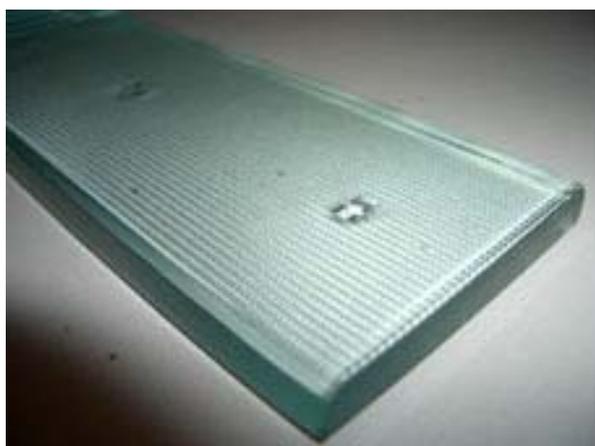


Figura 3.7 – Vidro Spotlyte



Figura 3.8 – Vidro Teorema

O vidro Oásis (Figura 3.9) também é considerado um vidro novo. É mais aplicado na “linha decoração”, porém já aparece na construção civil, fornecendo e sugerindo inéditos fechamentos; atualmente percebe-se seu uso em portas e janelas. Ele possui uma trama que fornece ao vidro espessuras diferentes, além de irregulares.

Quanto ao seu tipo de tratamento ainda é muito limitado; apenas pode ser transformado em laminado, duplo e adquirir pintura, contudo as indústrias vêm trabalhando com a intenção de ampliar essas opções de transformações. Suas principais características podem ser resumidas na Tabela 3.2.

O vidro Spot (Figura 3.10) visualmente é parecido com o vidro Spotlyte. O desenho que apresenta na superfície é semelhante, porém o Spot possui maiores detalhes em sua malha. As reentrâncias que constituem seus desenhos são mais próximas que no vidro Spotlyte, portanto tem maior rugosidade, e sua espessura também é diferente. Sua fabricação é realizada apenas na espessura de 3/4mm, como mostra a Tabela 3.2.

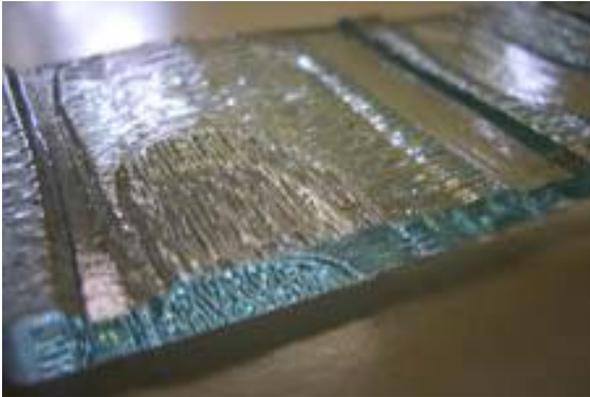


Figura 3.9 – Vidro Oásis

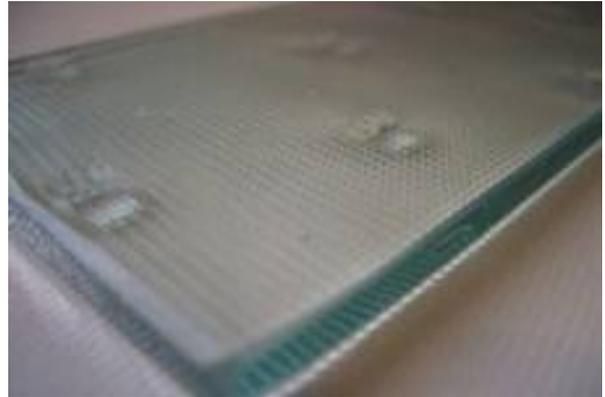


Figura 3.10 – Vidro Spot

3.2 Policarbonatos Seleccionados

O policarbonato alveolar foi selecionado devido à inexistência de dados de transmissão espectral com esse material, porém em 1999 Labaki et al. já iniciaram pesquisas com esse material.

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

O policarbonato analisado é da marca *Lexan Thermoclear*, da empresa americana GE, sendo distribuidora no Brasil a Day Brasil. Os policarbonatos seleccionados foram:

- *Lexan Thermoclear Verde* (espessura de 10mm); (Figura 3.11)
- *Alveolar Solar Ice* (espessura de 6mm), é um policarbonato translúcido; (Figura 3.12)
- *Lexan Thermoclear Azul* (espessura de 4mm); (Figura 3.13)
- *Lexan Thermoclear incolor* (espessura de 4mm); (Figura 3.14)
- *Lexan Thermoclear Fumê Claro ou Bronze* (espessura de 4mm); (Figura 3.15)
- *Lexan Thermoclear Cinza* (espessura de 6mm), é um fumê mais escuro. (Figura 3.16)

Seria mais interessante que as amostras fossem todas da mesma espessura, já que a análise também é comparativa, mas não foi possível, devido existirem somente em espessuras diferentes.



Figura 3.11 – Policarbonato verde



Figura 3.12 – Policarbonato translúcido



Figura 3.13 – Policarbonato azul



Figura 3.14 – Policarbonato incolor



Figura 3.15 – Policarbonato bronze ou fumê claro



Figura 3.16 – Policarbonato cinza ou fumê escuro

3.3 Procedimentos dos Ensaios

3.3.1 Ensaios Espectrofotométricos

As amostras de vidro ensaiadas no espectrofotômetro foram cortadas na forma retangular, com dimensões de 15 X 5cm. Esse tamanho foi definido em função de uma melhor adaptação ao espectrofotômetro e facilitar a mudança de posição da amostra no interior do aparelho. As amostras de policarbonato já foram enviadas cortadas em formato retangular, com dimensões de 14 X 7cm.

Dependendo da posição, as amostras eram fixadas no aparelho com o auxílio de fita adesiva, de maneira cautelosa, para não prejudicar o ensaio, evitando que a amostra ficasse com alguma inclinação em relação à incidência do feixe ou o feixe incidisse sobre a fita.

As amostras, antes de serem ensaiadas, eram previamente limpas com solução de água e álcool e depois secas em pano limpo; era fixada uma etiqueta com um número no canto superior para especificá-las.

O ensaio iniciava-se da seguinte maneira: o espectrofotômetro era ajustado para 100% de transmissão, para efeito de calibração, e era determinada uma linha de base, com o objetivo de excluir das medidas qualquer erro possível proveniente do conjunto do equipamento. Em seguida, o equipamento era aberto para a colocação da amostra e, dependendo da posição da amostra, era necessária ou não a fixação com fita adesiva. Fechava-se o equipamento e iniciava-se a varredura, iniciando em 2000nm e encerrando em 300nm. Na medida em que ocorria essa varredura, eram registrados na tela do aparelho, os valores obtidos em um gráfico, relacionando comprimento de onda (abscissa) com porcentagem de

transmissão (ordenada), e, simultaneamente, era gerada uma tabela de dados. Para a realização dos gráficos a partir desta tabela, utilizou-se o programa computacional ORIGIN 5.0.

Cada amostra de vidro foi ensaiada cinco vezes; diferenciando a posição da amostra com relação à incidência do feixe. O processo era realizado de maneira cautelosa, para não ser necessário o estabelecimento de uma nova linha de base. Nas quatro primeiras medições, a amostra estava em posição vertical (Figura 3.17) com relação ao espectrofotômetro; na quinta medição girava-se 90° (Figura 3.18), com relação ao espectrofotômetro, pois, como o vidro possuía uma superfície irregular, desejava-se constatar se existiam alterações significativas dos valores de transmissão em diferentes posicionamentos. Os ensaios foram realizados com o feixe incidindo na superfície rugosa da amostra, devido ao uso do vidro, a face rugosa é sempre colocada posicionada para o ambiente externo. Cada ensaio durava em torno de 4 a 6 minutos.



Figura 3.17 – Amostra de vidro colocada no espectrofotômetro na posição vertical



Figura 3.18 – Amostra de vidro girada 90°, com relação à posição anterior

Para o ensaio com as amostras de policarbonato, não houve a necessidade de executar várias medições com cada amostra, sendo realizada apenas uma medição, pois a superfície é plana.

Diante dos primeiros resultados das amostras de vidro, como, por exemplo, o vidro canelado, partiu-se posteriormente para a realização de mais ensaios. Foram realizadas 10 novas medições com a mesma amostra e seguindo os mesmos procedimentos, contudo obteve-se o resultado semelhante ao anterior. Na medida em que se aumentava o número de medições, chegava-se a um determinado ponto em que os valores tornavam-se repetitivos. Em virtude disso, estabeleceram-se cinco medições com cada amostra de vidro.



3.3.1.1 Parâmetros de Medição no Ensaio Espectrofotométrico

Os parâmetros adotados para a realização das medições foram subsidiados pelas pesquisas de Caram (1998) e Santos (2002). Foram realizadas pequenas alterações e acréscimos, em virtude de se obter resultados que conviessem ao objetivo da pesquisa.

- ✓ intervalo do espectro: 2000 a 300nm;
- ✓ número de medidas por comprimento de onda: para os vidros foram 5 (10 para o vidro canelado); já para os policarbonatos foi 1;
- ✓ troca do detector: 780nm, passando de infravermelho para visível e ultravioleta;
- ✓ utilização da lâmpada de tungstênio para todo o espectro;
- ✓ número de medidas dentro do espectro: 1701 medidas (de 1 em 1nm);
- ✓ incidência do feixe na superfície rugosa do vidro;
- ✓ amostras ensaiadas a 0° com a normal (feixe perpendicular à amostra).

3.3.2 Ensaio nas Células-teste

Nas células-teste construídas em escala 1:1 (Figura 3.19), só foram ensaiadas as amostras de vidro. As amostras de vidro para as células-teste já foram entregues na dimensão da abertura, com a armação de madeira, que existia nas células-teste (0,86 x 1,06m), constituindo uma área de 0,91m².

O vidro era colocado na armação de madeira, em seguida encaixado na abertura e limpo com solução de água e álcool.



Figura 3.19 – Vista geral das células-teste

Quando uma das aberturas estava sendo avaliada, a outra era vedada por um painel (Figuras 3.20, 3.21 e 3.22), com resistência térmica equivalente à parede de tijolos, estando ambas totalmente seladas para evitar a interferência da ventilação. Para facilitar a troca de vidros e painéis, optou-se por colocar o vidro em uma moldura de madeira sobre batente, com alças e fechos de travamento (Figura 3.23).



Figura 3.20 – Vista geral da célula-teste com o vidro e o painel instalados



Figura 3.21 – Vista externa do painel de vedação



Figura 3.22 – Vista interna do painel de vedação



Figura 3.23 – Moldura em madeira

3.3.2.1 Parâmetros de Medição nas Células-teste

Com o intuito de evitar problemas que pudessem alterar a programação da pesquisa e sanar as dúvidas que poderiam surgir, realizou-se uma medição piloto, que ocorreu no período de 27/04/2005 a 19/05/2005. Foram colocados 5 tipos de vidro (A – oásis, B - canelado, C - teorema, E - rideau, F – spotlyte, constituindo a série A) em cinco células-teste diferentes, e a sexta célula-teste (“D”) ficou com o vidro incolor comum plano de 4mm de espessura, o de referência. Primeiro foram colocados os vidros na abertura voltada para a orientação norte. Transcorridos alguns dias, percebeu-se que os sensores externos tinham se descolado da superfície do vidro, portanto as medições das células-teste em que os sensores descolaram (ou seja, a partir do dia 30/04/05) tiveram que ser eliminadas, restando apenas uma célula-teste, a “B”, correspondente ao vidro canelado, com sensores fixos no vidro por todo o período.

A partir do dia 09/05/2005, fechou-se a abertura na fachada norte com o painel e os vidros foram colocados na fachada oeste, permanecendo até o dia 19/05/2005. Nessa fachada não ocorreu nenhum problema. Foi interessante e importante a realização de uma medição piloto, pois através dela conseguiu-se resolver o problema de aderência dos sensores na superfície externa do vidro. Para as medições seguintes, fixou-se o sensor na superfície externa do vidro com cola quente e fita de alumínio da 3M. E também modificaram-se as posições de dois sensores nas células-teste. O sensor locado na superfície interna da parede em que constava a abertura foi colocado na superfície interna da parede oposta à que



estava sendo avaliada; e o sensor localizado na superfície externa da parede em que constava a abertura foi colocado no interior do globo suspenso no centro da célula-teste, para obter a temperatura radiante.

As medições aconteceram em duas realidades distintas de temperatura e nível de iluminância. Foram realizadas medições nos meses de agosto e setembro de 2005, constituindo as medições de inverno e dos meses de março a maio de 2006, as medições de outono.

Foram colocados cinco sensores (termopares), em cada célula-teste, distribuídos da seguinte forma:

- ✓ 1 termopar no centro da célula-teste, a uma altura de aproximadamente 1m do piso (Figura 3.24);
- ✓ 1 termopar na superfície interna do vidro (localizado no centro do vidro) (Figura 3.25);
- ✓ 1 termopar na superfície externa do vidro (localizado no centro do vidro) (Figura 3.26);
- ✓ 1 termopar na superfície interna da parede oposta à que está sendo avaliada (Figura 3.27);
- ✓ 1 termopar no interior do globo, a uma altura de aproximadamente 1m do piso (Figura 3.24).

Dessa maneira, têm-se dados de temperaturas superficiais da parede e do vidro, bem como a temperatura de bulbo seco e valores para calcular a temperatura radiante do ambiente.

Os registros foram realizados pela estação meteorológica (Figura 3.28) a cada 30 segundos, com totalizações a cada 10 minutos, resultando, dessa maneira, em seis valores diferentes a cada hora para cada variável.



Figura 3.24 – Termômetro de globo e termopar

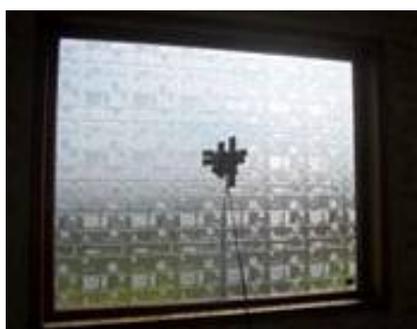


Figura 3.25 – Termopar fixado na parte interna do vidro

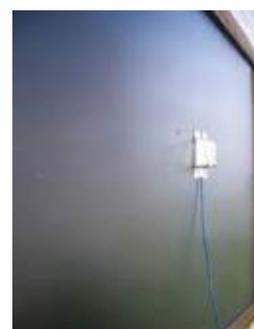


Figura 3.26 – Termopar fixado na superfície externa do vidro



Figura 3.27 – Termopar fixado na superfície interna da parede leste

No terreno onde estão localizadas as células-teste, há uma estação meteorológica (Figura 3.28), para coleta de dados. Esta estação é da marca Campbell Scientific e é composta por:



Figura 3.28 – Estação meteorológica

- ✓ 1 sensor de temperatura (-34 a 50°C) e umidade relativa do ar (0 a 90%);
- ✓ piranômetro LI200x (400 a 700 nm), para radiação solar (Figura 3.29);
- ✓ conjunto 03001 (wind sentry) com anemômetro (velocidade de 0 a 60m/s) e sensor de direção do vento, para velocidade e direção dos ventos (Figura 3.30);
- ✓ TB4 - L pluviômetro (rain gage), para pluviosidade, o qual não está montado no tripé (possui um apoio próprio) (Figura 3.31);



Figura 3.29 - Piranômetro



Figura 3.30 – Sensor direção e velocidade do vento



Figura 3.31 - Pluviômetro com apoio próprio, situado ao lado da estação

- ✓ 1 bateria recarregável de 12 V (PS12 LA) – reguladores de voltagem, filtros e proteção contra queda de raios;
- ✓ 1 abrigo meteorológico para sensor de temperatura e umidade relativa do ar, não aspirado, RMYoung (Figura 3.32);
- ✓ 1 “Data Logger CR 10x Measurement and control system” (com bateria, cabo conector, módulo de memória e teclado);
- ✓ 1 painel solar para suprimento de energia da bateria do data-logger CR10x (Figura 3.33).



Figura 3.32 – Abrigo com sensor de temperatura e umidade do ar



Figura 3.33 – Painel solar

O sistema de aquisição de dados referentes ao desempenho térmico das células-teste é composto de duas unidades básicas: um datalogger CR10x e um multiplexador AM416, com 32 canais de aquisição de dados, que fazem a coleta automática e o armazenamento dos dados registrados pelo sistema de aquisição, que coleta os dados de temperatura no interior das células-teste.

As medições de temperaturas internas foram feitas com termopares (baseia-se no efeito termoelétrico). Tais termopares são do tipo T (cobre - constantan), 24 awg, ANSI (padrão americano), e estavam conectados ao multiplexador AM 416 (multiplexador é um aparelho que tem diversas entradas e uma saída, e efetua um roteamento dos dados de saída conforme a configuração do intervalo de aquisição de dados).

A estação monitora os seguintes elementos atmosféricos externos:

- temperatura do ar;
- umidade do ar;
- direção dos ventos predominantes;
- velocidade do vento;
- radiação solar incidente;
- índice pluviométrico.

Os dados coletados ficavam armazenados na estação, depois eram descarregados por meio de um módulo de armazenamento para, posteriormente, serem transferidos ao microcomputador, via software de programação PC208 W (programa específico da Campbell Scientific Inc.) e interface de comunicação SC32A.

3.3.2.2 Características das Células-teste

- Dimensões externas: 2,20m x 2,70m e internas 2,00 x 2,50m, área interna de 5m² (Figura 3.34); pé direito de 2,40m (Figura 3.35).
- Cobertura de uma água em telha fibrovegetal (Figura 3.36), pintada externamente de branco, acrescida, próximo ao caibramento de sustentação, de uma barreira radiante (um filme de alumínio polido, isolante térmico, popularmente conhecido como “foil”), buscando reduzir a influência da superfície mais exposta à radiação solar nos resultados das medições.
- Paredes em alvenaria de tijolo maciço de barro cozido (1/2 tijolo com 10cm de espessura) pintadas de branco interna e externamente.
- Orientadas com as fachadas de 2,70m ao norte e ao sul e as de 2,20m ao leste e ao oeste (Figuras 3.37, 3.38, 3.39 e 3.40).
- Aberturas para a análise na face norte e oeste (Figuras 3.37 e 3.40), com dimensões 1,00 x 1,20m e área útil em vidro de 0,86 x 1,06m, constituindo uma área em vidro de 0,91m² e peitoril de 1,10m.
- Laje pré-moldada (cerâmica e concreto) pintada de branco com ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro (Figura 3.37 e 3.38) nas fachadas norte e sul.
- Distanciadas de maneira que não haja sombreamento das paredes ou sombra de vento, a fim de garantir as mesmas condições de implantação para todas (Figuras 3.41 e 3.42).

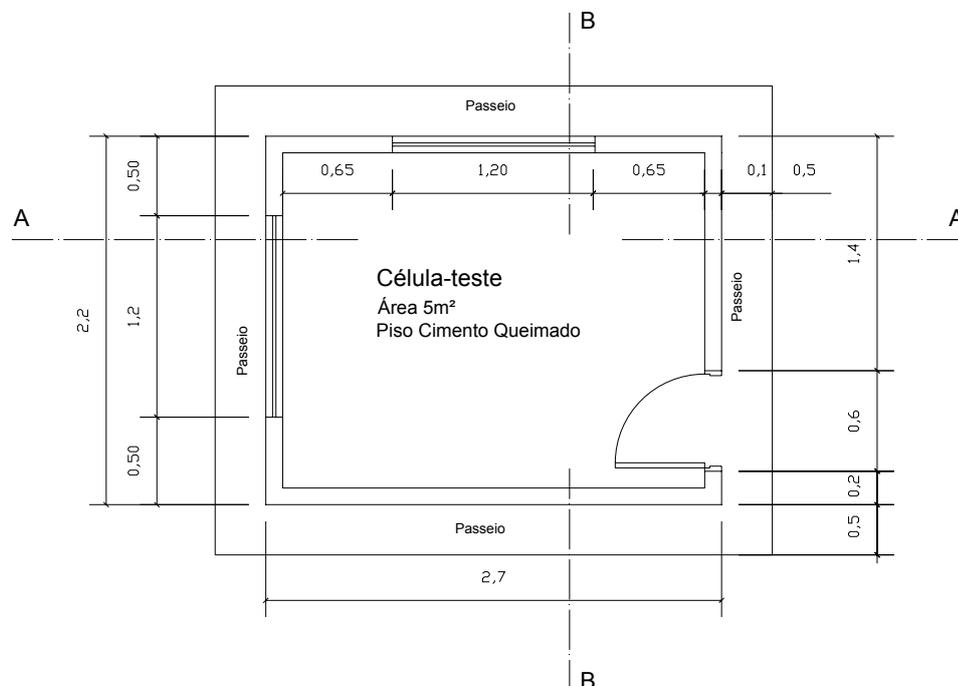


Figura 3.34 – Planta baixa da célula-teste

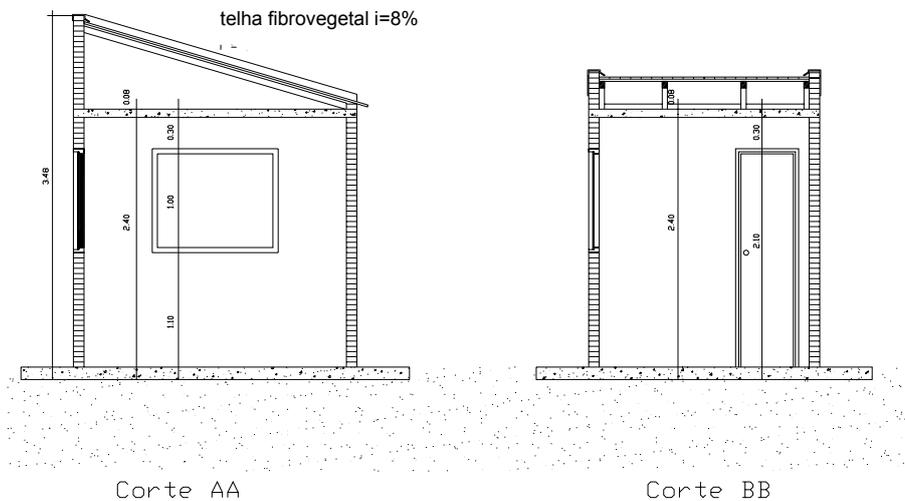


Figura 3.35 - Cortes das células-teste
Fonte: Castro, 2005

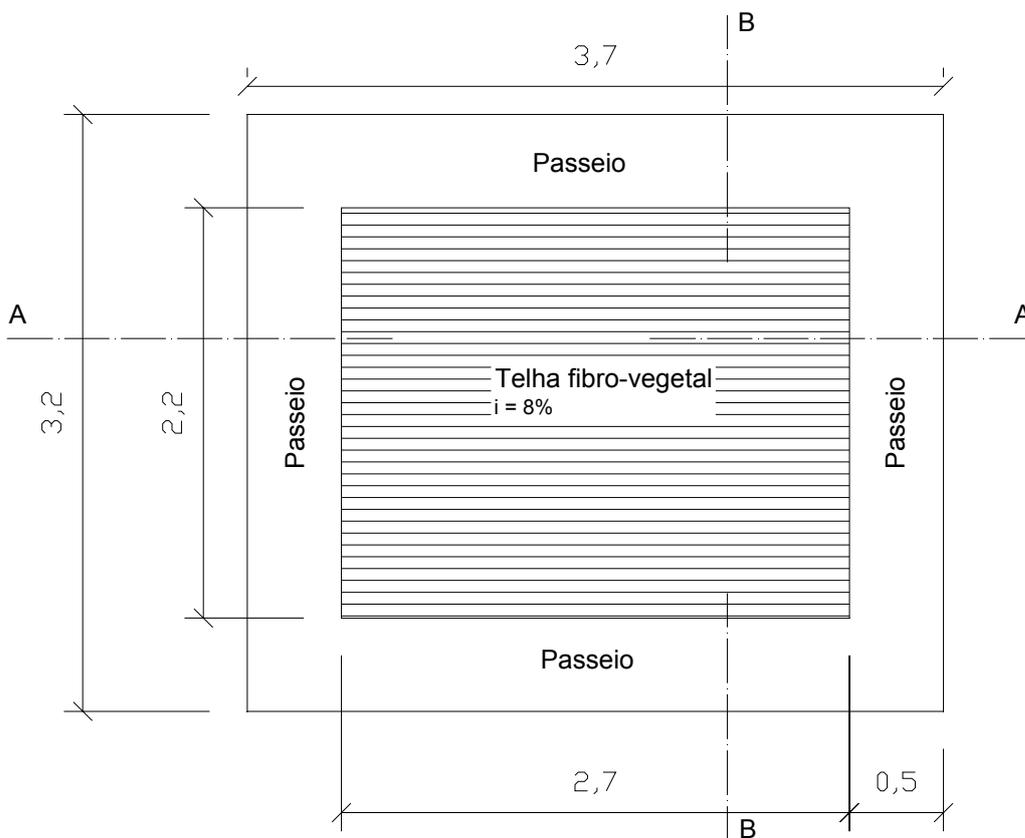


Figura 3.36 – Planta de cobertura da célula-teste



Figura 3.37 – Vista da fachada norte



Figura 3.38 – Vista da fachada sul



Figura 3.39 – Vista da fachada leste



Figura 3.40 – Vista da fachada oeste



Figura 3.41 – Vista das células-teste em construção
Fonte: Castro, 2005



Figura 3.42 – Vista das células-teste prontas com vidros instalados

3.3.2.3 Avaliação Térmica

A avaliação térmica nas células-teste foi realizada com medições no ambiente interno e externo, em intervalos pré-estabelecidos, das seguintes variáveis:

- temperatura e umidade do ar;
- temperaturas superficiais dos vidros e da parede;



- velocidade do ar.

Para cada tipo de vidro, as medições foram realizadas por um período contínuo de uma semana. As medições ocorreram em duas épocas diferentes do ano, inverno e outono. As medições relativas ao inverno aconteceram nos meses de agosto e setembro de 2005 e as de outono, nos meses de março a maio de 2006.

De acordo com Chvatal (1998), apesar de existirem quatro estações do ano, percebem-se distinções significativas apenas no verão e inverno, resultando em apenas duas estações. O período de verão começa em novembro e estende-se até março e o período de inverno, mais curto, compreende os meses 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. O mês mais quente do ano é fevereiro, com maior média das máximas (29,9°C). E o mês mais frio, junho, com menor média das mínimas, (12,2°C), sendo que julho apresenta um valor muito próximo (12,3°C).

A umidade relativa média do ar é de 77% nos meses de outubro a março, e de 65% de abril a setembro.

Apesar de dispor desses dados gerais para a cidade de Campinas, durante as medições o microclima local foi constantemente avaliado através do monitoramento das mesmas variáveis climáticas. E também foram considerados os dados relativos ao clima fornecidos pelo Centro de Pesquisa e Agricultura (CEPAGRI). Observam-se, no período em que foram realizadas as medições referentes ao inverno, valores de temperatura média do ar em torno de 21°C no inverno e 24°C no outono.

Segundo CEPAGRI (2007), a estação do inverno da cidade de Campinas possui temperaturas amenas, com média das máximas em torno de 25°C e das mínimas de 12°C. O inverno em Campinas é caracterizado por ondas de frio, que persistem por 3 a 4 dias, intercaladas por períodos de temperaturas mais elevadas. A umidade do ar diminui, apresenta-se com valores em torno de 35%; as chuvas também ficam escassas, a média é de 40mm/mês em 4 a 5 dias. O céu é classificado como céu claro a ligeiramente encoberto, na maior parte dos dias. No outono, as temperaturas ficam em torno de 2 a 3°C abaixo das temperaturas de verão; aumentam as horas de céu claro e diminuem as chuvas e a umidade do ar.

3.3.2.4 Avaliação do Nível de Iluminância

As medições do nível de iluminância ocorreram em função das condições de exposição da aparência da abóbada celeste, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz, resultando dessa maneira em céu claro e encoberto. (SARDEIRO, 2002).

Quanto aos horários de medições, NBR 15.215-4 (Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de Medição), recomenda que seja realizada em diferentes horas do dia, a cada 2 horas, e também para diferentes épocas do ano, solstício



de verão e inverno, mas a necessidade dessa série de medições seguindo esses critérios ocorre quando o objetivo da pesquisa é caracterizar o uso do ambiente.

Em virtude do objetivo da pesquisa, que é avaliar o valor de iluminância no interior de ambientes fechados com vidros translúcidos, e não avaliar a qualidade da iluminação nesses ambientes, não houve a necessidade de cinco horários distintos; por isso, estipulou-se uma medição por dia.

As medições aconteceram no interior e exterior das células-teste, às 15 horas, quando estava sendo avaliada a fachada oeste. Todas as medições foram realizadas com céu claro (Figura 3.43), com luxímetro marca Minolta, modelo T10. (Figura 3.44)



Figura 3.43 - Céu claro, durante as medições



Figura 3.44 – Luxímetro marca Minolta, modelo T10

No centro de cada célula-teste ocorreu uma medição da iluminância a 75cm de altura do piso. A altura adotada é devido o interesse ser o valor da iluminância na superfície de trabalho. Simultaneamente, ocorreu também uma medição da iluminância externa.

Por meio dos valores obtidos de iluminância interna e externa, foi possível calcular o Fator de Luz do Dia - FLD, que é a razão entre a iluminância interior e a iluminância simultaneamente disponível no exterior, e é expresso em porcentagem.

3.3.3 Ensaio do Perfil da Superfície do Vidro

O ensaio de medição do perfil nas superfícies rugosas das amostras de vidro translúcidos tinha como objetivo determinar um coeficiente de rugosidade para cada amostra de vidro ou criar um perfil de cada superfície, para que, assim, se pudesse comparar e avaliar as superfícies rugosas dos vidros translúcidos.



Para as medições da rugosidade da superfície dos vidros translúcidos foi utilizado o aparelho Form Talysurf - 120L (Figura 3.45), da marca Taylor-Hobson, do laboratório de Engenharia de Precisão do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo.

As amostras foram cortadas em formato retangular na dimensão de 15 X 5cm (Figura 3.46), em seguida, limpas com solução de água e álcool e enxutas em pano limpo.



Figura 3.45 - Form Talysurf - 120L

Figura 3.46 - Amostras dos vidros translúcidos analisados



O ensaio iniciava-se com a calibração do aparelho em função da ponta do estileto (Figura 3.47). A ponta do estileto varia de acordo com a superfície a ser analisada.

A ponta do estileto contém uma pedra que faz a leitura na superfície rugosa; esta pedra varia de acordo com a superfície rugosa a ser analisada; pode ser de diamante, safira, etc. Nesta pesquisa, foi utilizada a pedra safira, recomendada para superfície com irregularidades significantes.



Figura 3.47 - Calibração da ponta do estileto

Depois da calibração do aparelho, era colocada uma amostra de vidro, posicionada com a superfície rugosa voltada para cima (Figura 3.48). Através de um “JoysStik” manual na mesa de trabalho (Figura 3.49) era abaixado o estileto (Figura 3.50), até encostar na superfície de vidro. Determinava-se o comprimento da leitura, que varia de 0 a 120mm (nesta pesquisa foi utilizado 50mm), e o estileto realizava uma trajetória em linha reta, seguindo o perfil da superfície; simultaneamente era confeccionada uma tabela com duas colunas na tela do monitor do computador (Figura 3.51). Nas colunas constavam: o comprimento da leitura do perfil realizado, em milímetros; e o *Profile Rugose Total* - PRT, que é a distância entre o maior e o menor ponto encontrado na superfície de vidro analisada.



Figura 3.48 - Posição da amostra de vidro no aparelho



Figura 3.49 - JoyStik manual da mesa de trabalho



Figura 3.50 - Estileto com a ponta de safira



Figura 3.51 – Computador acoplado ao rugosímetro

3.3.3.1 Parâmetros de Medição

Os parâmetros adotados para a realização das medições do perfil das amostras de vidro foram sugeridos pelo professor e pesquisador Jaime Duduch, levando em consideração o objetivo da pesquisa.

- ✓ intervalo da amostra medida: 50mm;
- ✓ número de medidas por amostra: 1 medida;
- ✓ utilização da pedra de Safira em todo o percurso medido;
- ✓ o estileto percorria a superfície rugosa da amostra;
- ✓ as amostras são ensaiadas com o estileto formando um ângulo de 0° com a normal;
- ✓ número de medidas dentro do percurso de 50mm: 4000 medidas.

3.4 Análise Espectrofotométrica

Em virtude do objetivo da pesquisa, a análise espectrofotométrica é a mais indicada para alcançar o resultado esperado. De acordo com a ASTM (1993), o espectrofotômetro é o equipamento ideal para fornecer os dados de porcentagem de transmissão para as regiões de ultravioleta, visível e infravermelho próximo. Por meio dele, é possível realizar uma varredura no espectro apenas na região de interesse. Em



dez anos, a tecnologia dos espectrofotômetros avançou muito; hoje os espectrofotômetros são informatizados, facilitando o manuseio e o fornecimento de resultados.

As medidas de transmissão de radiação pelos vidros selecionados foram efetuadas por meio do espectrofotômetro modelo *CARY 5G*, marca *Varian* (Figura 3.52), disponível no Instituto de Química da USP, Campus de São Carlos, em São Paulo. O equipamento registra automaticamente a porcentagem de energia transmitida pela amostra que é obtida pela relação entre a intensidade de luz que passou pela amostra (I_a) e a intensidade de luz no feixe de referência (I_o).



Figura 3.52 – Espectrofotômetro *CARY 5G* utilizado na pesquisa

$$T (\%) = I_a / I_o \cdot 100$$

3.4.1 O Aparelho - Espectrofotômetro

O espectrofotômetro fornece dados de absorção, reflexão e transmissão. Nesta pesquisa, em virtude do objetivo, será trabalhado apenas com o modo transmissão. E permite varrer o espectro no intervalo de 185 a 3200nm. Nesta pesquisa, o intervalo do espectro medido foi de 300 a 2000nm.

O espectrofotômetro consiste de uma fonte de luz, que é uma lâmpada de tungstênio para as medições de 2000nm a 340nm e uma de deutério para medições de 340nm a 0nm, cujo feixe se propaga por sucessivas reflexões em um banco ótico, sendo dispersada por uma rede de difração, de onde o comprimento de onda desejado é selecionado e posteriormente dividido em dois feixes. Um feixe serve de referência e o outro é para análise da amostra. A intensidade do feixe de referência é comparada à intensidade do feixe da amostra através do detector, e essa relação é fornecida em porcentagem.

A mudança do detector foi em 780nm, passando de infra-vermelho próximo para visível e ultravioleta. As medidas de transmissão foram registradas a cada 1nm, totalizando 1701 medidas e o erro do equipamento para o modo de transmissão é de 0,03%. O feixe incidia na superfície rugosa do vidro, de maneira perpendicular, formando um ângulo de 0° com a normal, devido ao uso dos vidros translúcidos acontecerem nas edificações, com a superfície rugosa voltada para o exterior. Com relação aos policarbonatos, por não terem superfície rugosa ou face com tratamentos especiais, a amostra era locada devidamente no compartimento e iniciavam-se as medições, independente das superfícies.

Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos. Através destes, pode-se visualizar a transmissão energética, em porcentagem, em função do comprimento de onda, em nanômetros.

3.5 Tratamento e Análise dos Resultados

Os resultados foram obtidos por meio de dois processos, laboratório e células-teste:

- Laboratório – no espectrofotômetro foram ensaiadas 10 amostras de vidros translúcidos e 06 amostras de policarbonato alveolar, no intervalo do espectro de 300 a 2000nm. O intervalo foi dividido na região do ultravioleta (300 a 380nm), região do visível (380 a 780nm) e região do infravermelho (780 a 2000nm).

Com os dados obtidos via espectrofotômetro dos vidros translúcidos, foi possível criar curvas, e a partir destes, a integração das áreas correspondentes a cada região do espectro (ultravioleta, visível e infravermelho). Também a integração da área total das curvas. Dessa maneira, pôde-se comparar a transmissão em intervalos característicos dos vidros translúcidos e também compará-los com a transmissão do vidro transparente, incolor de 4mm de espessura, que foi utilizado como referência nesta pesquisa.

Na tabela são apresentados os valores de transmissão relativos a cada região do espectro analisada, relacionando a radiação incidente com a radiação que atravessa a amostra em cada região: ultravioleta, visível e infravermelho, como mostra o exemplo esquematizado na Figura 3.53.

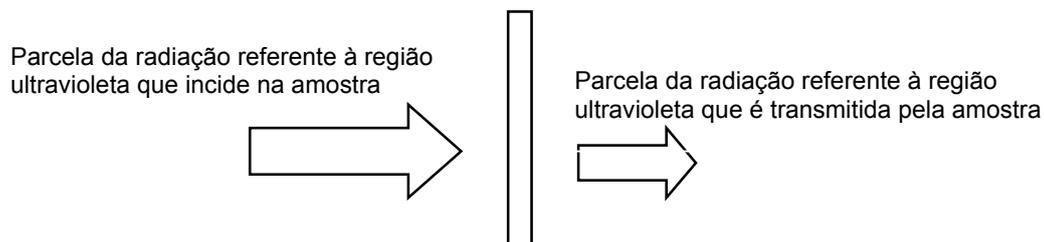


Figura 3.53 – Esquema do tratamento dos dados em cada intervalo característico, exemplo na região do ultravioleta

Ainda na parte experimental em laboratório, foram realizadas medições das irregularidades das superfícies dos vidros translúcidos através do rugosímetro, para analisar a influência da rugosidade na transmissão da radiação. Por meio desse ensaio, obteve-se o *Profile Rugose Total* (PRT) de cada amostra de vidro, facilitando e enriquecendo a comparação entre a transmissão da radiação dos vidros translúcidos.

Os resultados obtidos neste processo serão apresentados em forma de gráficos e tabelas no próximo capítulo.

- Células-teste – instalaram-se nas células-teste, nas fachadas norte e oeste, os 10 tipos de vidros ensaiados em laboratório e foram realizadas medições de temperatura do ar; da temperatura da parede oposta à abertura; e das temperaturas das superfícies dos vidros, no período de 1 semana. A



partir desses dados, pôde-se comparar a temperatura interna do ar de ambientes fechados com vidros translúcidos e com vidro transparente, e também a temperatura superficial do vidro translúcido e transparente.

Foram realizadas medições *in loco* do nível de iluminância de ambientes fechados com vidros translúcidos. Com esses valores, pôde-se comparar o nível de iluminância de ambientes fechados com diversos tipos de vidros translúcidos e, posteriormente, comparar com os valores obtidos em ambientes fechados com vidro transparente (vidro referência).

Os resultados serão apresentados no capítulo 4 em forma de gráficos e tabelas.

Capítulo 4

Resultados e Análise

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos na pesquisa e a discussão.



4 Resultados

A forma de análise dos resultados foi realizada a partir dos métodos de obtenção destes:

- espectrofotômetro, representados pelos vidros impressos e policarbonato alveolar;
- células-teste, representados apenas pelos vidros impressos; pretendia-se também trabalhar com os policarbonatos e com os vidros serigrafados, mas não foi possível.

Os resultados estão apresentados em forma de gráficos, para facilitar a compreensão e a visualização. No final do capítulo, é realizada uma análise geral com os resultados obtidos nos dois itens apresentados. Os resultados à medida que são apresentados em forma de gráficos já são discutidos.

4.1 Espectrofotômetro

Foram ensaiados dez tipos diferentes de vidros impressos, todos com espessura similar, com exceção dos vidros Spotlyte e o Aramado, que existem apenas com espessura mínima de $7/8^{22}$ mm e 6mm, respectivamente, os demais foram de 4mm e 3/4mm. Quanto à tonalidade, todos foram incolores e de mesma composição (no vidro aramado é acrescentada à tela metálica), seguindo todo um procedimento de escolha para constituir a amostra, relatada no capítulo 3.

O espectro analisado foi de 300 a 2000nm. Dentro desse intervalo, foi realizada outra divisão, gerando, assim, outros intervalos, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380nm), visível (380 a 780nm) e infravermelho (780 a 1500nm). A partir dos dados obtidos via espectrofotômetro, criaram-se os gráficos com as curvas de transmissão e a integração das áreas correspondentes a cada região do espectro analisada e também a integração da área total das curvas obtidas.

Além dos gráficos, foi elaborada uma tabela (Tabela 4.3), que ilustra a transmissão relativa ao intervalo característico de cada amostra. Os valores apresentados são resultado da radiação incidente em cada amostra e a parcela que atravessa a amostra, considerando cada intervalo (ultravioleta, visível e infravermelho). A Tabela 4.3 também consta de uma coluna referente à transmissão total da amostra; essa coluna expõe a radiação que chega entre 300 a 2000nm e o que é transmitido pela amostra.

A partir da Figura 4.21, são apresentados os resultados referentes ao Policarbonato Alveolar, da marca *Lexan Thermoclear*, com denominações: *Lexan Thermoclear Verde* (espessura de 10mm); *Alveolar Solar Ice* (espessura de 6mm), é um policarbonato translúcido; *Lexan Thermoclear Azul* (espessura de 4mm); *Lexan Thermoclear incolor* (espessura de 4mm); *Lexan Thermoclear Fumê Claro ou Bronze* (espessura de 4mm); *Lexan Thermoclear Cinza* (espessura 6mm), é um fumê mais escuro.

²² Os catálogos fornecem o valor da espessura do vidro entre barra (/); isso significa que a espessura pode variar entre um valor e outro, devido à superfície irregular. Por exemplo, a espessura do vidro Spotlyte é 7/8, a espessura pode variar entre 7 e 8mm (informação fornecida por Kátia Sugimura, consultora técnica da CEBRACE, obtida através de telefone 0800 125 125).

4.1.1 Vidros Impressos

Alguns resultados dos vidros impressos foram inesperados, pode-se dizer até surpreendentes. Ainda não haviam sido realizados ensaios com esse tipo de material. São dados inéditos e a autora não esperava valores tão baixos de transmissão em todo o espectro estudado.

A princípio, esperava-se que a transmissão espectral apresentasse um comportamento similar à de um vidro simples, plano comum e incolor, devido o vidro impresso ser também um vidro simples, comum, incolor, sem tratamentos especiais e tecnologia semelhante, apenas com a diferença de possuir uma superfície irregular.

No decorrer dos ensaios, percebeu-se que poderia haver alguma diferença nas curvas de transmissão espectral entre os vidros impressos e o vidro comum, devido os vidros impressos possuírem uma superfície irregular, exigindo, assim, até mesmo uma nova metodologia para os ensaios. Em virtude desse fato, foram realizadas várias medições para uma mesma amostra, mas não se esperava que a superfície irregular atenuasse tanto a porcentagem de transmissão no comprimento de onda relativo ao ultravioleta, visível e infravermelho. Nessa situação, estão os vidros Miniboreal (Figura 4.1), Canelado (Figura 4.2) e Aramado (Figura 4.3), principalmente.

A transmissão da radiação em todo espectro estudado nos vidros translúcidos é inferior à transmissão nos vidros planos incolores de mesma espessura, 4mm. A maior porcentagem de transmissão ocorre em torno de 500nm, que corresponde à região do visível.

No início dos ensaios, apareciam cinco curvas de transmissão espectral diferentes para cada amostra de vidro. Isso ocorreu em função de se tratar de um vidro com superfície irregular. De acordo com a metodologia adotada, a incidência do feixe de luz do espectrofotômetro na superfície do vidro foi modificada de posição cinco vezes, resultando, em cinco curvas diferentes.

Esse procedimento foi adotado para constatar se aconteciam alterações significativas com relação à transmissão da radiação na região do ultravioleta, visível e infravermelho, quando a radiação incide em superfícies irregulares diferentes. Posteriormente, foi realizada uma média entre as cinco curvas para representar a curva de transmissão de cada vidro, que pode ser visualizada por meio das Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12.



Vidro Miniboreal

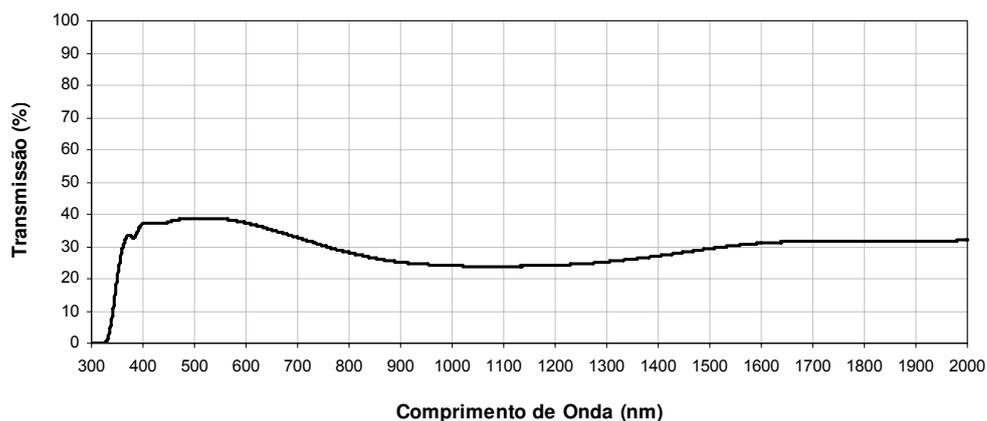
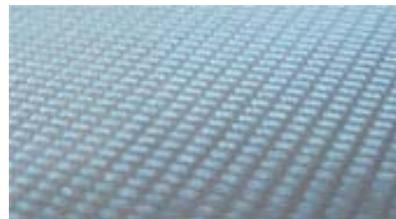


Figura 4.1 – Curva de transmissão espectral do Vidro Miniboreal

Percebe-se que o comportamento das curvas de transmissão espectral dos vidros Miniboreal (Figura 4.1) e Canelado (Figura 4.2) são parecidos: transmitem em maior porcentagem no intervalo referente à região do visível (de 380 a 780nm), porém uma porcentagem muito baixa, inferior a 40% o vidro Miniboreal e 30% o vidro Canelado.

Ainda na região do visível, observa-se um decréscimo de transmissão, por volta de 600nm. Na região do infravermelho próximo, ocorre uma queda de transmissão, atingindo um valor mínimo, em torno de 1000nm, e, por volta de 1300nm, a curva de transmissão se eleva até 1600nm, quando atinge um valor constante de transmissão de aproximadamente 30%, e mantém uma transmissão constante no infravermelho. Essa queda de transmissão que acontece na região do infravermelho próximo pode ser ocasionada em função de uma absorção da radiação nesta região, apesar de ser um vidro com pequena espessura e incolor.

De todos os vidros analisados, os vidros Canelado e Miniboreal foram os que apresentaram menores transmissões na região do ultravioleta, visível e infravermelho. O vidro Canelado é o translúcido de 4mm, que mais atenua a radiação, chegando a transmitir no máximo 30% na região do visível. Todos esses valores são para incidência perpendicular à amostra, onde a transmissão é máxima; sabe-se que essa situação acontece apenas quando o vidro for instalado em uma abertura que esteja voltada para as fachadas leste ou oeste, e em poucas horas do dia. Sendo assim, a transmissão no decorrer de um dia, em uma fachada, ainda terá valores inferiores a esses.

Em virtude de valores tão baixos de transmissão, foram realizados novos ensaios com o vidro Canelado, resultando em dez curvas de transmissão, sendo realizada a média, que pode ser visualizada na Figura 4.2.

Vidro Canelado

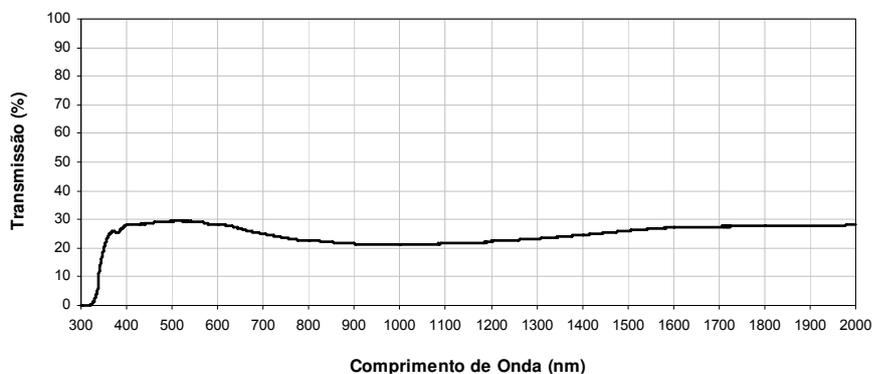


Figura 4.2 – Curva de transmissão espectral do Vidro Canelado

O vidro Canelado foi o que apresentou resultados mais inesperados; foram constatados os valores mais baixos de transmissão em todo espectro estudado. Esse fato pode estar relacionado por se tratar de uma superfície côncava. Esta deve favorecer a reflexão do feixe incidente para o ambiente externo, em todo o espectro analisado, e transmitir para o interior de maneira difusa o visível, já que ambientes com esse tipo de vidro possuem níveis de iluminância similar a um ambiente com janelas com vidro plano comum incolor de 4mm de espessura.

Os resultados assemelham-se aos vidros com alta tecnologia de fabricação e custos bem mais elevados, como, por exemplo, o Vidro Refletivo Azul Cool-Lite metalizado a vácuo (Figura 4.4), que em média custa em torno de 180 reais o m^2 ; se for monolítico, caso seja laminado²³, esse valor pode chegar a 360 reais o m^2 . O Vidro Impresso Miniboreal, por exemplo, que é muito utilizado na construção civil e é um dos vidros impressos de 4mm de espessura que mais atenua a radiação solar na região do ultravioleta, visível

²³ A Polividros (vidraçaria localizada em São Paulo, na Rua Vergueiro, 983 - Liberdade. Tel.: 3207 90 99) informou que o vidro laminado refletivo pode variar de R\$ 300,00 o metro quadrado até 2.900,00 o metro quadrado; vai depender do tratamento do vidro (cor, espelhação, espessura, medidas e tipo de laminação). Informação obtida no dia 06/06/2007.



e infravermelho, custa 32²⁴reais o metro quadrado , portanto possui um custo mais baixo e o comportamento ótico semelhante. O vidro translúcido com o custo mais elevado é o Aramado, em torno de 150 reais o metro quadrado.

Vidro Aramado

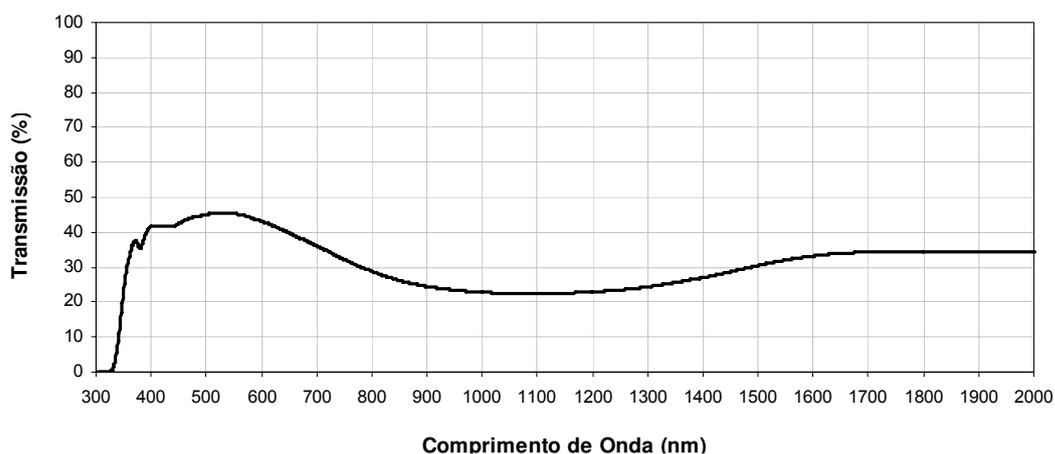


Figura 4.3 – Curva de transmissão espectral do Vidro Aramado

O vidro Aramado (Figura 4.3) também apresentou baixa transmissão na região do espectro analisada; sua maior transmissão ocorre na região do visível, em torno de 45%. Por meio da Figura 4.4, observa-se uma curva de transmissão mais acentuada que o Canelado e o Miniboreal na região do visível, reduzindo em maiores proporções a transmissão nessa região. Por volta de 1000nm têm comportamento similar aos vidros Canelado e Miniboreal, transmitindo em torno de 22%, que corresponde à região do infravermelho próximo. A disposição da curva de transmissão no vidro Aramado tem comportamento semelhante ao vidro plano incolor, porém com transmissão bem mais baixa em todo comprimento de onda.

²⁴ Média dos valores pesquisados nas vidraçarias: Polividros (SP); Rio Paiva Vidros e Cristais (RJ); Vidraçaria Rei da América (RJ); Engevidros Fachadas e Coberturas de Vidro (PR); Vidraçaria Leste (DF); Vitralbox Comércio de Vidros (MG); Vidraçaria Torre de Belém (RJ), no dia 19/06/2007.

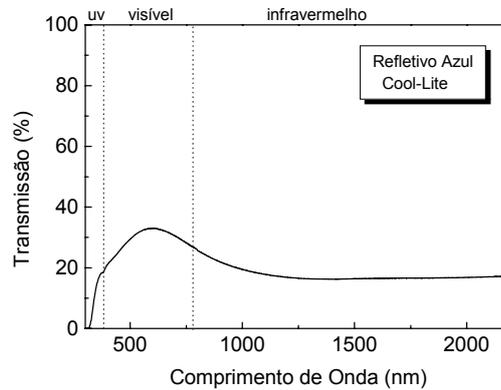


Figura 4.4 – Curva de transmissão espectral do Vidro Refletivo Azul Cool-Lite
Fonte: Caram, 1998

Existe uma diferença de espessura entre os vidros Miniboreal, Canelado e Aramado. Enquanto o Miniboreal e o Canelado possuem 4mm, o Aramado possui 6mm. Porém, de todos os vidros analisados, são os três vidros que mais atenuam a radiação solar.

Partindo-se para a análise dos resultados, com transmissão do visível menor que 45%, os ambientes com esses tipos de vidros ainda possuem um nível de iluminância satisfatório, e podem ser realizadas atividades que necessitem do sistema da visão, pois o ambiente encontra-se com níveis de iluminância dentro dos limites das recomendações do consultor Paulo Duarte, que é de 30 a 50%.

A Santa Marina estabeleceu como parâmetro, para determinar a porcentagem de transmissão luminosa, considerada ideal, uma relação para a transmissão luminosa - TL, que indica o seguinte:

$TL < 0,30$	transmissão luminosa fraca,
$0,30 \leq TL \leq 0,50$	transmissão luminosa média,
$TL > 0,50$	transmissão luminosa forte.

Os dados sugeridos pela Santa Marina não fornecem fontes, para verificar se resultam de experimentos científicos, portanto sua utilização necessitaria de outras fontes com mais respaldo. O arquiteto e consultor Paulo Duarte recomenda para o coeficiente TL que esteja entre 30 a 50% em superfícies verticais e TL entre 25% e 40% nas cobertas. (<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia47.asp>), consultado em 25/04/2005.

Definir a transmissão como sendo adequada apenas em função da transmissão luminosa do vidro pode não ser correto. Deve ser levada em consideração a dimensão da área envidraçada, sua orientação geográfica, além da latitude e época do ano, pois se pode obter o mesmo nível de iluminância em um ambiente com diferentes tipos de vidro, ou melhor, com vidros com diferentes transparência à região do visível, apenas dimensionando adequadamente o tamanho das janelas.



Vale salientar que o nível de iluminância de um ambiente está relacionado não somente ao tipo de vidro empregado, mas também à orientação da abertura, à dimensão da abertura, à disposição da abertura, aos obstáculos externos, às cores da superfície interna.

Analisando os resultados apresentados até o momento, constata-se grande diferença de porcentagem de transmissão entre o vidro Canelado e o vidro Plano incolor comum, pois, enquanto o plano incolor transmite na região do visível em torno de 86%, o Canelado não alcança 31% de transmissão.

A transmissão através do vidro depende de vários fatores; entre eles, tem-se a espessura do mesmo. Quanto maior for a espessura, menor será a transmissão, devido à absorção que ocorre no material. Nos resultados obtidos, aconteceu um fato inusitado: no caso dos vidros Miniboreal e Canelado, ambos com 4mm de espessura, foi transmitida menos radiação que no vidro Aramado, que tem espessura de 6mm. Portanto, a espessura não garante uma maior ou menor transmissão da radiação; esse parâmetro deve vir associado a outros itens, como, por exemplo, à rugosidade.

Quanto à superfície, se for irregular, pode reduzir a transmissão direta, difundindo a radiação incidente. Todos os vidros analisados possuem uma das faces irregular, e esta face recebe a incidência do feixe de luz. A amostra foi posicionada dessa maneira para se obter um resultado o mais parecido possível da realidade, já que a instalação de vidros impressos ocorre colocando a superfície rugosa para o ambiente externo.

As superfícies da maioria dos vidros impressos possuem irregularidades com grandes dimensões, não podendo, assim, cientificamente, serem denominados de vidros com superfícies rugosas, e sim vidro com superfície desenhada, irregular ou perfil irregular. Quando se analisam superfícies rugosas, trabalha-se com a unidade de milímetros, diferenças microscópicas; no caso dos vidros impressos, as irregularidades são perceptíveis e, em alguns casos, trabalha-se com centímetros.

Para enriquecer a análise dos dados, foi realizado um ensaio do perfil das superfícies dos vidros translúcidos, onde se obtiveram valores do PRT (distância entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da superfície do vidro) para cada tipo de vidro. Através desses valores (Tabela 4.1) constata-se a superfície de vidro com maiores irregularidades; conseqüentemente, essa superfície atenua mais a transmissão da radiação.

As irregularidades das superfícies dos vidros Miniboreal, Canelado e Aramado são bem diferentes, ficando difícil, até mesmo, a comparação entre eles para um aprofundamento na análise. Mas, por meio do ensaio do perfil, obteve-se $PRT^{25} = 0,215\text{mm}$ (Tabela 4.1) para o vidro Aramado, $PRT = 0,060\text{mm}$ para o Miniboreal e $PRT = 1,543\text{mm}$ para o Canelado, ou seja, valores bem distantes, apesar de, visualmente, o vidro Aramado e Miniboreal possuírem irregularidades próximas, diferenciando bastante do vidro Canelado. A transmissão do visível, nesses tipos de vidro, deve ocorrer, em maior parte, de

²⁵ É a distância entre o ponto mais alto e o mais baixo da superfície do vidro, PRT = Profile Rugose Total

maneira difusa, pois se observa que ambientes fechados com esses tipos de vidro possuem luminosidade semelhante a ambientes fechados com o vidro plano incolor.

Tabela 4.1 – Valores do PRT dos vidros translúcidos

Vidro	PRT (mm)
Aramado	0,215
Miniboreal	0,060
Oásis	1,294
Spotlyte	0,047
Rideau	0,670
Boreal	0,148
Teorema	0,077
Spot	0,332
Martelado	0,839
Canelado	1,543

O vidro Miniboreal é o vidro de 4mm de espessura que apresentou menor valor do PRT, portanto as alturas dos desenhos na superfície do vidro Miniboreal são pequenas, porém os desenhos se apresentam com mais intensidade e proximidade entre eles, quando comparados a outros vidros translúcidos. Por este motivo a sua transmissão foi baixa em todo o espectro analisado. O vidro Canelado também apresentou baixa transmissão, porém o valor do PRT encontrado foi o maior de todos os vidros translúcidos analisados. Portanto, na análise de transmissão da radiação por um vidro translúcido, devem-se levar em consideração vários parâmetros associados.

Por meio do rugosímetro foram obtidos os valores do PRT de cada vidro analisado. Contudo, também seriam importantes para análise, os valores das distâncias “D” e “d” conforme mostra a Figura 4.5. Os valores “D” e “d” referem-se a distância entre os picos de altura da irregularidade da superfície do vidro. No caso dos vidros Canelado e Miniboreal, observam-se visualmente distâncias com valores bem distintos. Porém, devido a limitações do rugosímetro utilizado não foi possível registrar esses valores.

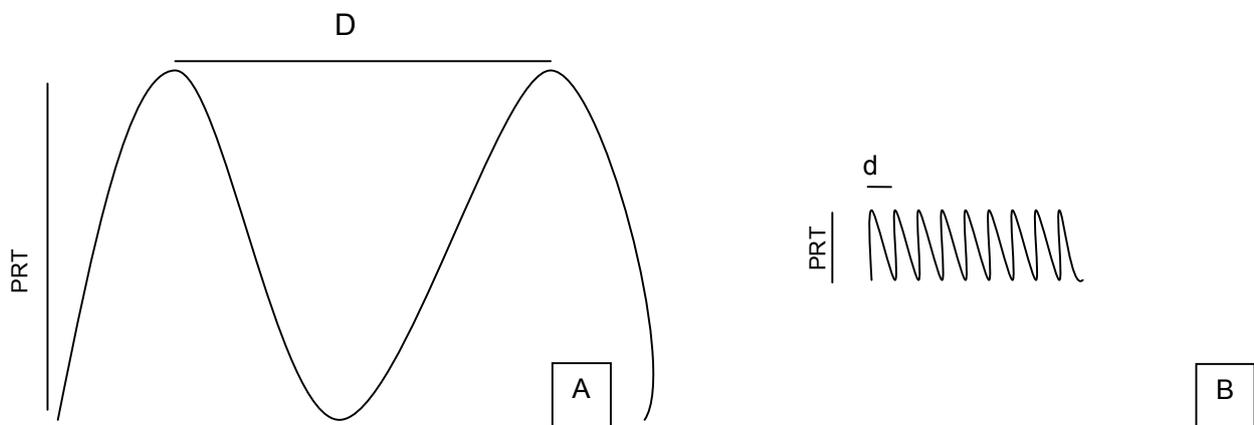


Figura 4.5 – Esquema do perfil dos vidros: (A) Canelado, (B) Miniboreal e suas respectivas distâncias entre os picos de altura da irregularidade da superfície e o PRT



Não existe diferença na composição química de todos os vidros ensaiados, os óxidos presentes são os mesmos, apenas o acréscimo de uma tela metálica no vidro Aramado.

E, por fim, o último influenciador na transmissão: o ângulo de incidência da radiação, que foi perpendicular a amostra em todos os vidros ensaiados, ou seja, nessa situação é que se deve constatar maior transmissão espectral. Na realidade, quando o vidro estiver fixo em uma fachada, a transmissão será menor, devido o ângulo de incidência variar e possibilitar uma maior reflexão que transmissão.

Partindo para analisar a região do infravermelho, o vidro Canelado seria uma boa opção para a indicação de um ambiente onde se deseja pouco ganho de calor, juntamente com o vidro Miniboreal e o vidro Aramado.

Vidro Oásis

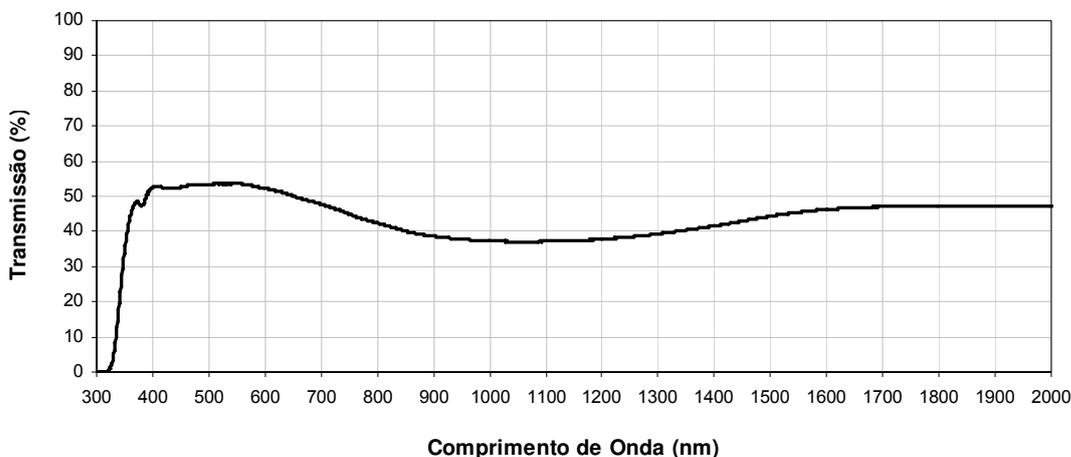


Figura 4.6 – Curva de transmissão espectral do Vidro Oásis

O Vidro Oásis (Figura 4.6) é o que possui em sua superfície desenhos com maiores dimensões de todos os vidros estudados, com PRT = 1,294mm, porém com altura dos desenhos inferiores à do vidro Canelado, cujo PRT = 1,543mm. Em função dessa grande diversidade de desenhos na superfície do vidro, esperavam-se resultados com valores extremos mais distantes e, no entanto, não aconteceram, pois seu resultado apresentou características similares às do Rideau (Figura 4.7) e o Martelado (Figura 4.8)

Vidro Rideau

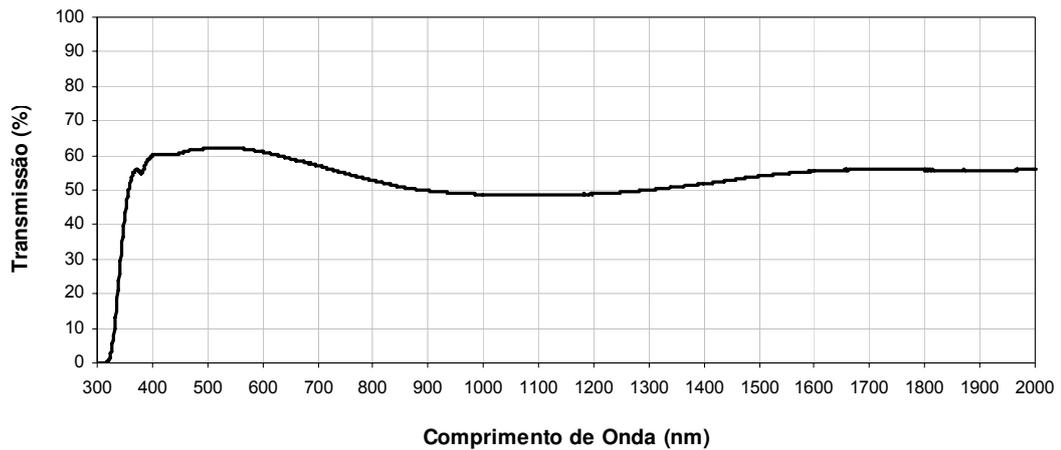
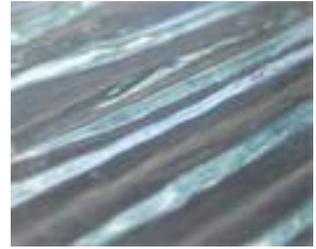


Figura 4.7 – Curva de transmissão espectral do Vidro Rideau

O vidro Rideau foi um dos vidros que apresentou maior transmissão na região do infravermelho, 52%, fato que deve ser levado em consideração na hora da especificação deste vidro, principalmente em locais de clima tropical, que é o caso do Brasil. Quanto à superfície, os vidros Rideau e Martelado apresentaram PRT próximos: o primeiro foi de 0,670mm e o último de 0,839mm. O vidro Martelado possui uma superfície mais irregular e transmite menos que o Rideau; na região do visível transmite 52%, enquanto o Rideau 59%.



Vidro Martelado

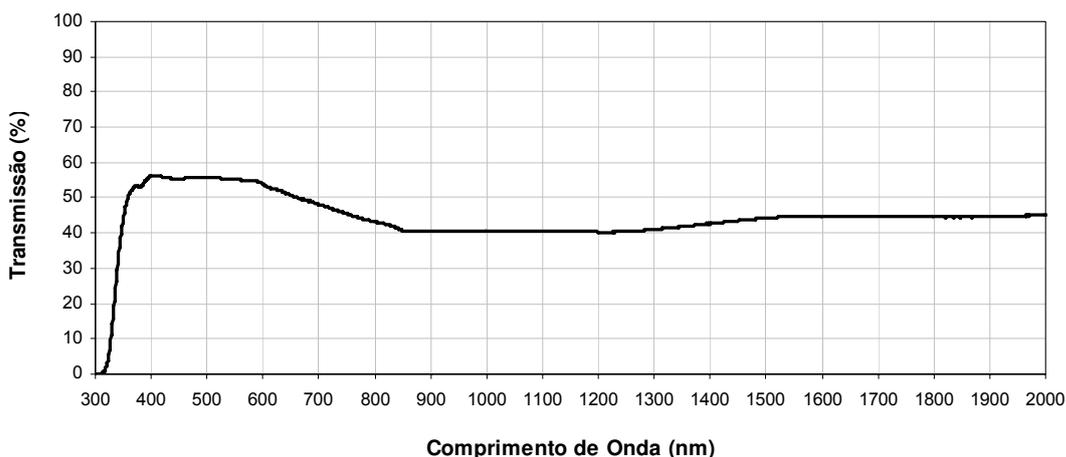


Figura 4.8 – Curva de transmissão espectral do Vidro Martelado

Nos vidros Oásis, Martelado e Rideau, a transmissão na região do visível e infravermelho é superior aos três primeiros vidros apresentados: Miniboreal, Canelado e Aramado. Na região do visível, os vidros Oásis e Martelado permitem transmissão em torno de 51%, e no Rideau 59%.

A curva de transmissão dos vidros Rideau e Martelado na região do infravermelho possuem comportamento semelhantes, constituindo quase uma reta horizontal em 1000nm, fato que diferencia das curvas de transmissão dos demais vidros analisados, porém o vidro Rideau transmite em maiores proporções. Os desenhos na superfície dos vidros Rideau e Martelado são pequenos e repetitivos, diferenciando do vidro Oásis.

Vidro Teorema

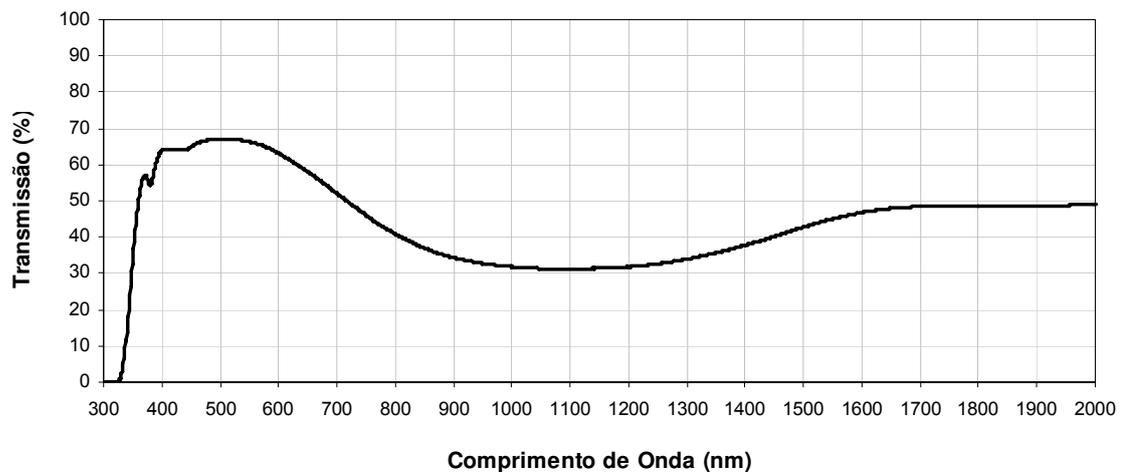


Figura 4.9 – Curva de transmissão espectral do Vidro Teorema

O Vidro Teorema (Figura 4.9) apresentou comportamento frente à transmissão de radiação parecido com o Vidro Boreal (Figura 4.10), Spot (Figura 4.11), Spotlyte (Figura 4.12), e transmissão superior a 60% na região do visível, por volta de 500nm, diminuindo significativamente ainda na região do visível, e por volta de 1000nm atinge seu valor mínimo de transmissão, 30%, mas volta a elevar-se em torno de 1200nm, alcançando uma transmissão em torno de 50% e permanecendo constante a partir de 1700nm, que corresponde à região do infravermelho. Quanto à superfície, as irregularidades são muito discretas, constituem ranhuras repetitivas em toda a superfície, obteve-se baixo PRT = 0,077mm.



Vidro Boreal

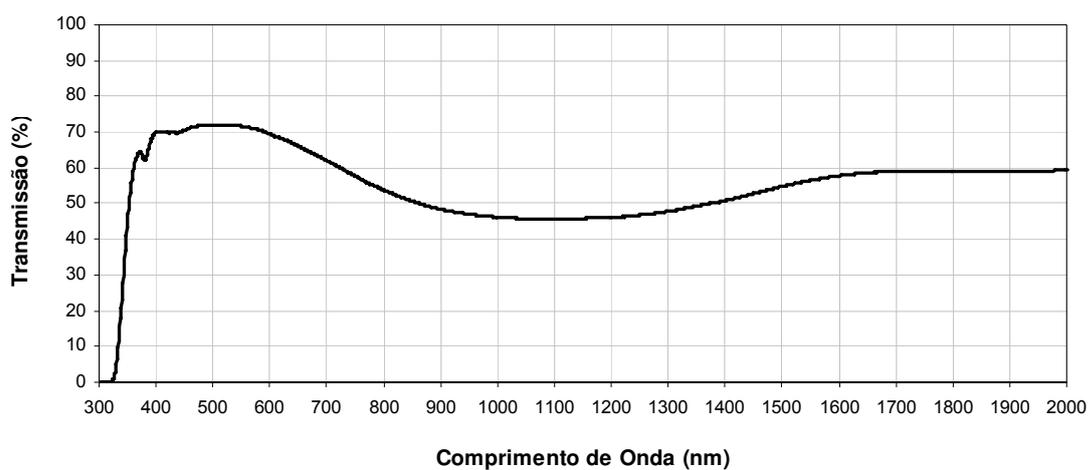


Figura 4.10 – Curva de transmissão espectral do Vidro Boreal

O vidro Boreal é o translúcido de 4mm de espessura que mais transmite na região do visível, em torno de 67%. Em seguida, aparece o Spot, com 61% e o Teorema com 60%. Porém também é o vidro Boreal que apresenta uma das maiores transmissões na região do infravermelho, cerca de 53%, comparando com o Spot 44% e o Teorema 40%.

Vidro Spot

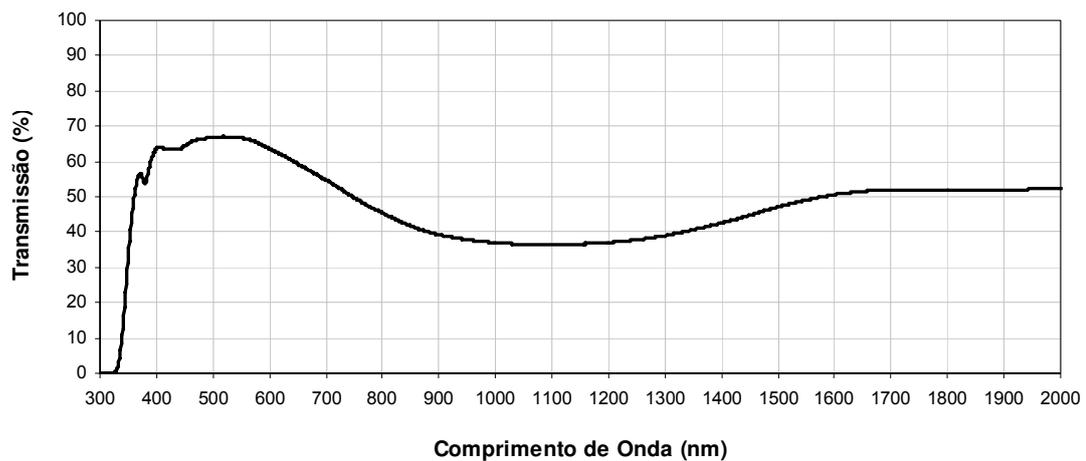


Figura 4.11 – Curva de transmissão espectral do Vidro Spot

O comportamento da curva do vidro Spot é semelhante ao vidro Teorema, transmitindo na região do visível 61% e na região do infravermelho próximo 44%. O vidro Spot possui irregularidades na superfície semelhante ao vidro Spotlyte, podendo ser enquadrado como vidros da mesma linha. Podem-se citar como diferenças:

- a quantidade de desenho na superfície: o vidro Spot possui uma maior irregularidade, devido à proximidade entre os desenhos. O vidro Spotlyte apresenta desenhos semelhantes, porém com maior distanciamento, resultando numa superfície mais plana.
- a espessura: o vidro Spotlyte encontra-se disponível no mercado apenas na espessura de 7/8mm, enquanto o Spot, 3/4mm.



Vidro Spotlyte

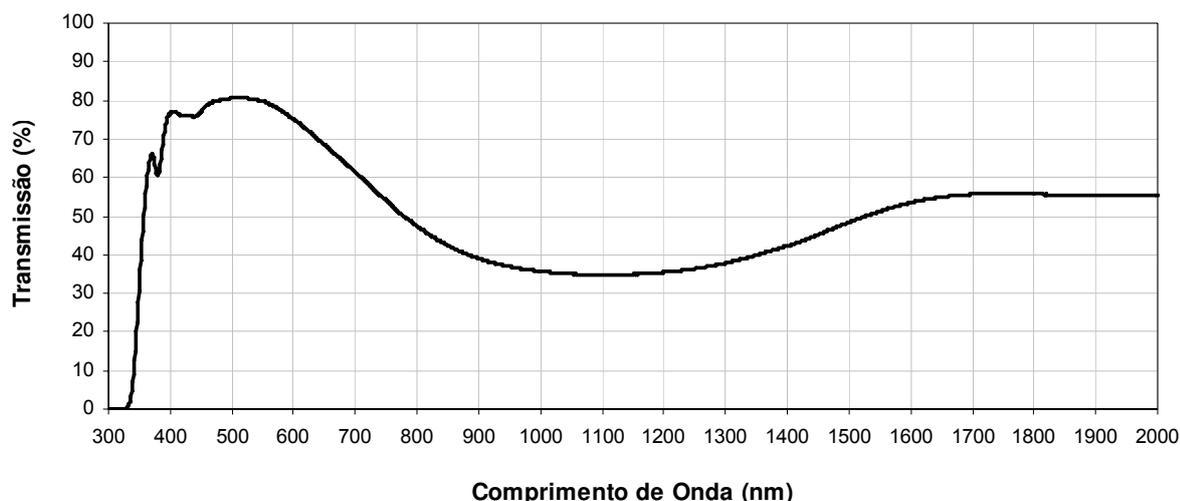
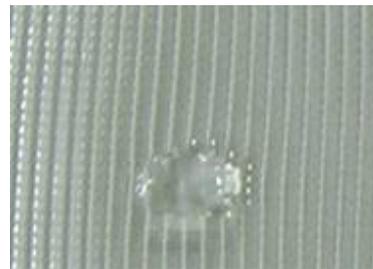


Figura 4.12 – Curva de transmissão espectral do Vidro Spotlyte

O vidro Spotlyte foi o que apresentou maior porcentagem de transmissão, chegando a alcançar 71% de transmissão na região do visível, por volta de 500nm; e vale lembrar que este vidro possui espessura maior que todos os demais, de 7/8mm. Encontrou-se outro resultado interessante, pois, teoricamente, quando o vidro tem maior espessura, menor seria a transmissão; essa situação não se apresentou com este tipo de vidro, quando comparado com os demais, que possuem menor espessura. Mas é importante salientar que a superfície do Vidro Spotlyte é a que apresenta menores irregularidades, quando comparado com os demais translúcidos, sendo esse dado confirmado através do ensaio do perfil, onde se obteve PRT = 0,047mm. Pode-se concluir que as características superficiais do vidro influenciam mais na transmissão direta que a espessura do vidro.

A diferença entre o Vidro Spot e o Spotlyte é a espessura e a irregularidade da superfície; o Spot possui 3/4mm de espessura, e a maior presença de desenhos na impressão visual da superfície do vidro, observando as amostras visualmente, parecem ser de composições distintas, mas essa impressão é devido somente à espessura do vidro, fato confirmado pela consultora da CEBRACE, Kátia Sugimura²⁶.

²⁶ Informação fornecida por Kátia Sugimura, consultora técnica da CEBRACE.



Um fato que deve ser destacado é o comportamento distinto dos vidros Boreal e Miniboreal (Figura 4.13) frente à radiação solar, e que, muitas vezes, na hora da especificação, são substituídos um pelo outro, devido possuírem custos parecidos e de grande disponibilidade no comércio. Enquanto o vidro Boreal transmite 67% na região do visível e 53% no infravermelho, o Miniboreal transmite apenas 36% e na região do visível e 28% no infravermelho; portanto, dependendo da necessidade do local, é importante analisar os dados de transmissão em cada região do espectro de cada vidro, pois essa questão influenciará no desempenho térmico e luminoso da edificação.



Figura 4.13 – Comparação entre os vidros: Boreal (inferior) e Miniboreal (superior)

Em virtude da metodologia adotada, em que ocorreram várias medições no mesmo vidro, apenas alterando a incidência do feixe de luz na superfície do vidro, em todos os vidros estudados constataram-se diferenças de transmissão de radiação. Por isso, foi necessário realizar uma curva média para que esta representasse a transmissão espectral de cada vidro, respectivamente, nos três comprimentos de onda estudados.

Diante da significativa diferença de valores de transmissão obtidos com o vidro Canelado, foram realizadas posteriormente mais 5 incidências em pontos distintos da amostra, totalizando 10 incidências, e essa variação de valores de transmissão espectral persistiu com valores repetitivos.

Para possibilitar uma comparação entre os variados vidros translúcidos, foi necessário calcular uma média para cada tipo de vidro, para que esta representasse a curva média de transmissão de cada vidro respectivamente, e, a partir dessa, foi realizada a comparação entre os vidros e, posteriormente, com os policarbonatos. Na Figura 4.14, é apresentada a curva referente à média de cada tipo de vidro analisado e na Tabela 4.2 o desvio padrão de cada vidro. No princípio, pensou-se em trabalhar com a mediana, mas devido a valores tão extremos, partiu-se para a média, com o objetivo de ter uma representação o mais fiel possível da transmissão de radiação de cada vidro impresso.

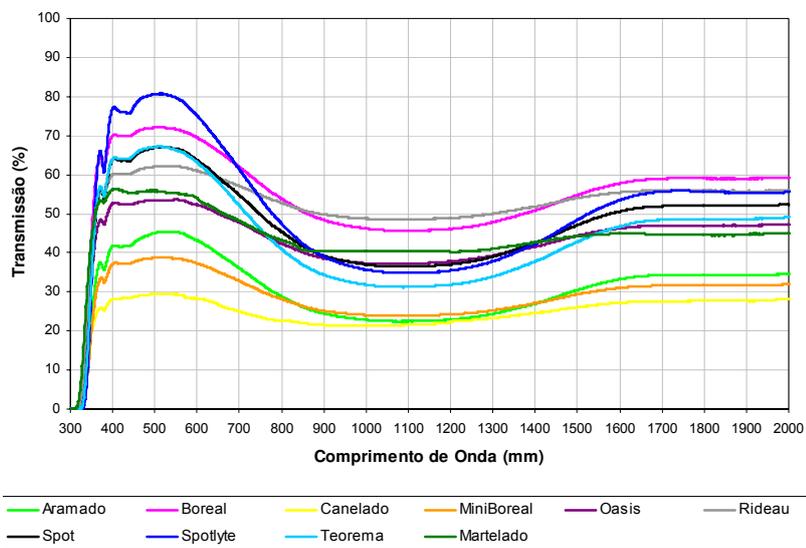


Figura 4.14 – Curvas de transmissão espectral de todos os vidros impressos

Tabela 4.2 – Desvio padrão dos vidros impressos analisados

Vidro	Desvio-Padrão
Aramado	8
Boreal	11
Canelado	variou de 3 a 5
Martelado	variou de 7 a 10
Miniboreal	6
Oásis	variou de 7 a 9
Rideau	variou de 7 a 10
Spot	variou de 11 a 12
Spotlyte	variou de 15 a 16
Teorema	variou de 10 a 14

Também foi confeccionada uma tabela (Tabela 4.3) que apresenta a transmissão da radiação nas amostras analisadas em intervalos característicos (ultravioleta, visível e infravermelho) e a transmissão total. E ainda, para efeito de comparação, foram acrescentadas a tabela os dados referentes ao vidro referência em duas espessuras diferentes, de 4mm e 6mm cedidos por Castro (2006) e Caram (1996), respectivamente.

Os vidros translúcidos apresentaram transmissões diferentes nos três comprimentos de onda analisados (Tabela 4.3), porém com valores próximos em algumas amostras. Analisou-se a transmissão nos intervalos determinados (ultravioleta, visível e infravermelho), assim como a transmissão total.

Tabela 4.3 – Transmissão da radiação nos vidros translúcidos

Vidros	Espessura (mm)	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão total da amostra (%)
		Ultravioleta	Visível	Infra-vermelho	
Aramado	6	15	40	29	30
Boreal	4	29	67	53	55
Canelado	4	12	27	25	31
Martelado	4	28	52	43	75
MiniBoreal	4	14	36	28	49
Oasis	4	22	51	42	73
Rideau	4	27	59	52	89
Spot	4	23	61	44	79
Spotlyte	8	24	71	45	85
Teorema	4	23	60	40	74
Referência*	4	39	88	77	78
Referência**	6	38	86	70	72

*Fonte: Castro, 2006

**Fonte: Caram, 1996.

O vidro que foi utilizado como referência foi o vidro plano incolor de 4mm de espessura (Figura 4.15), onde a porcentagem de transmissão fica em torno de 88% no comprimento de onda visível e no infravermelho alcança 77%.

Nos vidros translúcidos existe maior porcentagem de transmissão, nos comprimentos de onda em torno de 500nm (Figura 4.14), correspondendo à luz visível, variando de 27% a 67%, com a exceção do vidro Spotlyte (Figura 4.12), cuja transmissão luminosa alcançou 71%, em 500nm. Porém a transmissão em todo o espectro ficou abaixo do esperado, já que se trata de vidros simples, incolores e com mesma tecnologia de fabricação. Porém, quando comparados com os vidros refletivos, o percentual de transmissão na região do visível dos vidros translúcidos é maior, pois, segundo Caram (1998) a transmissão do visível nos vidros refletivos é no máximo de 15%.

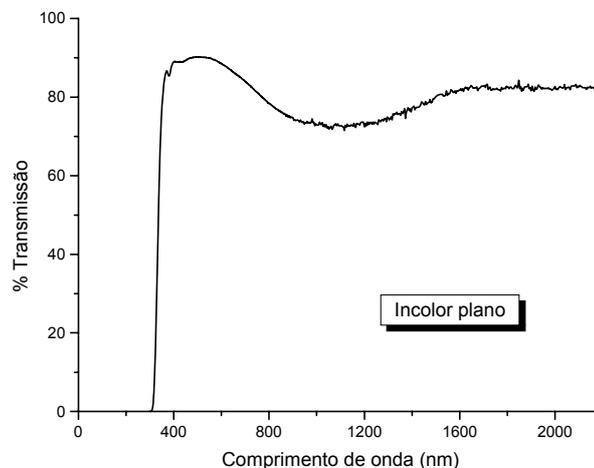


Figura 4.15 – Curva de transmissão espectral do vidro plano incolor de 4mm
Fonte: Castro, 2006



Como já foi mencionado, tem-se como grande definidor de transmissão de radiação por um vidro a espessura. Para facilitar a análise dos dados, dividiu-se em dois grupos de vidro, de acordo com a espessura: todos de 4mm, como o Boreal, Rideau, Oásis, Spot, Canelado, Miniboreal, Martelado e Teorema, e com maior espessura: Aramado (6mm) e Spotlyte (8mm), e, ainda, os resultados foram separados em intervalos diferentes do espectro.

A Figura 4.16 mostra o comportamento da transmissão em uma região do ultravioleta (300 a 380nm). Mesmo esses vidros possuírem a mesma espessura e mesma composição química a transmissão ocorre em diferentes porcentagens: enquanto o vidro Boreal transmite 29% do ultravioleta o vidro Canelado 12%. Independente de espessura, os vidros que menos transmitem nessa região foram o Canelado, Aramado e o Miniboreal, e os que mais transmitem são o Boreal e o Rideau.

Tratando-se da transmissão na região do visível (Figura 4.17) (380 a 780nm), o vidro Boreal é o translúcido de 4mm que mais transmite, chegando a alcançar 67%, porém o vidro Canelado não atinge 28% de transmissão, portanto este último é o vidro que menos transmite nessa região. Levando em consideração o controle energético, o vidro Canelado é o vidro mais opaco à radiação solar de forma genérica, porém a baixa transmissão em todo o espectro analisado implica a necessidade do consumo de energia decorrente da iluminação artificial. Independente de espessura, o vidro Spotlyte é o translúcido que mais transmite na região do visível.

E, por fim, a região do infravermelho próximo (780 a 1500nm) (Figura 4.18), onde os vidros Boreal e Rideau lideram com o percentual de transmissão de 53% e 52%, respectivamente. O vidro que menos transmite nessa região é o vidro Canelado. Em virtude dos resultados expostos até o momento, pode-se concluir que, analisando a relação entre transmissão na região do visível e infravermelho, pode-se constatar que as melhores opções quando se deseja a transmissão da luz e atenuação do calor, seriam os vidros Spotlyte, Teorema e Spot.

O vidro Miniboreal continua mantendo baixa transmissão na região do infravermelho, resultando, assim, em todo o espectro estudado, percentuais que não ultrapassam 40%, juntamente com o vidro Canelado. Os vidros Miniboreal e Canelado são os vidros translúcidos de 4mm que menos transmitem ultravioleta, visível e infravermelho. Esse fato só pode está relacionado à superfície do vidro, pois o vidro Miniboreal possui uma superfície mais irregular, mais rugosa, que o vidro Boreal, por exemplo. E o vidro Canelado possui um perfil côncavo, que aumenta a reflexão da radiação. Daí, pode-se chegar à outra conclusão: quanto mais irregular for a superfície onde está sendo incidida a radiação, menor será o percentual de transmissão.

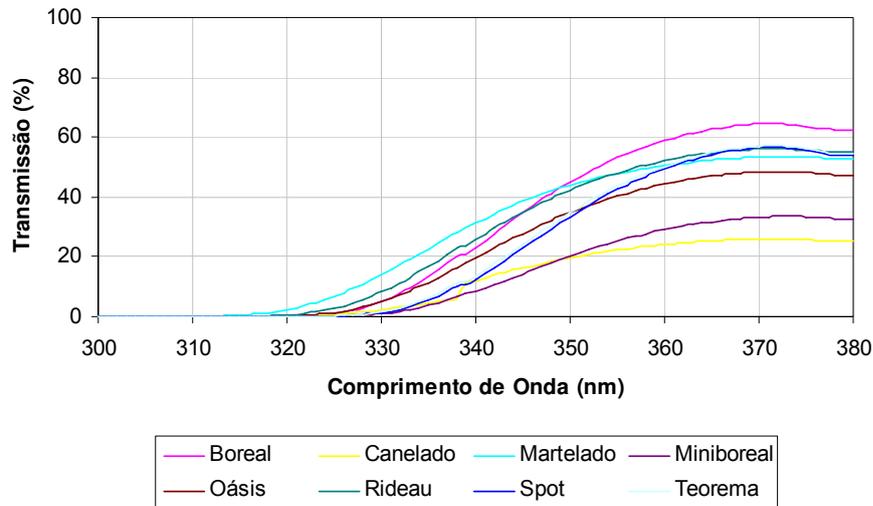


Figura 4.16 – Curvas de transmissão no ultravioleta de todos os vidros impressos de 4mm de espessura

Partiu-se também para comparar os valores referentes à transmissão espectral do vidro Aramado e o vidro Spotlyte (Figura 4.19), por possuírem espessuras próximas. Constatou-se que, apesar do vidro Spotlyte possuir espessura maior que o Aramado, ele transmite em maior percentagem que o Aramado.

Tratando-se da rugosidade da superfície, o vidro Spotlyte (PRT = 0,047) se apresenta com superfície menos irregular que o vidro Aramado (PRT = 0,215). E quanto à composição química, é a mesma para os dois vidros; a diferença é que o vidro Aramado possui em seu interior uma tela metálica.

Por meio da Figura 4.20 pode-se visualizar melhor a diferença de transmissão na região do visível. Enquanto o Vidro Spotlyte, por volta de 500nm, atinge 71% de transmissão, o Vidro Aramado, no mesmo comprimento de onda, alcança 40% de transmissão, uma transmissão muito baixa para um vidro incolor.

Através da Figura 4.21 pode-se visualizar a transmissão dos vidros Spotlyte e Aramado na região do infravermelho próximo. O Vidro Aramado é muito utilizado em “halls” de escadas, pois é recomendado por norma, por se tratar de um vidro de segurança e conseguir conter o fogo por um período de tempo maior que os outros tipos de vidro, mas percebe-se, através dos ensaios realizados, que locais que utilizam esse tipo de vidro poderão necessitar de uma iluminação complementar, devido à baixa transmissão do visível, porém, de acordo com as recomendações do consultor Paulo Duarte e da empresa Santa Marina, a transmissão luminosa encontra-se dentro dos limites especificados.

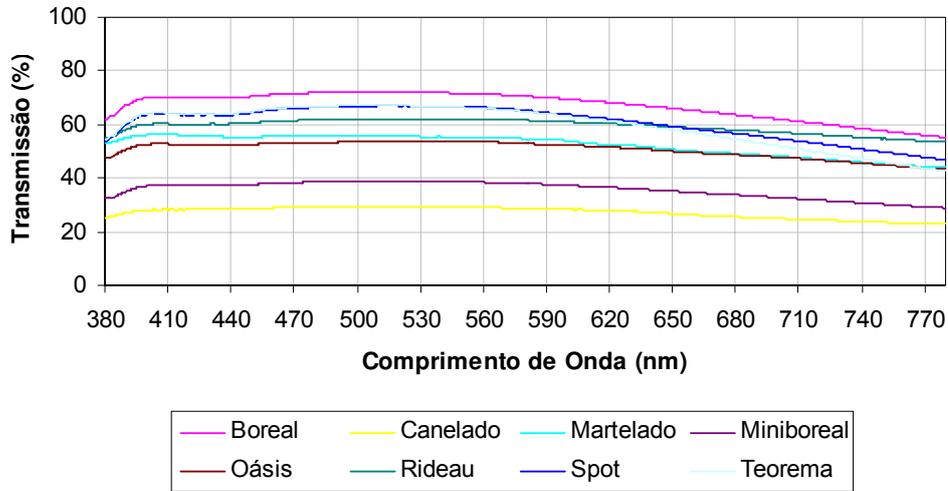


Figura 4.17 – Curvas de transmissão no visível de todos os vidros impressos de 4mm de espessura

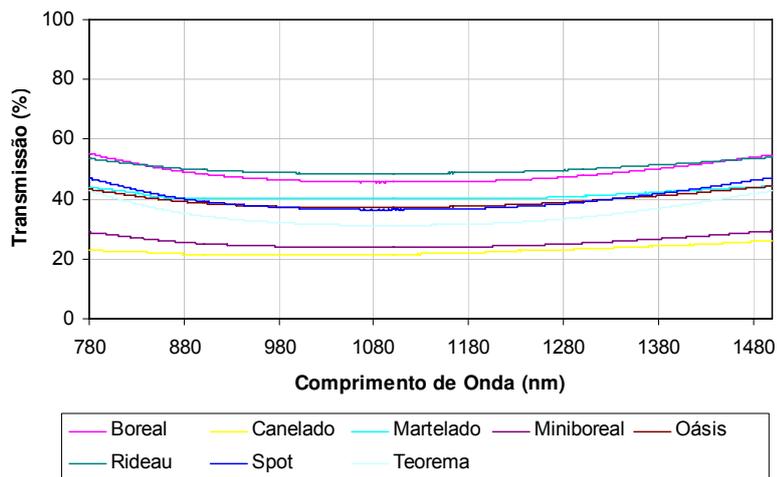


Figura 4.18 – Curvas de transmissão no infravermelho próximo de todos os vidros impressos de 4mm de espessura

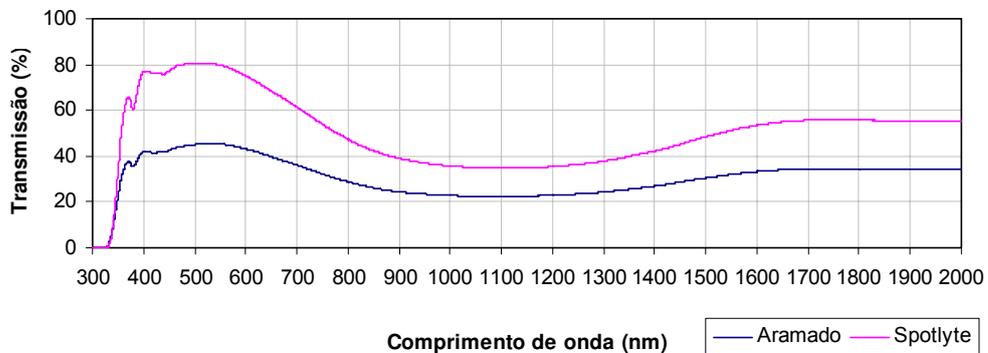


Figura 4.19 – Curvas de transmissão espectral dos vidros Aramado e Spotlyte

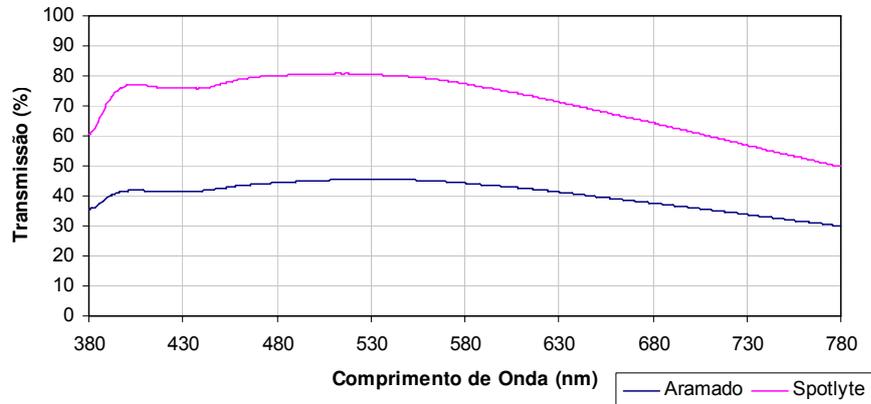


Figura 4.20 – Curvas de transmissão na região do visível para os vidros Aramado e Spotlyte

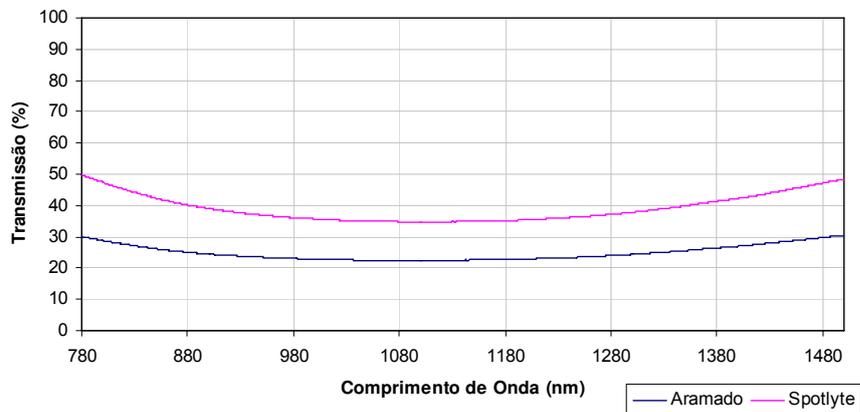


Figura 4.21 – Curvas de transmissão na região do infravermelho próximo para os vidros Aramado e Spotlyte

O vidro que poderia ser denominado de “vidro ideal” ainda não existe disponível no mercado. Esse vidro teria a capacidade de transmitir o máximo na região do visível e o mínimo no infravermelho, pois seria um vidro ideal para regiões de clima tropical, caso do Brasil. Em função dessa colocação, foi criada uma tabela (Tabela 4.4) que apresenta uma coluna denominada de relação visível/infravermelho, que é a razão entre o que é transmitido na região do visível e infravermelho. Portanto, se o valor for igual a 1, significa que a transmissão na região do visível e infravermelho são iguais; caso seja superior a 1, é que a transmissão na região do visível é maior que a do infravermelho, e se for inferior a 1, é que a transmissão na região do visível é menor que a do infravermelho. Esse valor indica um dos parâmetros na especificação e/ou escolha da superfície translúcida, visando ao desempenho térmico e luminoso na edificação, porém deve vir associado a outros fatores, como o Fator Solar dos vidros e a Relação WWR. E a outra coluna, referente à porcentagem da radiação que é transmitida na região do visível. Enfim, o



vidro que apresenta melhor desempenho será aquele que alcançar maior relação visível/infravermelho associada a maior transmissão na região do visível.

Tabela 4.4 – Relação entre a transmissão na região do visível e infravermelho

Vidro	Relação visível/infravermelho	Transmissão na região do visível (%)
Aramado	1,3	40
Boreal	1,2	67
Canelado	1,0	27
Martelado	1,2	52
MiniBoreal	1,2	36
Oasis	1,2	51
Rideau	1,1	59
Spot	1,3	61
Spotlyte	1,5	71
Teorema	1,5	60
Referência	1,1	88

Observa-se que os vidros Spot, Spotlyte e Teorema apresentaram bom atendimento aos critérios estipulados na Tabela 4.4; portanto, no tocante ao desempenho térmico e luminoso na edificação, eles podem resultar em um melhor resultado, porém, convém ressaltar que esse parâmetro de escolha deve ser associado a outras questões relevantes, como: a orientação e dimensão da abertura, a necessidade de elementos de proteção solar. O vidro Canelado foi o translúcido que apresentou menor valor para relação visível/infravermelho e menor transmissão na região do visível, esse fato pode estar relacionado à superfície do vidro ser côncava.

4.1.2 Policarbonato Alveolar

Os resultados são apresentados em forma de gráficos; assim, torna-se mais compreensível o comportamento da transmissão espectral dentro dos intervalos estudados.

Os resultados dos policarbonatos de chapas compactas já foram divulgados na tese de doutorado de Caram (1998). Na pesquisa, estão sendo divulgados os resultados de policarbonatos em chapas alveolares, para encerrar os dados referentes à transmissão nos policarbonatos utilizados na construção civil.

Os policarbonatos alveolares são comercializados como a última novidade em policarbonato e prometem diminuir o ganho de calor no interior do ambiente, devido à camada de ar interna que existe entre as duas lâminas de policarbonato, os alvéolos. E a difusão deste material nos projetos das edificações deve-se também ao custo, pois uma chapa de policarbonato alveolar custa 1/3 do policarbonato de chapa compacta.

Foram ensaiados 6 tipos diferentes de policarbonato alveolar: transparente, translúcido, verde, azul, fumê claro (bronze) e o cinza (fumê escuro). A transmissão espectral, nesse tipo de policarbonato, é inferior à do policarbonato de chapa compacta, à do vidro plano incolor e da maioria dos vidros translúcidos. Apenas no policarbonato alveolar transparente é que a transmissão atinge 65% no infravermelho; nos demais, como, por exemplo, o policarbonato alveolar translúcido, não alcança 6% de transmissão no visível, porém no infravermelho, este último atinge 35%.

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

A partir de 360nm, o policarbonato alveolar incolor já começa a transmitir (Figura 4.22), caso que não acontece com o policarbonato incolor em chapa compacta (Figura 4.23), pois Caram (1998) afirma que este possui opacidade ao comprimento de onda. Contudo, tratando-se da atenuação do ultravioleta no ambiente pode-se especificar em uma seqüência do mais eficaz para o menos: policarbonato incolor de chapa compacta, vidro laminado incolor e policarbonato incolor alveolar.

O vidro laminado, de acordo com Caram (1996), era considerado uma boa opção para locais em que não se desejava a presença do ultravioleta, pois sua transmissão nessa região era entre 1% a 2%. Em 1998, Caram descobre que o policarbonato em chapa compacta consegue reduzir ainda mais esse valor, caindo para 0,03% à transmissão na região do ultravioleta; em virtude de ser um valor tão baixo, passa-se a considerar 0% de transmissão (Figura 4.23). No caso, tem-se que levar em consideração também a durabilidade do material, inclusive a duração do policarbonato com sua transparência original, pois, com o passar do tempo, o policarbonato transparente passa a ser translúcido, modificando suas propriedades óticas.

Quando se refere ao policarbonato em chapa compacta, os valores apresentados são de policarbonatos com espessura de 4mm (espessura mínima), e o policarbonato alveolar com espessuras variadas. A espessura poderia influenciar na transmissão, contudo analisando o gráfico da Figura 4.24, percebe-se que o item espessura não teve poder decisivo na transmissão espectral, já que se observam policarbonatos com espessuras superiores, porém transmitindo em maiores porcentagens, como é o caso do Policarbonato Alveolar Verde, com espessura de 10mm.

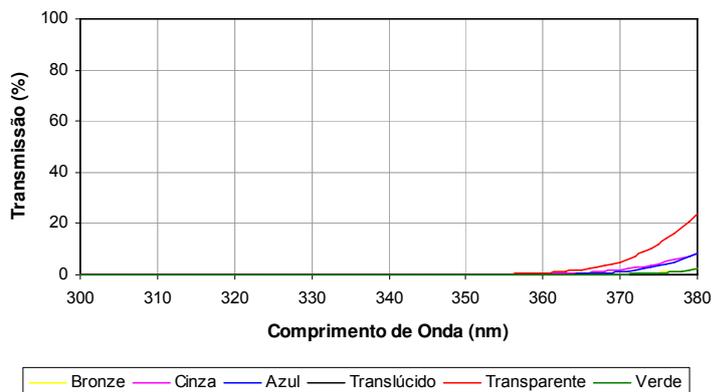


Figura 4.22 – Transmissão na região do ultravioleta dos Policarbonatos Alveolares

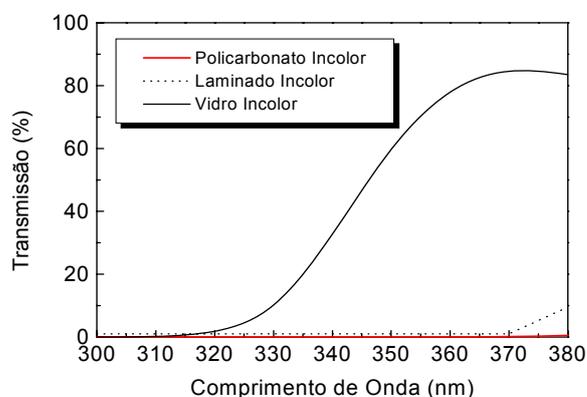


Figura 4.23 – Comparação da transmissão na região do ultravioleta do: Polycarbonato compacto incolor, vidro laminado e o vidro incolor *float*
 Fonte: Caram, 1998

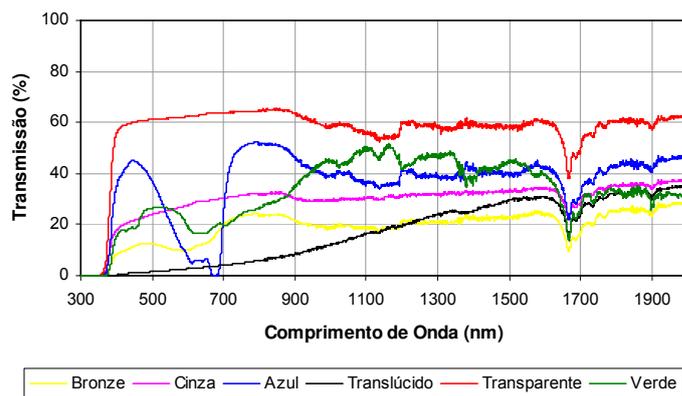


Figura 4.24 – Transmissão espectral para Policarbonatos Alveolares

As chapas compactas de polycarbonato apresentam transmissão ao visível de 28 a 84% (Caram, 1998), com exceção apenas da cor cinza, pois é mais opaco, mas isso não acontece com as chapas alveolares (Figura 4.25). A transmissão na região do visível só alcança 60% em apenas um tipo, o Polycarbonato Alveolar Transparente (incolor) (Figura 4.26). A transmissão do visível nos polycarbonatos alveolares é

variável em função da cor, e o Policarbonato Alveolar Translúcido permite a passagem do visível em porcentagens irrisórias de 5% (Figura 4.27).

É importante destacar que o vidro incolor transmite 86% do visível, não havendo, assim, muita diferença entre o policarbonato compacto incolor e o vidro incolor, porém, com relação ao Policarbonato Alveolar Incolor, a diferença é significativa. É interessante o conhecimento da transmissão dos materiais nos diferentes intervalos, porque, visualmente, os três materiais são similares, porém a transmissão espectral é distinta.

Percebe-se também que ocorre uma absorção da radiação entre 1600nm e 1700nm em todas as amostras ensaiadas. Por meio da Figura 4.24 pode-se perceber uma curva acentuada, representando uma queda na transmissão. Esse fato também foi constatado nas chapas de policarbonato compactas, afirma Caram (1998), que descobriu que essa relação acontece devido à presença do anel benzeno na cadeia polimérica.

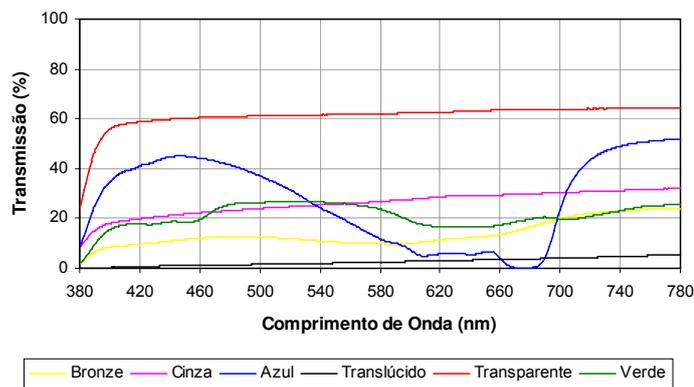


Figura 4.25 – Transmissão na região do visível dos Policarbonatos Alveolares

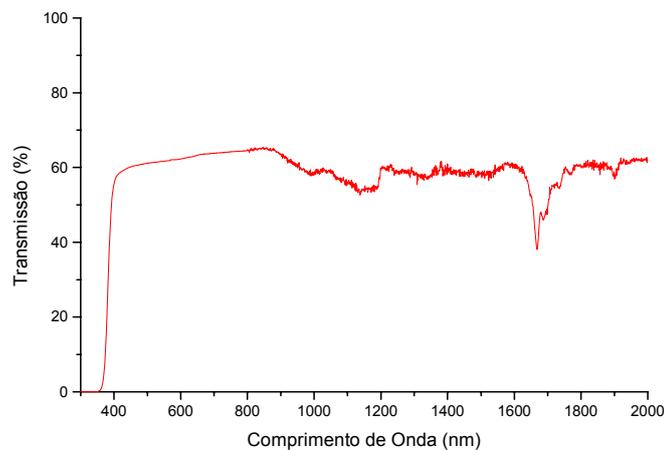


Figura 4.26 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Transparente (incolor)



É importante chamar atenção para a diferença de transmissão espectral entre os vidros translúcidos e o policarbonato translúcido; visualmente, os materiais são semelhantes, porém o desempenho térmico da edificação é distinto. Os vidros translúcidos apresentam comportamentos diferentes, porém todas as amostras analisadas apresentam maior transparência ao visível que o infravermelho, porém no policarbonato alveolar translúcido, a maior transmissão ocorre no infravermelho, responsável exclusivamente pelo calor. (Figura 4.27)

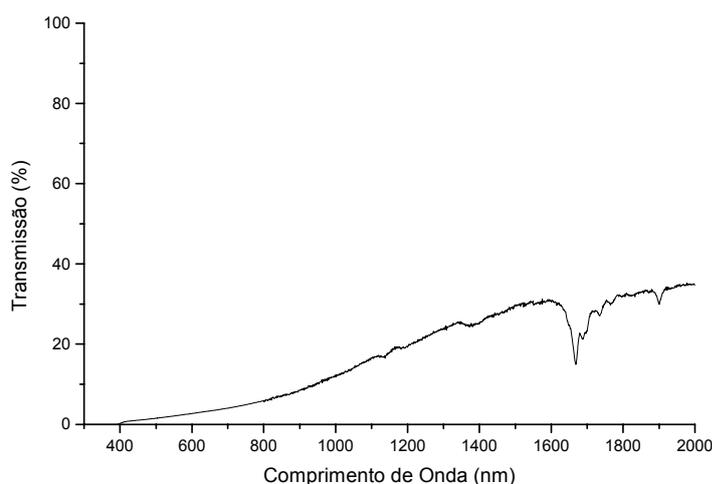


Figura 4.27 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Translúcido

Nos policarbonatos alveolares coloridos, a transmissão espectral é baixa. Uma maior transparência é encontrada no policarbonato alveolar azul (Figura 4.28), próximo de 52% no visível, e no policarbonato alveolar verde (Figura 4.29) com 50% no infravermelho próximo; nos demais, a transmissão não alcança 30% em todo o espectro. Já no policarbonato azul em chapa compacta, a transmissão do visível é de 69%, e no verde, 67%, porém a maior transmissão, neste último, ocorre no infravermelho próximo, de 81%. Quando comparado o policarbonato verde ou azul em chapa compacta e alveolar, em termos de diminuir os ganhos térmicos na edificação, a melhor opção seria os policarbonatos alveolares. Contudo tem-se que levar em consideração também os vidros coloridos, por apresentarem, esteticamente, visualmente o mesmo resultado. O vidro verde, por exemplo, já que o vidro azul monolítico não é fabricado no país, portanto seu custo é maior e sua especificação menor, transmite 68% no visível, valor bem próximo ao policarbonato verde, porém a grande diferença encontra-se na transmissão ao infravermelho, enquanto o policarbonato transmite 81%, o vidro verde 40%.

Um fato interessante que ocorreu na transmissão do policarbonato alveolar azul foi a queda, constituindo uma curva acentuada, em torno de 700nm; esse comportamento é percebido também no policarbonato azul em chapa compacta, mas muito menos acentuado. A queda pode ser decorrente que a radiação, nesta região, esteja sendo absorvida.

Nos policarbonatos alveolares Fumê claro (Figura 4.30), ou Bronze e Cinza (Figura 4.31), ou Fumê escuro, a transmissão é muito baixa. No primeiro, a transmissão alcança os 30% no visível e se comporta como uma linha quase constante, não variando esse valor por todo o espectro; já no policarbonato alveolar Cinza, a transmissão ainda é menor, em torno de 25% e também não variando muito esse valor para todo o espectro.

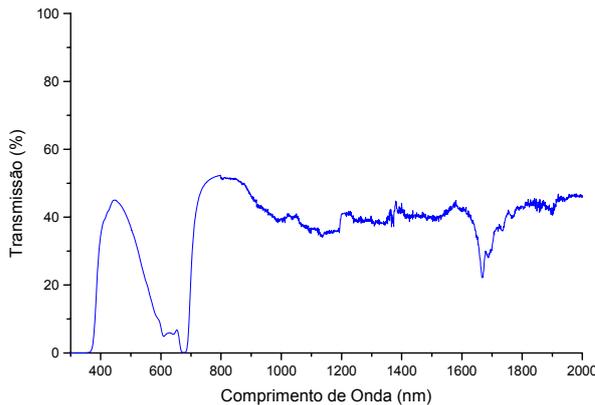


Figura 4.28 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Azul

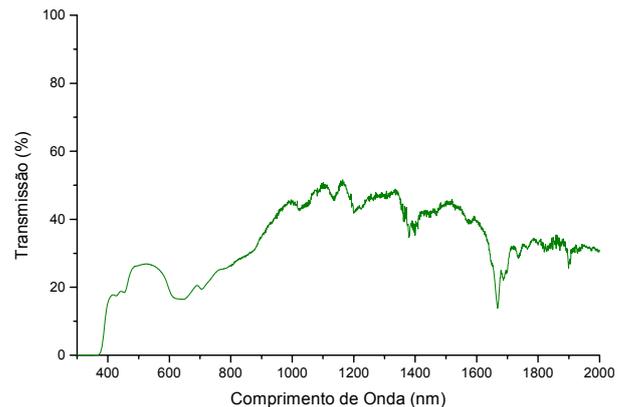


Figura 4.29 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Verde

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

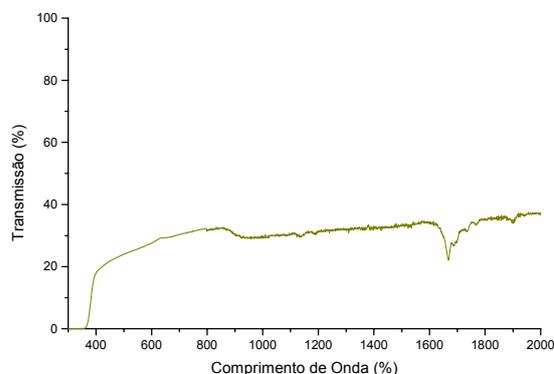


Figura 4.30 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Fumê Claro (Bronze)

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



Diante dos resultados expostos, conclui-se que o policarbonato alveolar é indicado para locais em que não se deseja a transmissão do ultravioleta, pois sua transmissão é muito baixa, só começa a transmitir a partir de 360nm. Comparando ao policarbonato de chapa compacta, a chapa alveolar é mais indicada quando se deseja atenuar a transmissão do visível e infravermelho. É indicado para locais que exigem maior segurança, pois é cerca de 250 vezes mais resistente que o vidro.

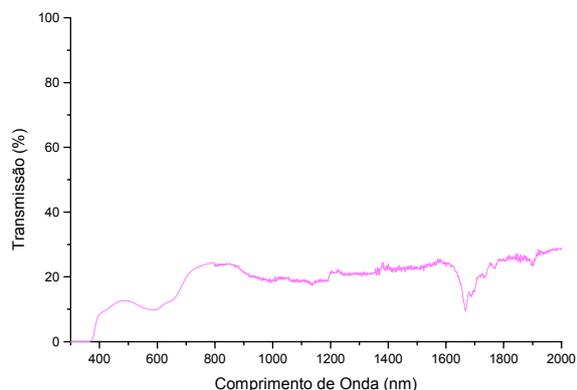


Figura 4.31 – Curva de transmissão espectral do Policarbonato Alveolar Fumê Escuro (Cinza)

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

4.2 Células-Teste

As medições nas células-teste visam a determinar quanto a superfície translúcida consegue atenuar o ganho de calor e transmitir a iluminação para o ambiente interno em uma situação real *in loco*. As medições nas células-teste envolveram diversas variáveis ambientais:

- temperatura e umidade do ar externa;
- temperatura do ar interna;
- velocidade e direção do vento;
- radiação;
- chuva;
- temperatura superficial interna da parede oposta à fachada que estava sendo avaliada;
- temperatura superficial interna e externa do vidro.

Foram trabalhadas as temperaturas do ar interna e externa, a temperatura superficial interna da parede oposta e as temperaturas superficiais interna e externa do vidro; as demais variáveis serviram de subsídio na hora da análise dos resultados.

A princípio, pretendia-se realizar as medições em duas épocas distintas de temperatura do ar e iluminação, seriam as estações do verão e inverno, mas devido a problemas com o cronograma de uso das células-teste não foi possível. As medições ocorreram nos meses de agosto e setembro de 2005,

que se refere à estação do inverno, denominada medições no inverno e nos meses de março a maio de 2006, na estação do outono, denominada medições no outono.

A amostra de vidro trabalhada foi dividida em duas séries: A (vidros: oásis, canelado, teorema, referência, rideau e spotlyte) e a B (vidros: aramado, miniboreal, spot, referência, boreal e martelado) para facilitar as medições nas seis células-teste.

Em consequência da grande quantidade de dados obtidos nas medições nas células-teste, foi necessária a realização de um valor médio para cada hora do dia e para cada variável analisada. O procedimento adotado consiste em um valor médio para cada hora, pois no período de 1 hora eram obtidos 6 valores diferentes para cada variável. Foi feito primeiro o valor médio de cada hora, ficando assim com 24 médias de cada dia, para cada variável; em seguida, foi realizada a média para o período em que foram realizadas as medições, os cinco dias.

As medições aconteciam durante sete dias contínuos, mas, de acordo com a metodologia adotada, eliminava-se o primeiro e último dia, restando assim, cinco dias a serem avaliados. A partir dessas médias, foram realizados os gráficos para facilitar a visualização dos resultados obtidos; os gráficos foram separados por variáveis. Foram confeccionados gráficos da temperatura do ar interna e externa; temperatura superficial do vidro interna e externa; e temperatura superficial da parede oposta.

4.2.1 Medições Piloto

Foram realizadas as “medições piloto” no período de 27/04/2005 a 19/05/2005, nas fachadas norte e oeste e, coincidentemente, nessa época ocorria a passagem de uma frente fria na região de Campinas; não ocorreu chuva e a aparência da abóbada celeste era clara com poucas nuvens.

O objetivo da realização de medição piloto foi de verificar se a metodologia que seria utilizada estaria coerente com o objetivo da pesquisa. E foi de fundamental importância a realização destas medições, pois constatou-se que, em se tratando de vidros com superfícies irregulares, haveria a necessidade de estudar outra maneira de fixar os sensores na superfície, visto que a fixação apenas com cola quente não seria suficiente.

Utilizaram-se cinco tipos diferentes de vidros translúcidos mais o vidro de referência, que é o comum plano incolor, que constituiu a série A:

- Célula-teste A – Vidro Oásis, de 4mm de espessura;
- Célula-teste B – Vidro Canelado, de 4mm de espessura;
- Célula-teste C – Vidro Teorema, de 4mm de espessura;
- Célula-teste D – Vidro Comum Plano Incolor, de 4mm de espessura;
- Célula-teste E – Vidro Rideau, de 4mm de espessura;
- Célula-teste F – Vidro Spotlyte, de 7/8mm de espessura.



As primeiras medições foram realizadas nas fachadas norte e posteriormente na fachada oeste, somente com os vidros da série A.

Nas medições da fachada norte, ocorreu um problema: os sensores que estavam colados nas superfícies externas dos vidros de quatro células-teste descolaram, contudo foi constatado que até a noite do dia 30/04/2005 os sensores estavam fixados; portanto as medidas do dia 01/05/2005 a 06/05/2005 foram descartadas, restringido os dados a serem trabalhados para esta fachada. E como faz parte da metodologia adotada descartar o primeiro e o último dia de medição, que foi dia 27/04/2005 e 01/05/2005, respectivamente, foi escolhido como dia representativo o dia 28/04/2005, por apresentar características semelhantes aos dias 27, 29 e 30 de abril. Foi escolhida também essa data, porque se desejava uma data mais distante da estação do inverno, pois as próximas medições ocorreriam no inverno; assim poder-se-iam contemplar dados de épocas diferentes.

4.2.1.1 Fachada Norte

Nesta fachada, percebeu-se que a temperatura da superfície externa do vidro sempre é a mais elevada com relação às demais no período das 7h às 15h, alcançando mais de 40°C no período das 11h às 12h e das 14h às 16h; conseqüentemente, a temperatura da superfície interna acompanha essa curva, porém com temperaturas mais baixas.

No período das 9h às 15h, a temperatura interna do ambiente é mais baixa que a temperatura externa. Só depois das 15h é que a radiação solar que atravessou diretamente o vidro e aqueceu as superfícies internas, posteriormente reenviando para o ambiente interno em radiação de onda longa, e juntamente com a parte absorvida pelo vidro. Devido à diferença de temperatura, também vai aquecer o ambiente interno, elevando o valor da temperatura interna que se mantém mais elevada que a temperatura exterior até o outro dia por volta das 7h da manhã. Isso ocorreu de maneira cíclica e em todos os vidros analisados.

No vidro Canelado, as curvas de temperatura superficiais dos vidros são semelhantes, porém atingiram temperaturas inferiores ao vidro Oásis. As maiores temperaturas registradas, que foram de 40°C, ocorreram um pouco antes do meio dia e depois das 15h. A queda de temperatura, entre as 12h e 14h, se repetiu no vidro Canelado, provavelmente devido ao mesmo motivo do vidro Oásis.

A temperatura do ar interna no período das 8h às 15h ficou mais alta que a temperatura externa, porém com valores mais próximos que no vidro Oásis, mas também se constatou um ciclo; depois das 15h, ela fica superior à externa, mantendo esse comportamento até o outro dia, às 7h da manhã.

No vidro Teorema, a temperatura superficial externa do vidro obteve valores superiores à maior parte do dia do que a temperatura superficial interna; os valores foram mais próximos, quando comparados com

outros vidros, porém, após as 15h, a temperatura externa da superfície do vidro permanece superior à temperatura interna.

Após as 20 horas, os valores da temperatura interna do ar confundem-se com os valores da superfície externa do vidro, fato que diferencia o vidro Teorema dos demais vidros, pois como já se observou, a temperatura superficial interna e externa do vidro caminham próximas e neste vidro, isso não aconteceu.

Com o vidro Referência, o comportamento das curvas de temperatura possui comportamento similar aos vidros Oásis e Canelado.

O vidro Rideau foi o vidro de 4mm, que apresentou temperaturas superficiais, externa e interna mais altas, alcançando 43°C e 38°C, respectivamente; às 9h, elas se igualam e atingem quase 30°C.

O vidro Spotlyte difere-se dos demais apresentados também pela sua espessura, todos de 4mm, mas o Spotlyte tem 7/8mm de espessura. Percebe-se que a temperatura superficial externa do vidro atinge valores elevados de 44°C em dois horários diferentes no dia, porém a temperatura superficial interna do vidro não alcança 33°C; é importante salientar que a temperatura do ar, nesse momento, é menos de 25°C.

4.2.1.2 Fachada Oeste

As medições foram realizadas do dia 09/05/2005 a 19/05/2005 e, de acordo com a metodologia, descartaram-se os dias 09/05 e 19/05; para ilustrar, foi selecionado um dia representativo: 10/05/2005. A escolha deste deve-se às características semelhantes aos demais dias do período analisado e por estar o mais distante da estação do inverno.

Percebe-se que o pico da temperatura acontece entre 15h e 16h. Isso ocorre por se tratar de uma fachada oeste, onde se tem a incidência direta da radiação solar na superfície do vidro nesse período, e por este horário apresentar as temperaturas mais elevadas do dia.

Mesmo por se tratar de dias com grande amplitude térmica, com temperatura do ar variando de 16°C a 28°C, a temperatura superficial externa de alguns vidros, como, por exemplo, os vidros Oásis, Canelado e Spotlyte atingiram temperaturas bem elevadas de 46°C, 43°C e 42°C, respectivamente, repassando, nos casos dos vidros Oásis e Teorema, esse calor para a superfície interna do vidro e, conseqüentemente, para o ambiente interno. No caso dos vidros Spotlyte e Canelado, a temperatura superficial interna do vidro não acompanha a curva da temperatura superficial externa, ou seja, não atinge temperaturas tão altas, porém a temperatura interna do ar dos ambientes fechados com esses tipos de vidro eleva-se e atinge temperatura igual aos dos ambientes fechados com os outros tipos de vidro.

Os vidros Referência e Rideau foram os que atingiram temperaturas mais baixas. Ambos possuem a mesma espessura, 4mm, contudo a temperatura interna do ar atingiu temperaturas iguais aos dos demais

vidros, independente da temperatura superficial externa do vidro e da espessura do mesmo, a temperatura interna do ar foi similar em todos os ambientes analisados.

Vale ressaltar que o vidro Rideau, quando exposto na fachada norte, atingiu os valores de temperatura interna e externa mais elevadas, porém, quando estava locado na fachada oeste, os valores se inverteram: foi o vidro de 4mm de espessura com valores de temperatura mais baixos.

No que diz respeito à temperatura interna, foram analisados ambientes com aberturas de mesma dimensão e mesmo tipo de vidro adotado, mas voltadas para duas orientações distintas: norte e oeste, e ficou comprovado que a orientação das aberturas é de caráter decisivo no aumento da temperatura interna.

Através dos dados coletados de temperatura, fica constatado que aberturas voltadas para oeste (Figura 4.32) geram ambientes com temperatura interna superior a ambientes com abertura voltada para norte (Figura 4.33), independente da espessura e tipo de vidro. Esse fato foi observado para a latitude da cidade de Campinas na estação do outono.

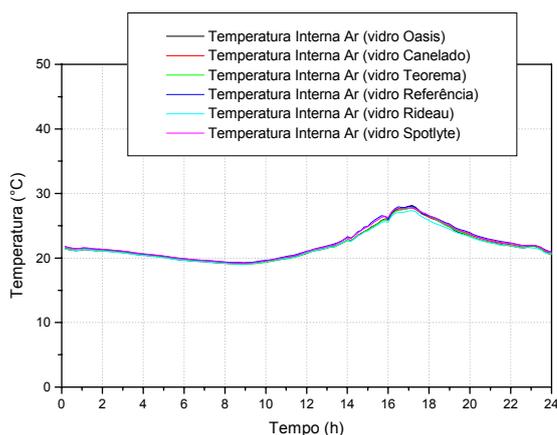


Figura 4.32 – Comparação entre as temperaturas internas do ar dos ambientes fechados com os vidros analisados localizados na fachada oeste

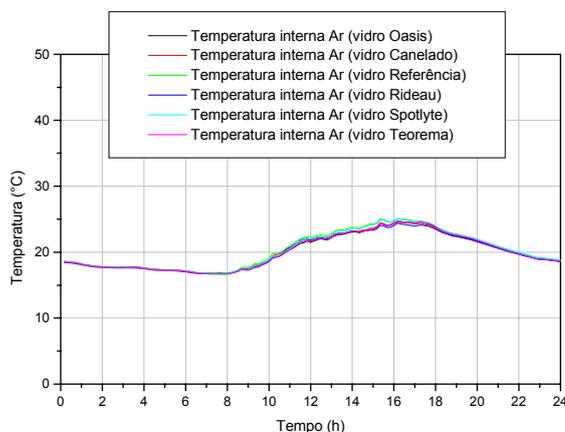


Figura 4.33 – Comparação entre as temperaturas internas do ar dos ambientes fechados com os vidros analisados localizados na fachada norte



Após ter realizado a medição piloto, partiu-se para as medições reais que ocorreram na estação do outono e do inverno, ficando denominadas de inverno e outono, respectivamente.

4.2.2 Medições na Estação do Outono

As medições referentes à estação do outono foram realizadas no período de 30 de março a 02 de maio de 2006, iniciou-se com a fachada oeste e a série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau e spotlyte). Transcorrida uma semana, instalou-se a série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal e martelado); em seguida, a série A na fachada norte e depois a série B.

Nesta época, a temperatura do ar variou de 17°C a 32°C, com temperatura média em torno de 24°C. A umidade do ar ficou em torno de 51% e a radiação solar no período das 9 às 16 horas apresentou-se 620w/m², valores esses esperados para essa época na cidade de Campinas, e não ocorreu chuva.

4.2.2.1 Fachada Oeste

Os sensores e os vidros foram instalados nas células-teste no dia 30 de março de 2006 e permaneceram até o dia 06 de abril de 2006. Iniciou-se avaliando a fachada oeste, com a série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau e spotlyte).

No dia 07 de abril de 2006, foi alterada a série de vidros na fachada oeste e passou-se a avaliar a série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal, martelado), permanecendo até o dia 14 de abril de 2006.

4.2.2.2 Fachada Norte

A fachada norte começou a ser avaliada no dia 17 de abril de 2006, onde foram instalados os vidros da série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau e spotlyte), permanecendo até o dia 24 de abril de 2006. Em seguida, no dia 25 de abril de 2006 foram trocados os vidros, instalaram-se os vidros da série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal, martelado), permanecendo nas células-teste até o dia 02 de maio de 2006.

4.2.3 Medições na Estação do Inverno

As medições referentes à estação do inverno foram realizadas no período de 22 de agosto a 20 de setembro de 2005, iniciou-se com a fachada norte e a série A; transcorrida uma semana, instalou-se a série B. Em seguida, instalou-se a série A na fachada oeste e depois de uma semana a série B.



Nessa época, a temperatura do ar variou de 16°C a 40°C, com temperatura média em torno de 21°C. A umidade do ar ficou em torno de 45% e a radiação solar global de 490w/m² no período das 9 às 16 horas, valores esses confirmados com a estação CEPAGRI. No período, não ocorreu chuva.

4.2.3.1 Fachada Norte

Iniciaram as medições no dia 22 de agosto de 2005 com a série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau e spotlyte); transcorrida uma semana, foi instalada a série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal, martelado), permanecendo mais uma semana, encerrando as medições nessa fachada no dia 05 de setembro de 2005.

4.2.3.2 Fachada Oeste

Iniciaram as medições no dia 06 de setembro de 2005 com a série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau e spotlyte); transcorrida uma semana, foi instalada a série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal, martelado), permanecendo mais uma semana, encerrando as medições nessa fachada no dia 20 de setembro de 2005.

4.2.4 Resultados e Discussão

Para ilustrar os resultados e enriquecer a discussão do trabalho, foram selecionadas as variáveis ambientais fundamentais e que constituem peças indispensáveis para alcançar o objetivo. As variáveis foram:

- ✓ temperatura interna e externa do ar;
- ✓ temperatura superficial interna e externa do vidro;
- ✓ temperatura da superfície da parede oposta.

4.2.4.1 Temperatura Interna e Externa do Ar

Os valores da temperatura interna do ar nas células-teste foram obtidos a partir de um sensor localizado no centro de cada célula-teste, a uma altura aproximada de 1m do piso, e a temperatura externa foi obtida com auxílio de um termômetro instalado na estação meteorológica próxima à célula-teste.

A temperatura interna do ar atinge seu menor valor sempre em torno das 6h30 da manhã e a temperatura externa do ar por volta das 7 horas da manhã; esse fato aconteceu independente da estação do ano

analisada, do tipo de vidro utilizado e da fachada avaliada. Os valores mais altos de temperatura interna do ar nas células-teste alcançam seus ápices por volta das 15 horas, quando se refere às células-teste com os vidros instalados na fachada norte, e às 17 horas, para as células-teste com os vidros na fachada oeste. (Figuras 4.36, 4.38, 4.44, 4.48)

O comportamento das curvas de temperaturas internas e externas do ar são parecidas e não se observam grandes amortecimentos e atrasos térmicos, devido à superfície separadora entre o ambiente interno e externo ser o vidro. Esse fato pode ser melhor observado através das figuras 4.38, 4.39, 4.48, 4.49.

4.2.4.1.1 Inverno

Analisando a série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau, spotlyte) posicionada na fachada norte, observou-se que os valores mais elevados da temperatura interna do ar foram detectados na célula-teste fechada com o vidro Spotlyte, com 27,8°C (Figura 4.34), por volta das 16 horas; nesse mesmo horário, a temperatura externa do ar era de 31,1°C (Figura 4.35). Vale ressaltar que o vidro Spotlyte foi o vidro com maior espessura analisado (8mm) e menor PRT, portanto a irregularidade na superfície do vidro é pequena.

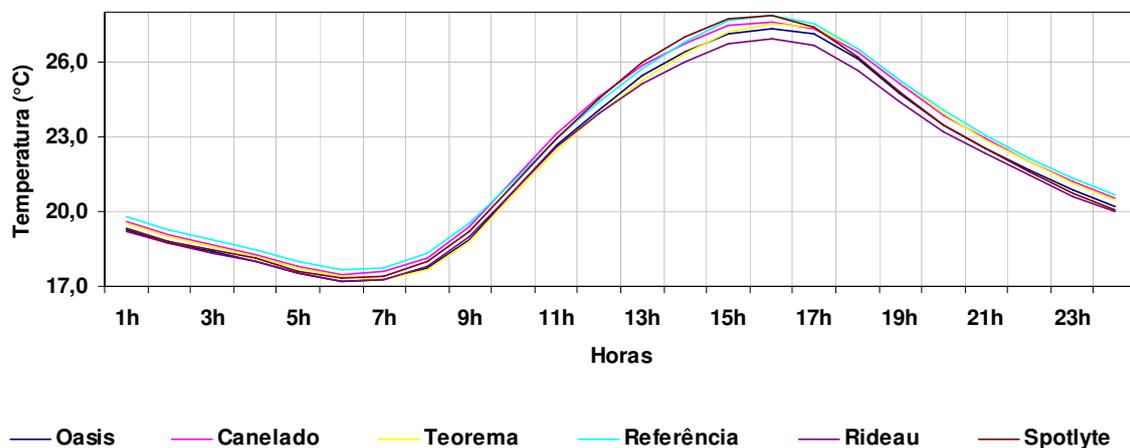


Figura 4.34 – Curvas da temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada norte

Também foram as células-teste fechadas com o vidro Spotlyte que atingiram as menores temperaturas, por volta das 6 horas da manhã, de 17,3°C; nesse horário, a temperatura externa do ar media 17,1°C, ou seja, a diferença de temperatura do ar entre o ambiente interno e externo é mínima, assim como a diferença entre os vidros avaliados da série A. Percebe-se, através da Figura 4.34, que a curva de temperatura dos vidros caminha com valores bem próximos, não havendo diferenças significativas, mesmo o vidro Spotlyte tendo 8mm de espessura e os demais de 4mm.



Vale ressaltar que a variação diária da temperatura interna do ar na célula-teste com abertura na fachada norte e série A foi de 10,5°C, enquanto a variação diária da temperatura externa do ar foi de 14°C.

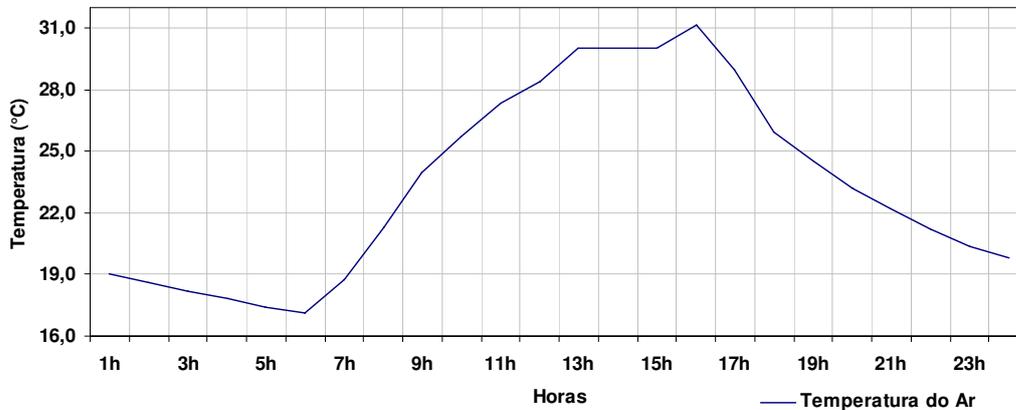


Figura 4.35 – Curva da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada norte

Porém, com os mesmos vidros (série A) colocados na fachada oeste, a temperatura interna do ar atinge seu pico de 30,8°C na célula-teste com o vidro Referência, por volta das 17 horas (Figura 4.36), enquanto a temperatura externa do ar neste horário é de 32°C. (Figura 4.37). Vale ressaltar que o vidro referência é um vidro plano incolor de 4mm de espessura, por isso permite a transmissão da radiação em grandes proporções, na região do visível e infravermelho. Contudo é importante enfatizar que, independente do comprimento de onda, depois que a radiação é absorvida, é reenviada para o ambiente, na forma de calor, elevando a temperatura do ambiente interno.

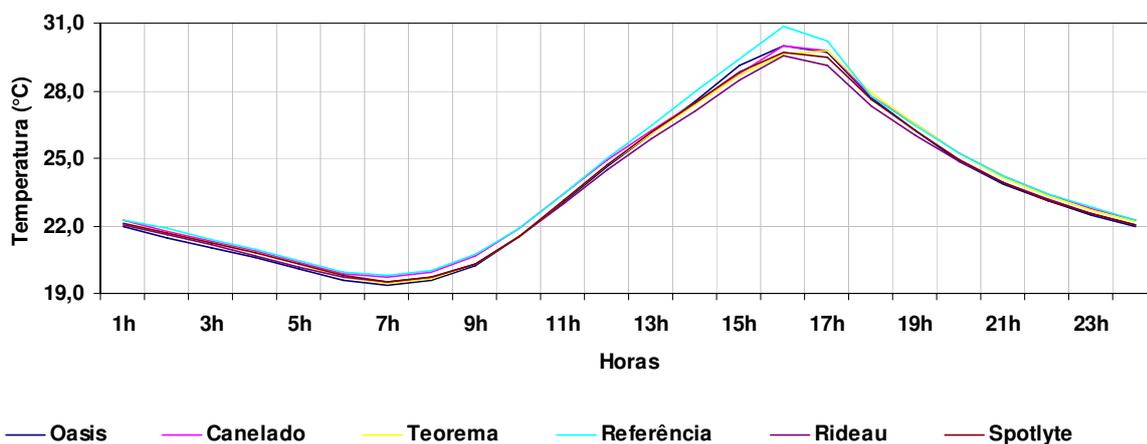


Figura 4.36 – Curvas da temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada oeste

Quanto à temperatura interna mais baixa, essa foi registrada com o vidro Spotlyte, com 19,5°C às 7 horas da manhã, enquanto a temperatura externa do ar nesse horário era de 19,9°C. Portanto, independente da fachada, a célula-teste que registrou as menores temperaturas com a série A foi a que estava fechada

com o vidro Spotlyte, porém com diferenças de temperatura interna do ar pequenas, quando comparadas com as das outras células-teste.

Vale ressaltar que a variação diária da temperatura interna do ar na célula-teste com abertura na fachada oeste e série A foi de 11,3°C, enquanto a variação diária da temperatura externa do ar foi de 13,5°C.

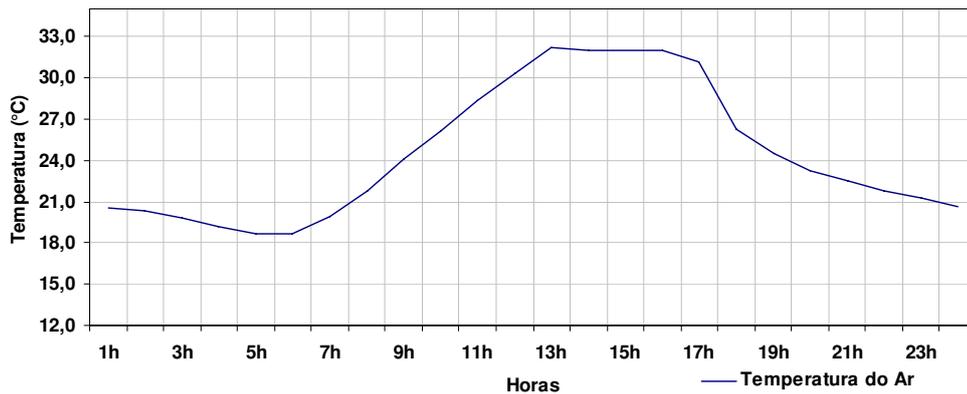


Figura 4.37 – Curva da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada oeste

Na série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal, martelado), quando estava sendo avaliada a fachada norte, a célula-teste que alcançou valores de temperatura interna do ar mais elevados foi a célula-teste fechada com o vidro Martelado, com 25°C (Figura 4.38), por volta de 16 horas, enquanto a temperatura externa do ar nesse horário era de 27,2°C (Figura 4.39). Analisando os vidros da série B, percebe-se que os valores da temperatura interna atingem um pico quando o ambiente está fechado com o vidro Martelado; convém frisar que a diferença entre os valores de temperatura do ambiente interno e externo é pequena, em torno de 2°C, com o vidro locado na fachada norte.

Na célula-teste fechada com o vidro Aramado foi registrada a menor temperatura interna do ar, com 16°C às 7 horas da manhã. (Figura 4.38), enquanto a temperatura externa do ar nesse momento era na ordem de 15,9°C.

Vale ressaltar que a variação diária da temperatura interna do ar na célula-teste com abertura na fachada norte e série B foi de 8,8°C, enquanto a variação diária da temperatura externa do ar foi de 11,2°C.

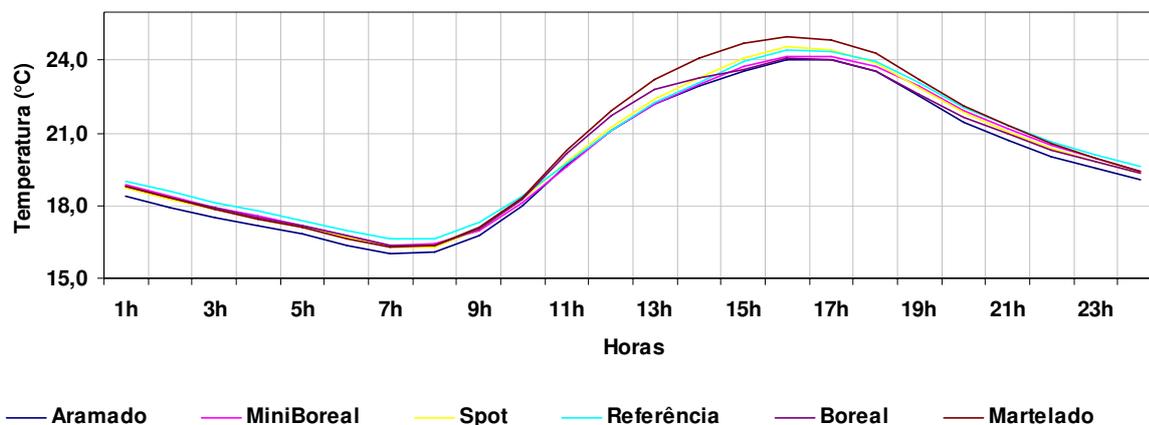


Figura 4.38 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada norte

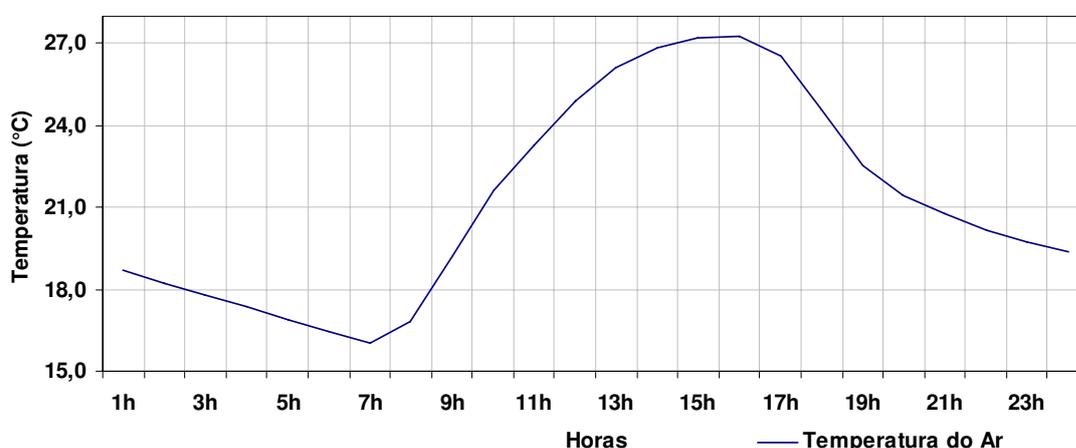


Figura 4.39 – Curva da média da temperatura externa do ar com a série B, fachada norte

Com esses vidros (série B) posicionados na fachada oeste das células-teste, a temperatura interna do ar atingiu seu pico de 34,9°C na célula-teste fechada também com o vidro Martelado às 17 horas (Figura 4.40). Nesse mesmo horário, a temperatura externa do ar registrava 30,8°C. Deve-se salientar que o ambiente fechado com o vidro Martelado atinge temperaturas internas superiores à temperatura do ambiente externo. O fato pode estar relacionado ao tipo de vidro, que permite uma maior absorção do que transmissão da radiação; verifica-se que na região do visível sua transmissão é de 52% e no infravermelho de 43%; é uma transmissão baixa para um vidro incolor de 4mm de espessura. Em decorrência de uma baixa transmissão de radiação e uma elevada temperatura interna do ar, a radiação deve estar sendo absorvida e, posteriormente, reenviada para o ambiente interno, na forma de calor, elevando a temperatura interna do ambiente.

A célula-teste fechada com o vidro Martelado atingiu as menores temperaturas internas do ar, com 18,5°C às 8 horas da manhã. (Figura 4.40), enquanto a temperatura externa do ar, nesse momento, registrava 17,3°C (Figura 4.41).

Vale ressaltar que a variação diária da temperatura interna do ar na célula-teste com abertura na fachada oeste e série B foi de 16,4°C, enquanto a variação diária da temperatura externa do ar foi de 14,2°C.

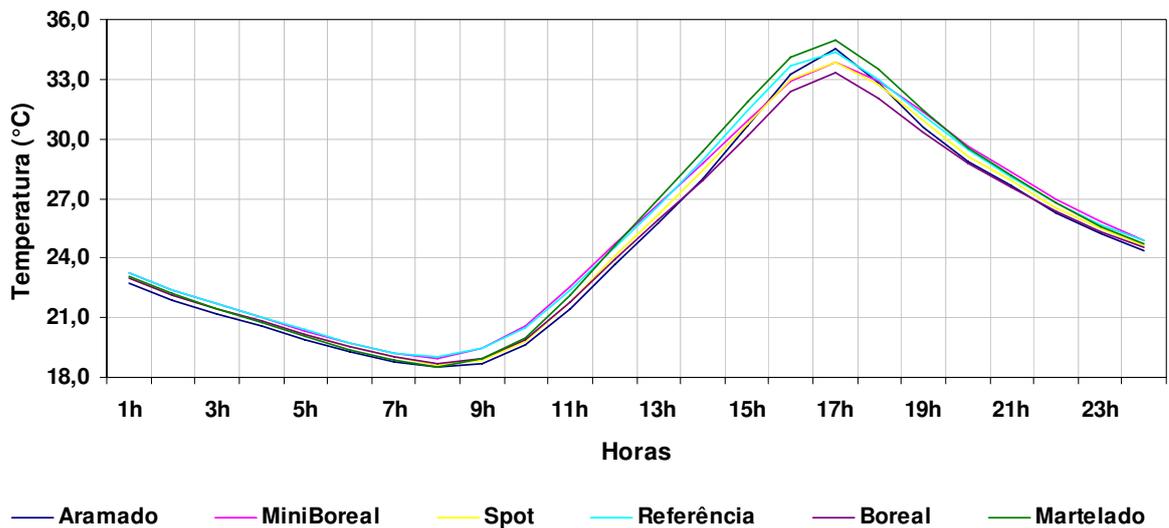


Figura 4.40 – Curvas da temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada oeste

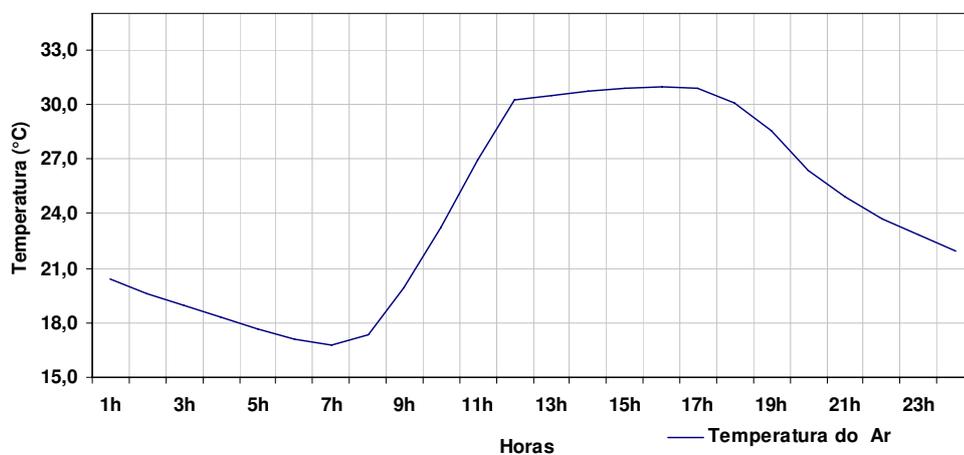


Figura 4.41 – Curva da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série B, fachada oeste

A partir dos dados expostos até o momento, pode-se salientar que a temperatura interna do ar alcançou seu ponto máximo e mínimo quando as células-teste estavam fechadas com os vidros Spotlyte, Referência e Martelado: no horário entre 6 e 7 horas da manhã, o valor mais baixo e, entre 16 e 17 horas, o valor mais alto. Deve-se destacar que a célula-teste fechada com o vidro Martelado atingiu várias vezes valores da temperatura interna do ar superiores aos da temperatura externa do ar, como pode ser visualizado na Tabela 4.8, e também foi com a célula-teste fechada com o vidro Martelado que ocorreu a maior diferença entre o ponto máximo e mínimo de temperatura interna do ar.



Tabela 4.5 – Síntese dos resultados da temperatura do ar obtidos na estação do inverno

Série Avaliada	Fachada Avaliada	Valor da Temperatura Interna do ar (°C)				Valor da Temperatura Externa do ar (°C)	
		Máxima	Vidro	Mínima	Vidro	Máxima	Mínima
A	Norte	27,8	Spotlyte	17,3	Spotlyte	31,1	17,1
	Oeste	30,8	Referência	19,5	Spotlyte	32	19,9
B	Norte	25	Martelado	16	Aramado	27,2	15,9
	Oeste	34,9	Martelado	18,5	Martelado	30,8	17,3

4.2.4.1.2 Outono

Na série A (oásis, canelado, teorema, referência, rideau, spotlyte), instalada na fachada norte na estação do outono, pode-se constatar que a célula-teste que apresentou temperatura interna do ar com valor mais elevado de 29,7°C foi com o vidro Spotlyte, às 17 horas. (Figura 4.42), enquanto a temperatura externa do ar registrada, nesse momento, foi de 31,4°C (Figura 4.43).

Avaliando a série A, a temperatura interna do ar mais baixa também foi com a célula-teste fechada com o vidro Spotlyte com 18,3°C às 8 horas da manhã. (Figura 4.42). A temperatura externa do ar, nesse mesmo horário, era de 20,2°C (Figura 4.43), porém não foi nesse horário que foi registrado o menor valor da temperatura externa do ar. A temperatura externa do ar mais baixa aconteceu às 7 horas da manhã, com 18,8°C.

É importante salientar que as curvas de temperatura interna do ar caminham com valores muito próximos; a diferença entre os valores máximos de temperatura interna do ar registrados foi 1,4°C, encontrou-se 29,7°C com o vidro Spotlyte e 28,3°C com o vidro Rideau, às 17 horas.

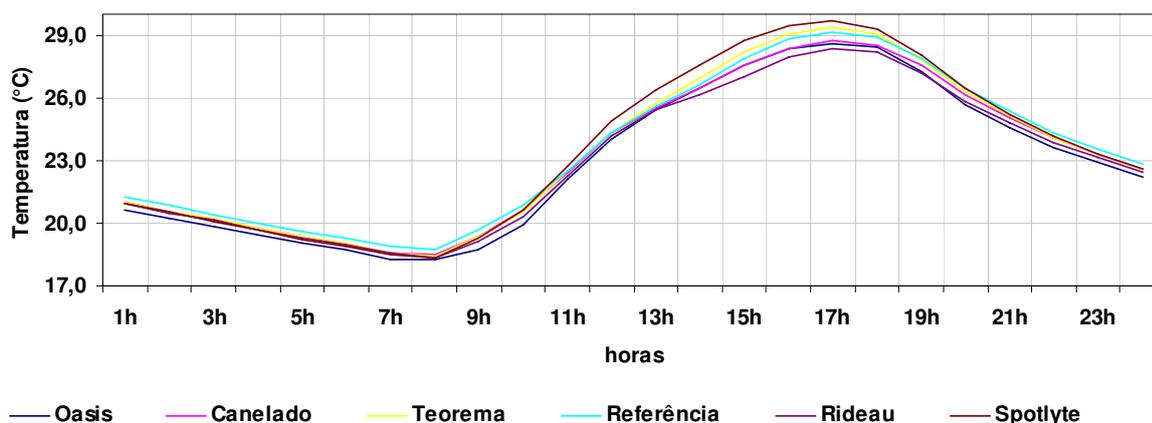


Figura 4.42 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada norte

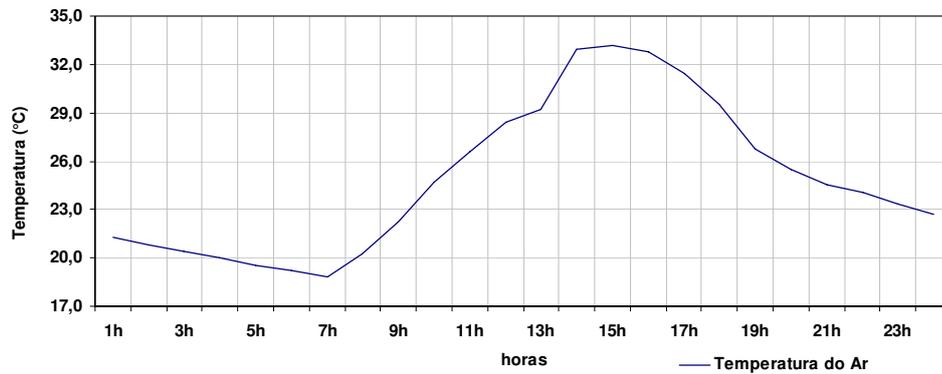


Figura 4.43 – Curva da média da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada norte

Com a série A locada nas células-teste na fachada oeste, observou-se que a célula-teste com o vidro Referência apresentou temperatura interna do ar mais elevada, com o valor de 30,8°C, por volta das 17 horas (Figura 4.44). A temperatura externa do ar, nesse mesmo horário, era de 28,9°C (Figura 4.45).

Vale ressaltar que 19,8°C foi o menor valor registrado da temperatura interna do ar com o vidro Referência, às 7 horas da manhã, portanto uma variação diária de 11°C dentro da célula-teste fechada com o vidro Referência, enquanto a variação diária da temperatura externa do ar foi de 8,8°C.

Os valores mais baixos da temperatura interna do ar aconteceram com a célula-teste fechada com o vidro Spotlyte, de 19,3°C, às 7 horas da manhã, porém os menores valores registrados da temperatura externa do ar aconteceram às 8 horas da manhã com 20,1°C.

É importante salientar que as curvas de temperatura interna do ar caminham com valores próximos, porém nessa fachada a diferença entre os valores máximos de temperatura interna do ar registrados aumentaram para 2,5°C: encontrou-se 30,8°C com o vidro Referência e 28,3°C com o vidro Canelado, às 17 horas.

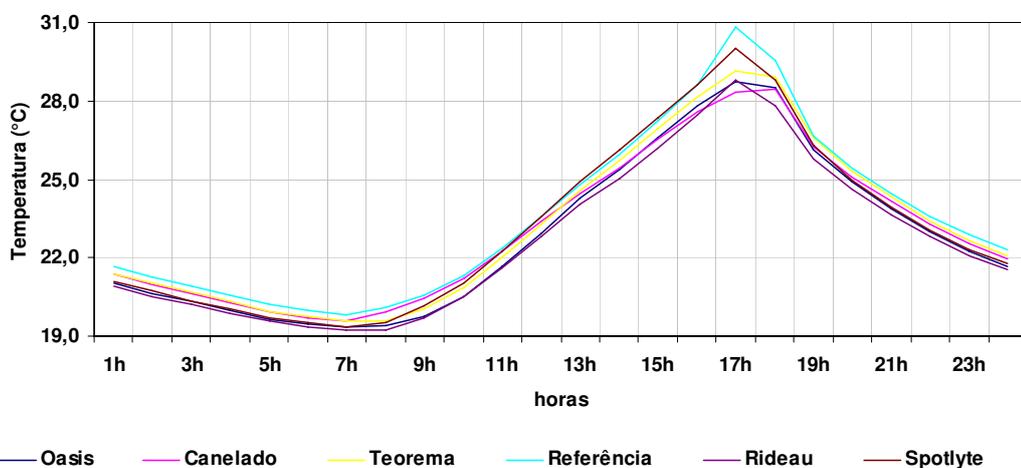


Figura 4.44 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série A, fachada oeste

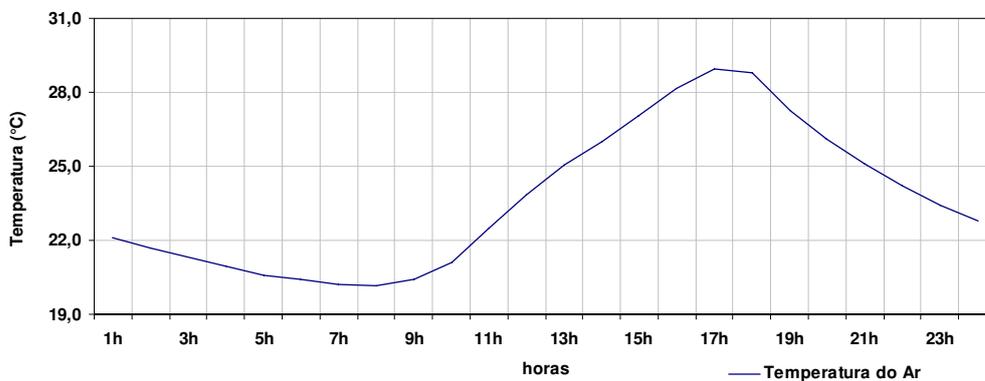


Figura 4.45 – Curva da média da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série A, fachada oeste

Na série B (aramado, miniboreal, spot, referência, boreal, martelado) instalada na fachada norte na estação do outono, observou-se que a célula-teste que apresentou temperatura interna do ar mais elevada em 28,6°C foi com o vidro Martelado, às 16 horas. (Figura 4.46). A temperatura externa do ar era de 25,6°C, nesse horário (Figura 4.47).

Os valores mais baixos de temperatura interna do ar da série B na fachada norte aconteceram na célula-teste fechada com o vidro Aramado de 17,5°C, às 7 horas da manhã, e que a temperatura externa do ar, nesse momento, registrava também 17,7°C, porém o valor mais baixo da temperatura externa do ar foi de 17,3°C, às 8 horas da manhã.

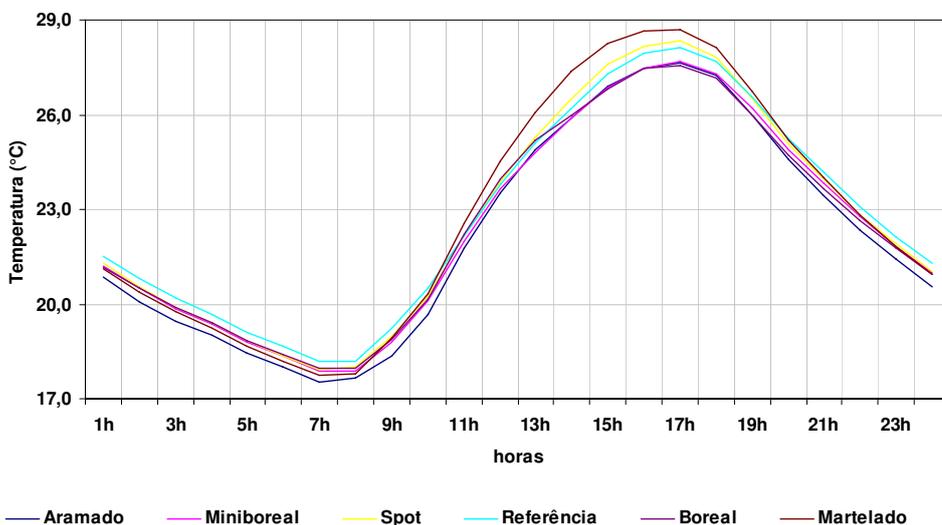


Figura 4.46 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada norte

Com a série B locada na fachada oeste, a temperatura interna do ar atingiu valores mais elevados de 27,4°C na célula-teste fechada com o vidro Referência, às 17 horas (Figura 4.48). A temperatura externa do ar, nesse mesmo horário, era de 30°C. (Figura 4.49)

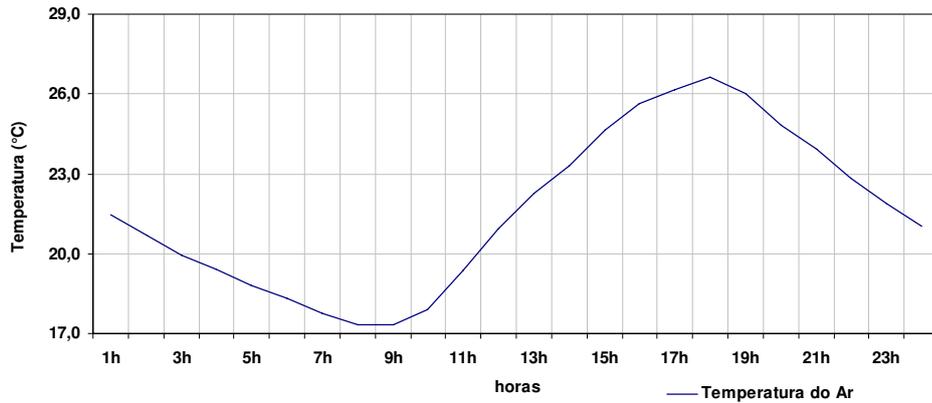


Figura 4.47 – Curva da média da temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série B, fachada norte

E os menores valores da temperatura interna do ar registrados foram nas células-teste fechadas com o vidro Aramado de 19,8°C, às 9 horas da manhã; nesse momento, a temperatura externa do ar registrava 21,2°C, porém o menor valor da temperatura externa do ar foi de 20,2°C, às 7 horas da manhã.

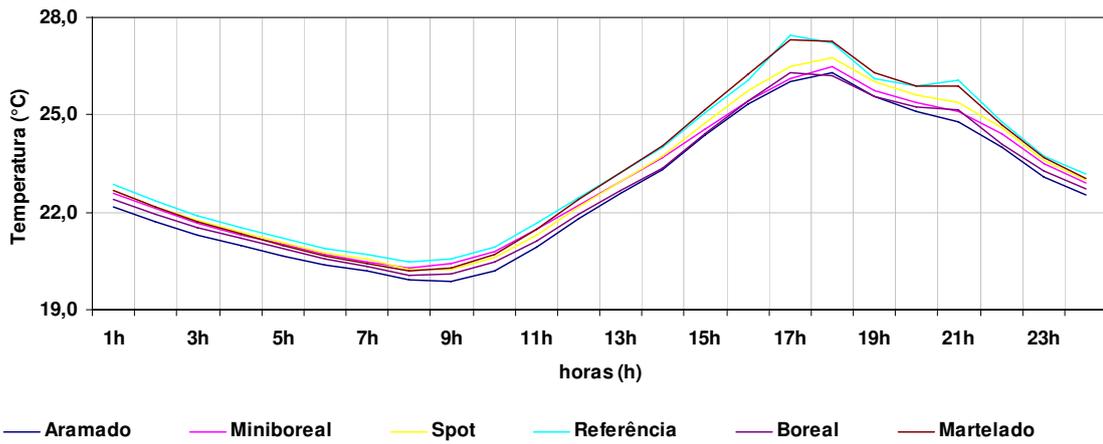


Figura 4.48 – Curvas de temperatura interna do ar nas células-teste com a série B, fachada oeste

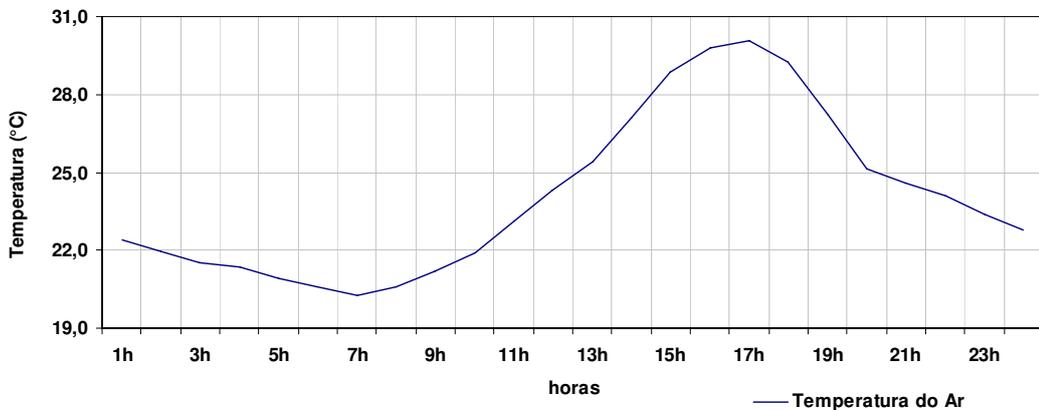


Figura 4.49 – Curva da média de temperatura externa do ar quando estavam sendo avaliadas as células-teste com a série B, fachada oeste



Pode-se perceber que a temperatura interna do ar atingiu valores mais elevados quando as células-teste eram fechadas com os vidros Martelado, Referência e Spotlyte, chegando a alcançar, nos casos do Martelado e Referência, valores até mais elevados que a temperatura externa do ar. Esses vidros possuem 4mm de espessura e são enquadrados como vidro impresso e plano, respectivamente, ambos incolores. O vidro Spotlyte é um vidro de 8mm de espessura, possui poucas irregularidades na superfície, com o menor valor do PRT de 0,047mm e também é um vidro incolor.

A variação de temperatura interna do ar nas células-teste fechadas com os vidros impressos tanto da série A como os da série B na estação do outono é muito baixa, até mesmo com vidros com espessura mais elevadas, como é o caso do vidro Spotlyte (8mm) e do vidro Aramado (6mm) (Tabela 4.9), que, por possuir maior espessura, poderia absorver em maiores proporções a radiação, que posteriormente reenviaria para o ambiente interno na forma de calor. De acordo com os dados obtidos, pode-se constatar que a diferença máxima de temperatura interna do ar nas células-teste fechadas com diferentes vidros translúcidos foi de 2,5°C, entre os vidros Referência e o Canelado. (Figura 4.44)

Tabela 4.6 – Síntese dos resultados da temperatura do ar obtidos na estação do outono

Série Avaliada	Fachada Avaliada	Valor da Temperatura Interna do ar (°C)				Valor da Temperatura Externa do ar (°C)	
		Máxima	Vidro	Mínima	Vidro	Máxima	Mínima
A	Norte	29,7	Spotlyte	18,3	Spotlyte	31,4	20,2
	Oeste	30,8	Referência	19,3	Spotlyte	28,9	20,1
B	Norte	28,7	Martelado	17,5	Aramado	25,6	17,3
	Oeste	27,4	Referência	19,8	Aramado	30	20,2

4.2.4.2 Temperatura Superficial Interna - TSI e Temperatura Superficial Externa - TSE do Vidro

Nos vidros das aberturas das células-teste foram fixados, um sensor no centro da superfície interna, para obter os valores da temperatura superficial interna do vidro e outro, no centro da superfície externa do vidro, para obter a temperatura superficial externa do vidro. Este processo foi realizado para os 10 vidros translúcidos analisados mais o vidro referência, no período de uma semana para cada série (A e B), em cada fachada (N e S) e para as duas estações do ano, inverno e outono.

Observou-se que as temperaturas superficiais internas dos vidros registraram valores mais altos que a temperatura superficial externa. Em algumas medições com os vidros Oásis e Spotlyte, foi obtido o mesmo valor para as temperaturas superficiais internas e externas, no mesmo horário.

Para facilitar a compreensão da apresentação dos resultados e discussão, serão evidenciados somente os vidros que se destacaram por alcançarem as maiores temperaturas superficiais internas e externas.

4.2.4.2.1 Inverno

Na fachada norte as curvas de temperatura superficial interna do vidro atingem valores mais elevados por volta das 13h30. Registraram-se valores de 34°C no vidro Referência (Figura 4.50); nesse momento, a temperatura superficial externa era de 26,4°C (Figura 4.51), uma diferença de 7,6°C. O vidro Spotlyte também apresentou elevadas temperaturas superficiais internas de 35,2°C (Figura 4.52), porém nesse mesmo horário a temperatura superficial externa também registrava 35,2°C (Figura 4.53). Portanto, mesmo se tratando de um vidro com espessura de 8mm, registrou-se a mesma temperatura para a superfície interna e externa da lâmina de vidro.

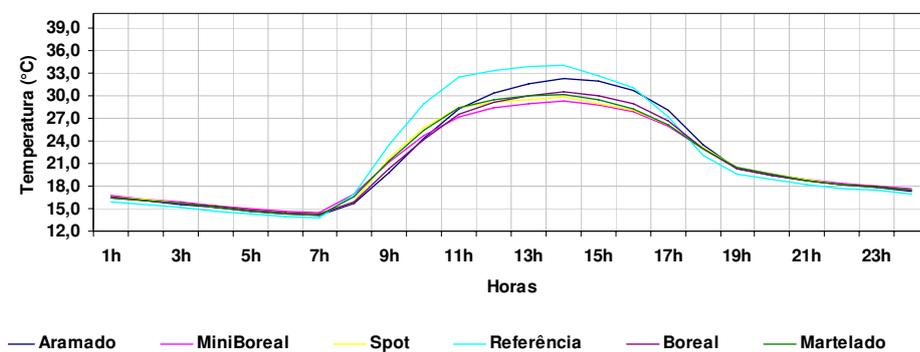


Figura 4.50 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada norte no inverno

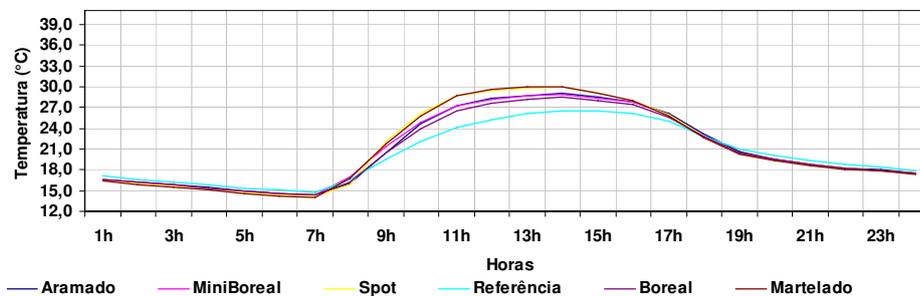


Figura 4.51 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada norte no inverno

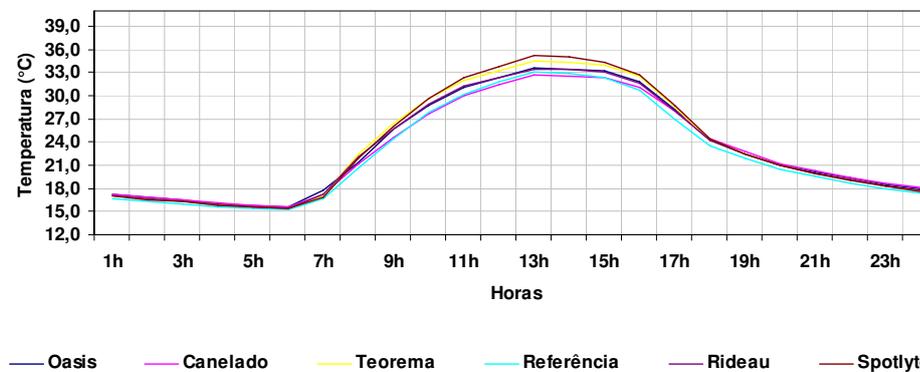


Figura 4.52 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada norte no inverno

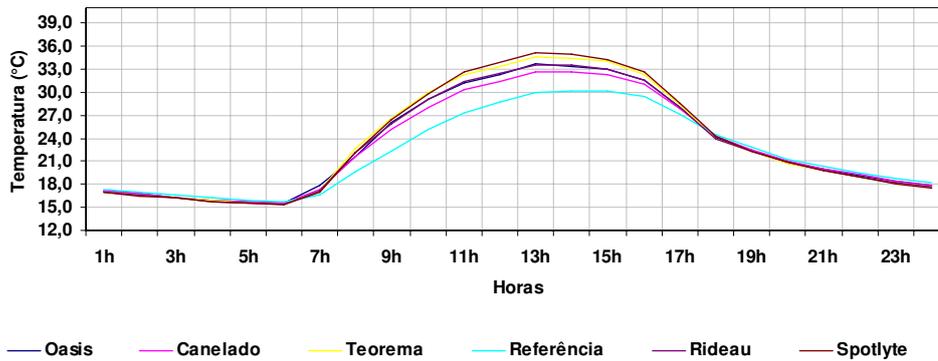


Figura 4.53 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada norte no inverno

Na fachada oeste, observou-se que o pico da temperatura superficial interna do vidro aconteceu por volta das 15h30. Nessa fachada, os valores de temperatura superficial interna do vidro foram mais elevados, quando comparados com a fachada norte.

O vidro Spotlyte apresentou 40,1°C de TSI (Figura 4.54) e no mesmo horário registrava-se 35,4°C de TSE (Figura 4.55), uma diferença de 4,7°C. O vidro Referência também se destacou, devido à sua elevada temperatura superficial interna, que foi de 48,6°C (Figura 4.56), e com temperatura superficial externa de 38,9°C, no mesmo horário. (Figura 4.57). Uma diferença significativa de 9.7°C.

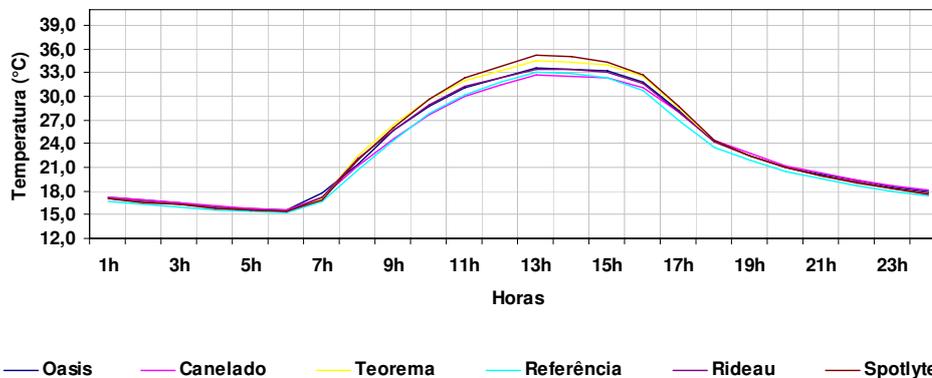


Figura 4.54 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada oeste no inverno

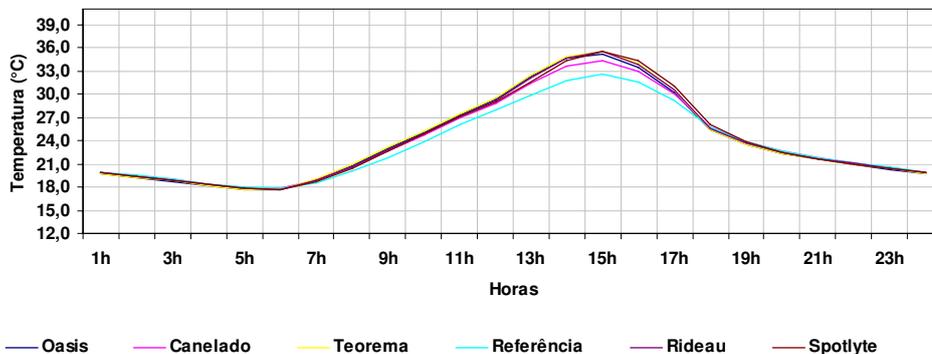


Figura 4.55 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada oeste no inverno

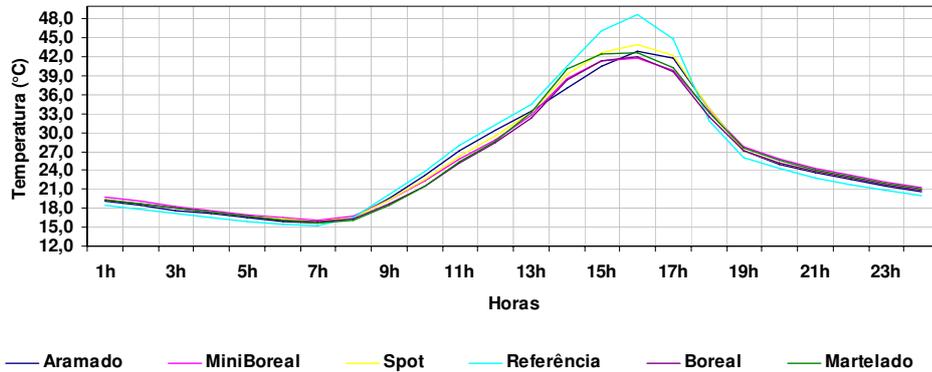


Figura 4.56 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada oeste no inverno

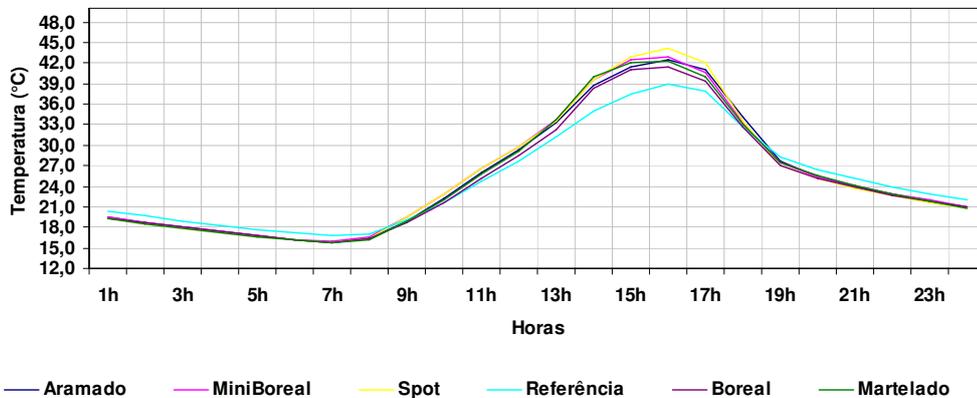


Figura 4.57 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada oeste no inverno

Com relação às Temperaturas Superficiais Externas dos vidros (TSE), as curvas apresentaram seus valores mais elevados na fachada norte por volta das 13 horas. Foram registrados 29,9°C no vidro Martelado (Figura 4.58); nesse mesmo horário, a temperatura superficial interna do vidro era de 30°C (Figura 4.50), valores que podem ser considerados baixos para a temperatura da superfície de vidro de uma fachada. Outro vidro que se deve citar devido ter obtido maiores temperaturas, quando comparado com os demais, foi o vidro Spotlyte, com 35,2°C (Figura 4.53); nesse mesmo horário, media-se também 35,2°C para a temperatura superficial interna. (Figura 4.52).

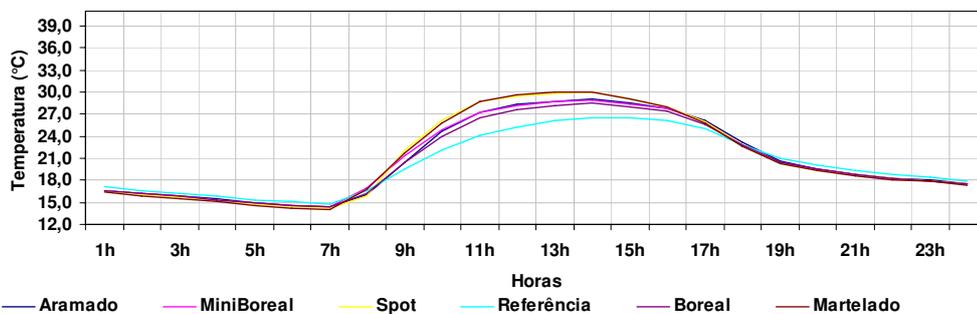


Figura 4.58 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada norte no inverno



Tratando-se da fachada oeste, o pico de temperatura superficial externa do vidro aconteceu por volta de 15h30. Na fachada oeste, os valores da temperatura superficial externa são mais elevados; registraram-se 44°C no vidro Spot (Figura 4.57), enquanto a temperatura superficial interna também era de 44°C nesse horário (Figura 4.56). O vidro possui 4mm de espessura e até o momento da análise não tinha se destacado com altas temperaturas. Em seguida ao vidro Spot, aparece o Spotlyte, que apresentou 35,4°C de temperatura superficial externa (Figura 4.55), enquanto a temperatura superficial interna nesse momento era de 40,1°C (Figura 4.54), como já foi citado anteriormente.

Analisando os resultados apresentados, observa-se que as temperaturas mais elevadas, tanto na superfície interna com na superfície externa, acontecem com os vidros locados na fachada oeste, no período entre 15 e 16 horas. Esse fato pode estar correlacionado à incidência direta da radiação solar na superfície do vidro, e também por ser o horário com temperaturas mais elevadas do dia. A radiação solar incide na superfície externa do vidro, elevando a temperatura da superfície externa do vidro e, conseqüentemente, por condução eleva os valores da temperatura superficial interna do vidro; esse calor, posteriormente, com a diferença de temperatura entre as superfícies, pelos processos de radiação e convecção será transportado para o ambiente interno.

Percebe-se também que os vidros Spotlyte (TSI = 40,1°C) e Referência (TSI = 48,6°C) apresentaram as temperaturas superficiais internas do vidro com os valores mais elevados de todos os vidros analisados; os dois vidros possuem os menores valores do PRT, ou seja, são vidros que apresentam em sua superfície as menores irregularidades. Vale salientar que o vidro Spotlyte possui 8mm de espessura e o Referência 4mm. Portanto, constata-se que o fator “rugosidade” da superfície do vidro influencia mais na temperatura superficial dos mesmos que o fator espessura, apesar de outros vidros translúcidos obterem altas temperaturas superficiais, como os vidros Martelado (TSI = 30°C) e Spot (TSI = 44°C).

4.2.4.2.2 Outono

As curvas de temperatura superficial interna do vidro apresentaram seus ápices por volta das 14h30 e seu valor mais baixo por volta das 7 horas, na fachada norte. Chegaram a atingir valores de 47,3°C com o vidro Spotlyte (Figura 4.59), enquanto a temperatura superficial externa neste momento media 35,8°C. Às 7 horas da manhã possuía o valor da temperatura superficial interna mais baixo dos vidros translúcidos da série A na fachada norte, de 15,7°C, ou seja, uma amplitude de temperatura de 31,6°C.

Outro vidro que atingiu grandes temperaturas superficiais internas foi o vidro Referência com 43,7°C (Figura 4.60), porém sua temperatura superficial externa nesse mesmo horário era de 31,6°C. A diferença entre as temperaturas superficiais internas e externas nestes vidros foi bastante significativa, chegando a 12,1°C. E vale ressaltar que são vidros com espessuras diferentes: o Spotlyte possui 8mm e

o Referência 4mm, porém são os dois vidros que possuem os menores PRT, ou seja, as menores irregularidades na superfície, quando comparados aos vidros translúcidos analisados. E também apresentaram as maiores temperaturas superficiais internas.

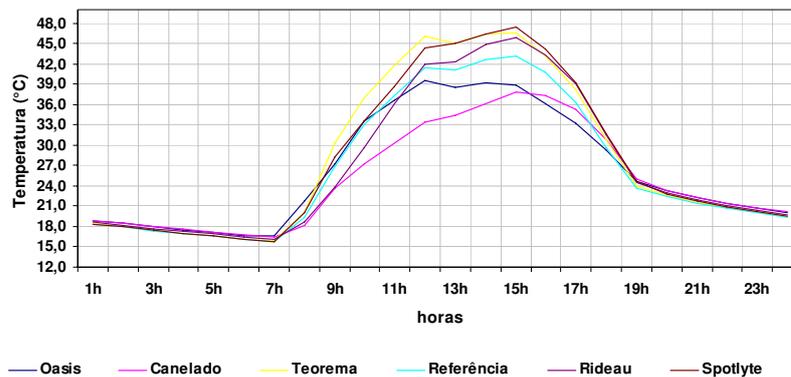


Figura 4.59 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada norte no outono

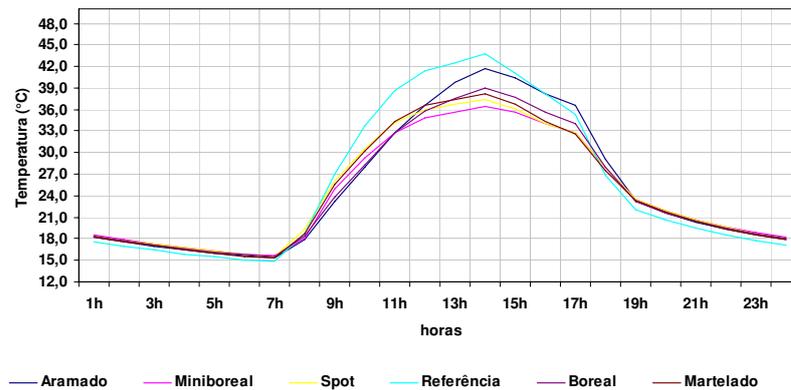


Figura 4.60 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada norte no outono

Quando se parte para avaliar a fachada oeste, observa-se que a temperatura superficial interna do vidro alcança seu ápice só por volta das 15h30, registrando valores de 35,8°C no vidro Oásis (Figura 4.61), e que, coincidentemente, a temperatura superficial externa do vidro Oásis registrada nesse momento também foi de 35,8°C.

O vidro Aramado também atingiu temperaturas superficiais internas elevadas: foram registrados 30,1°C na fachada oeste (Figura 4.62) e 41,6°C na fachada norte (Figura 4.60), enquanto as temperaturas superficiais externas nesse momento eram de 30,3°C e 35,9°C, respectivamente.

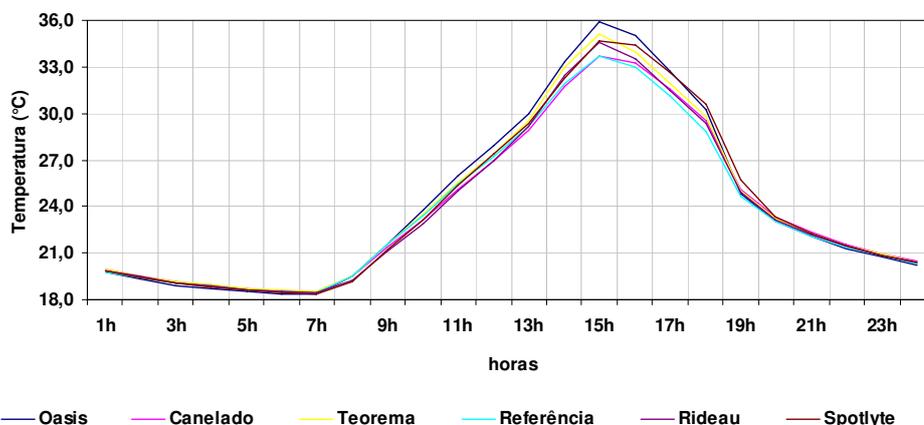


Figura 4.61 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série A, fachada oeste no outono

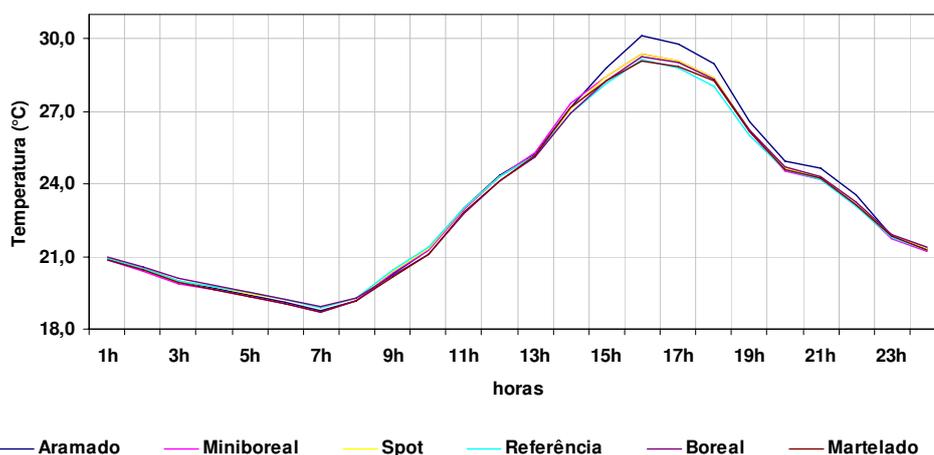


Figura 4.62 – Curvas de temperatura superficial interna do vidro com a série B, fachada oeste no outono

As curvas de temperatura superficial externa do vidro apresentaram seus valores mais elevados por volta das 14h30 na fachada norte. Chegaram a alcançar valores de 37,4°C no vidro Martelado (Figura 4.63), enquanto sua temperatura superficial interna nesse momento era de 38,1°C (Figura 4.60). Também foi o vidro Martelado que atingiu as menores temperaturas superficiais externas às 7 horas, de 14°C. O vidro Canelado também registrou elevadas temperaturas superficiais externas de 37,1°C (Figura 4.64), porém sua temperatura superficial interna nesse momento foi de 37,8°C. (Figura 4.59)

Tratando-se da fachada oeste, constatou-se que a temperatura superficial externa do vidro atinge seus valores mais elevados por volta das 15h30, registrando valores de 35,8°C no vidro Oásis (Figura 4.65), e a temperatura superficial interna nesse momento também registrava 35,8°C (Figura 4.61). Outro vidro que atingiu elevadas temperaturas nesta fachada foi o vidro Aramado, com 30,3°C (Figura 4.66), e sua temperatura superficial interna nesse momento era de 30,1°C (Figura 4.62).

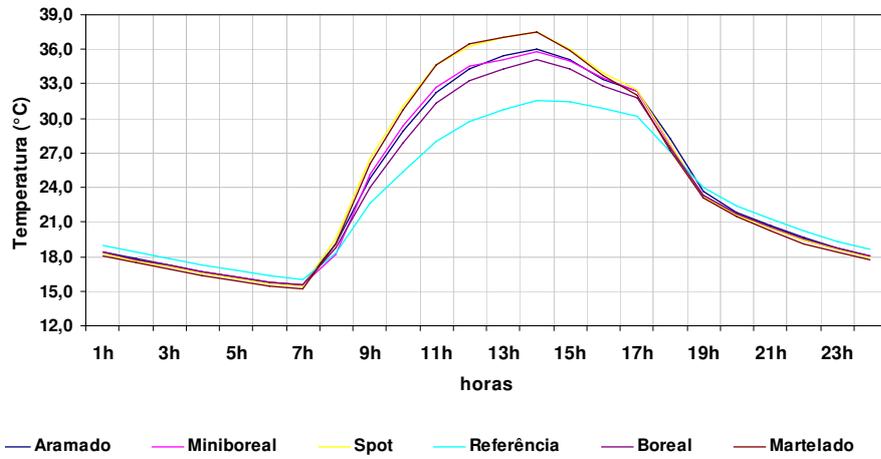


Figura 4.63 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada norte no outono

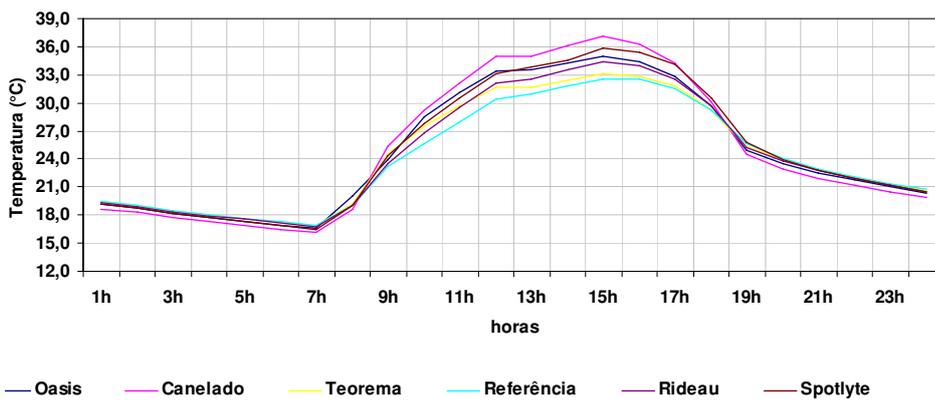


Figura 4.64 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada norte no outono

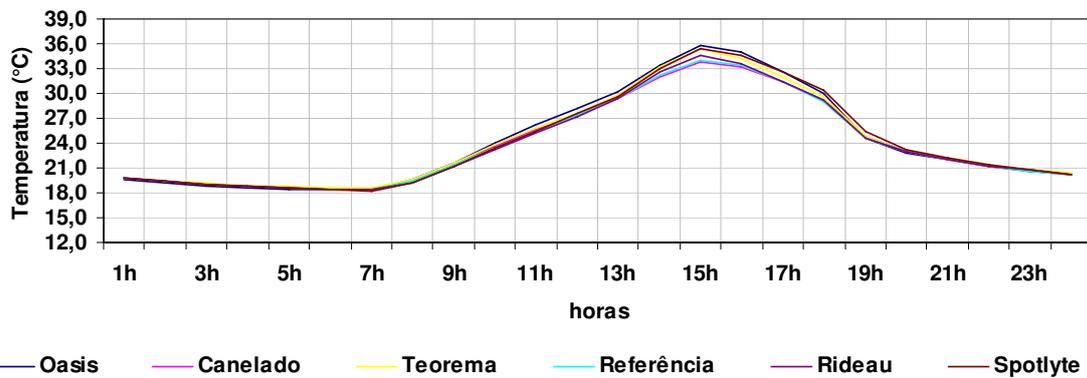


Figura 4.65 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série A, fachada oeste no outono

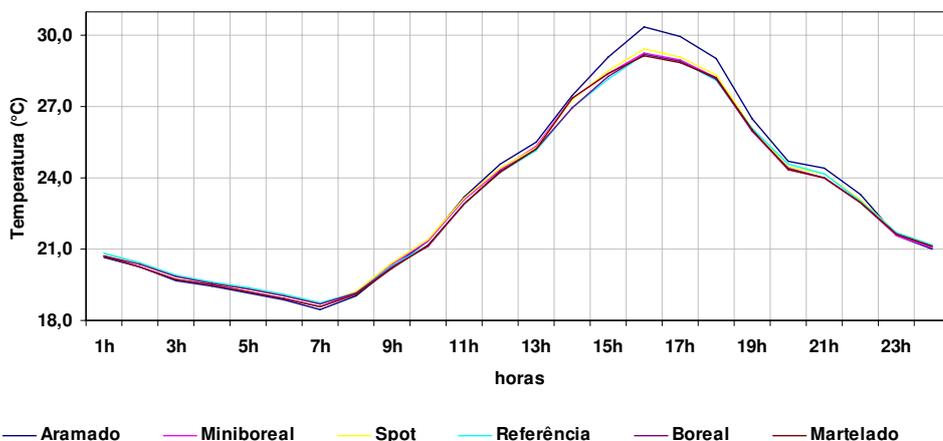


Figura 4.66 – Curvas de temperatura superficial externa do vidro com a série B, fachada oeste no outono

Analisando a fachada oeste, observa-se que não existiram significantes diferenças de temperatura superficial interna e externa do vidro; constatou-se um fato interessante, onde foram registrados 35,8°C na temperatura superficial interna e externa do vidro Oásis. O fato pode ser explicado devido o material vidro possuir alta condutância térmica: de 1,20W/m²K (Rivero, 1985). Ele conduz mais calor e mais rapidamente que, por exemplo, o policarbonato, com 0,21W/m²K (GE Plastics, s/d); por isso, os valores de temperatura detectados no meio externo são rapidamente observados no meio interno.

A temperatura superficial externa do vidro geralmente apresenta valores menores que a temperatura superficial interna, porém esse fato não aconteceu com o vidro Aramado, pois, quando o vidro Aramado estava locado na fachada oeste, registrou-se um pico de temperatura superficial interna de 30,1°C, enquanto a temperatura superficial externa atingia 30,3°C, proporções pequenas, podendo ser irrisórias.

4.2.4.2.3 Vidro Transparente e Translúcido

Por meio das figuras 4.53, 4.55, 4.57, 4.58, 4.63, 4.64, 4.65, observa-se que a temperatura superficial externa do vidro referência, que é um vidro transparente plano de 4mm de espessura, atinge temperaturas com valores mais baixos que os vidros translúcidos; o fato acontece nas fachadas norte e oeste e nas duas épocas do ano analisadas, outono e inverno. Porém é o vidro referência que atinge os valores mais altos da temperatura superficial interna.

O fato pode estar correlacionado a o vidro referência estar absorvendo em maiores proporções a radiação solar que os vidros translúcidos. E absorve mais que os vidros com maiores espessuras, como é o caso dos vidros Aramado de 6mm de espessura e o Spotlyte de 8mm de espessura, que teoricamente deveriam absorver mais que o plano de 4mm de espessura. Assim, pode-se observar que o vidro transparente absorve em maiores proporções, quando comparado com os vidros translúcidos. Contudo,

esse fato somente influencia os valores na temperatura interna do ar das células-teste quando o vidro se encontra instalado na fachada oeste (Figuras 4.44 e 4.36). Quando se analisa a fachada norte, os valores de temperatura interna do ar são similares, independente se a célula-teste está fechada com vidro transparente ou translúcido (Figuras 4.42 e 4.34).

De acordo com Michelato et al. (2005), a temperatura superficial do vidro fumê chega a alcançar 58°C, portanto é um vidro absorvente e nenhum vidro translúcido atingiu valores de temperatura superficial tão elevados.

4.2.4.3 Temperatura da Parede Oposta

Também foram medidos os valores da temperatura da superfície interna da parede oposta à que estava sendo avaliada. Quando o vidro analisado estava fixado na fachada norte, era medida a temperatura da superfície interna da parede sul, e quando fixado na fachada oeste, era medida a temperatura da superfície interna da parede leste.

Os perfis das curvas de temperatura da parede oposta foram parecidos em todas as células-teste com os 10 vidros translúcidos analisados e com o vidro referência. Os valores de temperaturas mais baixos foram detectados por volta das 8 horas, e os mais altos às 18 horas.

As paredes opostas das células-teste que atingiram temperaturas mais elevadas foram nas células-teste fechadas com os vidros Spotlyte, com 28°C, às 18 horas, na estação do outono, quando estava sendo avaliada a fachada norte. E com o vidro Martelado, com 32,5°C, às 18 horas, na estação do inverno, sendo avaliada a fachada oeste (Figuras 4.67 e 4.68).

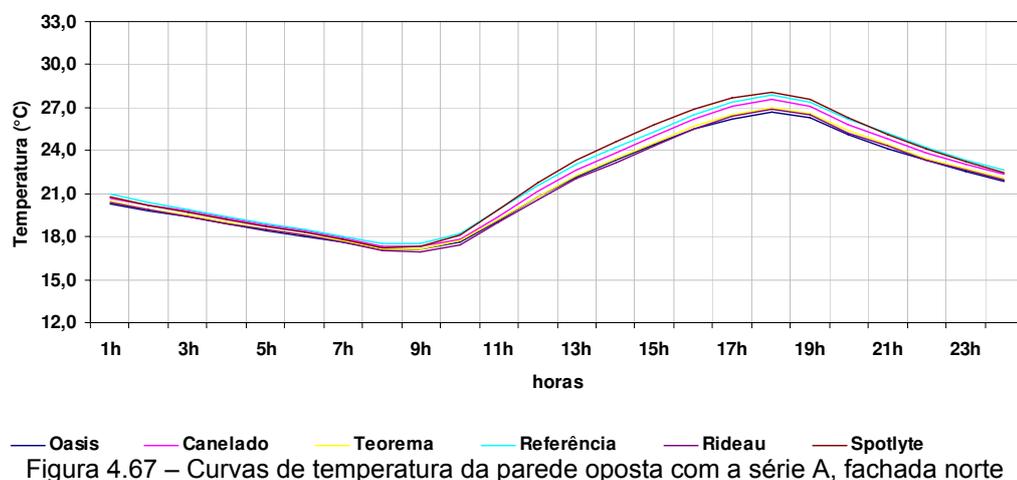


Figura 4.67 – Curvas de temperatura da parede oposta com a série A, fachada norte

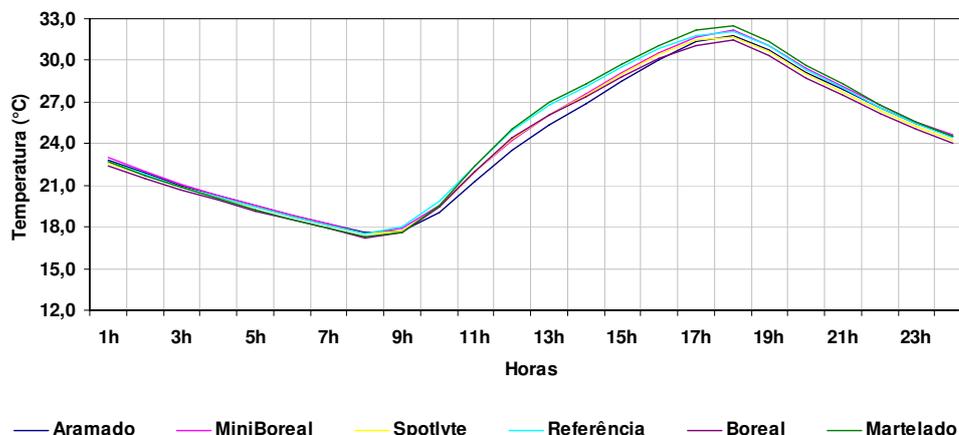


Figura 4.68 – Curvas de temperatura da parede oposta com a série B, fachada oeste

O comportamento das curvas de temperatura da parede oposta apresenta comportamento similar às curvas de temperatura do ar, a diferença percebida acontece na antecipação dos horários onde se constata os valores mais altos e mais baixos da temperatura do ar, que é por volta das 6 horas e 15 horas, na fachada norte e 6 horas e 17 horas, na fachada oeste, respectivamente. Essa antecipação de horário é explicada em função do atraso e amortecimento térmico comum nos fechamentos das edificações.

4.2.5 Nível de Iluminância

O nível de iluminância nas células-teste foi obtido por meio de medições realizadas em um ponto central das mesmas, a uma altura de 75cm do piso, no horário das 15 horas, no período que estava sendo avaliada a fachada oeste. A iluminância externa foi medida simultaneamente. Esses critérios foram estipulados visando a garantir o fato de se ter a certeza de que havia a incidência da radiação na superfície de vidro e, conseqüentemente, a transmissão da radiação na região do espectro referente ao visível para o interior da célula-teste.

Por meio dos valores de iluminância interna e externa de cada célula-teste, foi possível calcular o Fator de Luz do Dia – FLD, que é a razão entre esses dois valores e é expresso em porcentagem. O Fator de Luz do Dia é considerado como a forma mais real de se medir iluminação natural, pois possui a vantagem de ser uma relação que permanece constante, mesmo variando a luminosidade externa.

O Fator de Luz do Dia foi calculado a partir dos valores de iluminância interna e externa, simultaneamente, obtidos nas medições realizadas no mês de março de 2006, e podem ser visualizados através da Tabela 4.10. Constataram-se valores bem elevados, pois, de acordo com a IES (Illuminating Engineering Society, 1961), observam-se valores para diversos ambientes com percentuais inferiores, por exemplo, para a cozinha de 2%, dormitório de 0.5% e sala desenho de 6%.

Foram às células-teste fechadas com os vidros Boreal e Teorema que atingiram o maior FLD, com 5% da luz disponível no exterior, e também foram esses vidros que apresentaram elevadas porcentagens de transmissão na região do visível, com 67% e 60%, respectivamente. No vidro Teorema, a relação entre a transmissão no visível e infravermelho foi de 1.5 e a transmissão na região do visível foi de 60%. Seu $PRT = 0.07$, portanto a irregularidade na superfície possui pequenas alturas, ou melhor, é um vidro translúcido com superfície com valores de irregularidades insignificantes quando comparado com os demais vidros translúcidos.

Nas células-teste fechadas com os vidros Miniboreal, Spotlyte, Canelado e Martelado, foram encontrados os valores mais baixos do FLD, de 3%. Apesar de o vidro Spotlyte ser o vidro translúcido com maior transmissão na região do visível, com 71%, o vidro Canelado é enquadrado como o translúcido que menos transmite na região do visível, com 27%. As células-teste fechadas com esses vidros apresentaram FLD “baixo”, quando comparado com as demais células-teste fechadas com os outros vidros translúcidos, porém, $FLD = 3\%$ é um valor adequado e recomendado para diversos ambientes de uma edificação.

Tabela 4.7 - Valores do Fator de Luz do Dia

Vidros	Fator de Luz do Dia - FLD (%)
Aramado	4,0
Miniboreal	3,0
Oásis	4,0
Spotlyte	3,0
Rideau	4,0
Boreal	5,0
Teorema	5,0
Spot	4,0
Martelado	3,0
Canelado	3,0

4.3 Irregularidade na Superfície do Vidro e o Ganho de Calor

No vidro Canelado, constatou-se a transmissão mais baixa na região do ultravioleta, visível e infravermelho, também foi o vidro translúcido com maior irregularidade em sua superfície, com o maior valor registrado do PRT ($PRT=1,50$). O vidro obteve o menor valor da relação visível/infravermelho ($RVI=1.0$) e a menor transmissão na região do visível, de 27%. Porém a célula-teste fechada com o vidro Canelado não apresentou altas temperaturas internas do ar, independente da estação do ano e da orientação da fachada avaliada. Convém ressaltar que foi a célula-teste fechada com o vidro Canelado que apresentou o valor mais baixo quando se trata das máximas temperaturas internas do ar, com $28,30^{\circ}\text{C}$, às 17 horas na fachada orientada a oeste, na estação do outono.



As células-teste fechadas com os vidros Referência, Martelado e Spotlyte atingiram os valores de temperaturas internas do ar mais elevadas, independente da orientação da fachada e da estação do ano analisada, com 30,82°C, 34,98°C e 29,70°C, respectivamente. E também foi nas células-teste fechadas com os vidros Spotlyte e Martelado que se obtiveram os valores mais elevados referentes à temperatura da parede oposta. E nas células-teste fechadas com os vidros Martelado e Referência a temperatura interna do ar atingiu valores mais elevados que a temperatura externa do ar. Por outro lado, também foi a célula-teste fechada com o vidro Martelado que registrou os valores mais baixos da temperatura interna do ar, com 16,20°C. O vidro Martelado possui 52% de transmissão na região do visível, uma relação visível/infravermelho de RVI = 1,2 e PRT = 0,83.

A diferença entre os valores obtidos referentes às temperaturas internas máximas alcançadas nas células-teste fechadas com os vidros translúcidos foi em média de 1,32°C, porém registrou-se uma diferença de temperatura interna do ar de 2,5°C entre as células-teste fechadas com os vidros Referência e Canelado. Esse valor expressivo foi registrado quando se avaliou a fachada com orientação oeste, às 17 horas e na estação do outono. Esses vidros possuem os valores mais baixos e mais elevados referentes ao PRT, respectivamente.

Em pesquisa realizada por Miana (2005), observou-se que brise constituído de vidro impresso, registrou um melhor desempenho térmico quando comparado ao vidro transparente, porém, inferior ao brise de vidro refletivo metalizado a vácuo prata. A avaliação de desempenho baseada apenas na temperatura interna do ar máxima não é suficiente, pois pode ocultar resultados, afirma Miana (2005). Seria interessante uma associação desses resultados com o nível de satisfação dos usuários e a temperatura radiante.

Ainda analisando os vidros Referência e Canelado, observa-se que os valores relativos à transmissão espectral possuem uma diferença significativa de 47%, enquanto o vidro Referência transmite 78%, o Canelado 31%. Assim, reforça a questão da influência da irregularidade na superfície do vidro com relação à transmissão espectral, e conseqüentemente, no ganho de calor no ambiente.

As maiores diferenças entre a Temperatura Superficial Interna (TSI) e a Temperatura Superficial Externa (TSE) do vidro aconteceram com os vidros Spotlyte e Referência, com 11.5°C e 12.1°C, respectivamente. Vale ressaltar que são vidros com diferentes espessuras: o Spotlyte com 8mm e o Referência com 4mm, sendo os dois vidros translúcidos que obtiveram os menores valores referentes ao PRT.

Os valores mais altos registrados da Temperatura Superficial Interna (TSI) e a Temperatura Superficial Externa (TSE) do vidro aconteceram na fachada orientada a oeste, independente da estação do ano analisada, e no período compreendido entre 15 e 16 horas. A Temperatura Superficial Interna (TSI) do vidro obteve valores mais elevados que a Temperatura Superficial Externa (TSE) do vidro, porém nos vidros Spotlyte, Spot e Oásis foram obtidos os mesmos valores para TSI e TSE, no mesmo horário de medição.

4.4 Uso dos Vidros e Policarbonatos Translúcidos

Na especificação de um material translúcido para o fechamento da edificação deve-se levar em consideração vários parâmetros associados, como:

- função do ambiente que irá receber o material translúcido;
- dimensão da abertura que receberá o material translúcido;
- orientação da abertura fechada com o material translúcido;
- latitude da região onde se encontra a edificação que receberá o material translúcido;
- clima da região onde se encontra a edificação que receberá o material translúcido;
- disposição da abertura: lateral ou zenital;
- espessura;
- cor;
- questão da privacidade;
- conforto térmico;
- conforto luminoso;
- conforto acústico.

A partir da análise dos parâmetros listados, deve-se especificar o material mais conveniente para cada caso, porém um fator de fundamental importância no processo é a questão do conforto térmico e luminoso obtido com o uso desses materiais. Em alguns casos acontece a necessidade de priorizar um dos aspectos em detrimento de outro, portanto é indispensável para o arquiteto/projetista na escolha do material translúcido o conhecimento das características óticas por região do espectro, pois orienta na tomada de decisão mais adequada sob o ponto de vista ambiental e de eficiência energética.

A crise energética que a sociedade moderna vivencia obriga a humanidade a uma evolução permanente nos processos de projetos da edificação. Os sistemas de iluminação e refrigeração, responsáveis por grande parte da energia consumida em uma edificação, vêm se tornando um dos principais alvos de estudos, na busca da eficiência energética.

O conhecimento das propriedades óticas dos materiais transparentes e translúcidos é de fundamental importância na especificação correta dos materiais no tocante ao desempenho térmico e visual da edificação. Diante da variada gama de materiais translúcidos disponíveis no mercado, e que na questão plástica e estética podem ser similares, cabe ao arquiteto ou projetista especificar o material mais adequado para cada caso e expor não somente pontos relativos ao desempenho térmico e luminoso, mas também aos gastos da vida útil da obra, decorrentes dos sistemas de climatização e iluminação artificial. Baker et al. (1993) complementam que, para se obter todas as vantagens de todos os benefícios oferecidos pela luz natural, é necessário adquirir profundo conhecimento de seu comportamento perante os materiais que permitem passagem para dentro da edificação.



Segundo Lamberts (1997), do total da produção nacional de energia elétrica, 23% é destinado ao uso em arquitetura residencial, e Jannuzzi (1992) discrimina que cerca de 16% do total de energia elétrica consumida no país é para iluminação. De acordo com Ghisi (1997), a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Souza (1995) salienta que o aproveitamento da luz natural poderá reduzir o consumo de energia elétrica gasta no sistema de iluminação artificial. E Ne'eman (1998) acrescenta que a utilização eficiente da luz natural pode reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação em até 50%.

Convém ressaltar que o conhecimento das propriedades óticas dos materiais translúcidos facilita e orienta arquitetos e projetistas na correta especificação destes materiais, visando à eficiência energética na arquitetura.

Quando é realizada a comparação entre os valores de transmissão na região do visível e infravermelho, dos materiais translúcidos com os vidros transparentes, percebem-se diferenças significativas, portanto deve-se ter cuidado na especificação dos vidros translúcidos, pois, na questão plástica e estética, os vidros translúcidos instalados nas fachadas das edificações apresentam resultados visuais semelhantes, porém podem apresentar desempenho térmico e luminoso distinto.

Os valores obtidos de transmissão na região do visível e infravermelho, para vidros e policarbonatos translúcidos, são bem distintos, ocasionando ambientes com desempenho térmico e luminoso diferente. Enquanto nos vidros translúcidos os maiores valores encontrados foi de 71% e 52%, na região do visível e infravermelho, respectivamente, nos policarbonatos alveolares translúcidos foi inferior a 10% e 40%, respectivamente.

Capítulo 5

Conclusões

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

5.1 Conclusões

- ✓ A transmissão da radiação nos vidros translúcidos de 4mm espessura é inferior ao vidro transparente comum de 4mm e ocorre com maior intensidade em torno de 500nm, correspondendo à região do visível.
- ✓ Os vidros translúcidos que transmitem mais na região do visível que na região do infravermelho são o Spotlyte e o Teorema, portanto consistem em boas especificações quando se deseja admitir luz e atenuar o calor.
- ✓ Tratando-se de vidros translúcidos mais utilizados na construção civil, com espessura de 4mm, o vidro Boreal é o que transmite mais na região do visível e atenua em parte o infravermelho, o que resulta em uma boa especificação no tocante ao conforto térmico e luminoso.
- ✓ O vidro Canelado é o translúcido de 4mm que mais atenua a radiação em todo comprimento de onda analisado (ultravioleta, visível e infravermelho); em circunstância da baixa transmissão, foram observados valores de temperatura interna do ar inferiores aos demais translúcidos. A célula-teste fechada com esse vidro apresentou 2,5°C de temperatura interna do ar a menos, quando comparada com o vidro referência (transparente). Resultou em um vidro de difícil análise e comparação em virtude das irregularidades em sua superfície, constituindo espessuras com diferenças significativas. Pelos dados obtidos, seria interessante que esse tipo de vidro seguisse outra metodologia de avaliação.
- ✓ Em termos de conforto luminoso e térmico, comparando-se os vidros translúcidos com o policarbonato translúcido, a melhor opção seria a dos vidros translúcidos, por transmitirem em maior porcentagem o visível e atenuarem o infravermelho. E, ainda, apresentam uma melhor relação a custos X benefício.
- ✓ O item espessura não pode ser levado unicamente em consideração, quando se analisa a transmissão da radiação, tem que estar associado a outros critérios. Constatou-se que o item rugosidade tem poder decisivo na transmissão direta, muitas vezes, com maior peso que a espessura do material.
- ✓ O policarbonato alveolar translúcido deve ser cuidadosamente e criteriosamente especificado, pois transmite o infravermelho em porcentagens bem mais elevadas que o visível.

- ✓ Foi nas células-teste fechadas com os vidros translúcidos com menores valores referentes ao PRT que se registraram os maiores valores relativos à temperatura interna do ar.

A partir dos dados obtidos, observa-se que a transmissão nos vidros translúcidos é bem inferior quando comparada com os materiais transparentes; em virtude disso, ocasiona um menor ganho de calor no interior da edificação. Constata-se também que a parcela que está sendo absorvida pelo vidro não possui valor significativo, caso contrário, seria detectado no valor da temperatura interna do ar da célula-teste.

A irregularidade na superfície do vidro possui papel importante na questão da transmissão da radiação; por isso, deve-se ter atenção na especificação dos mesmos.

Mesmo a transmissão dos vidros translúcidos na região do visível possui valores inferiores aos vidros transparentes; constatou-se que são valores aceitáveis e recomendados pela normalização vigente (IES Illuminating Engineering Society, 1961).

Relacionando os resultados obtidos a partir dos dois métodos (via laboratório e via células-teste), pode-se concluir que os valores mais altos de temperatura interna do ar acontecem nas células-teste fechadas com os vidros com menor valor do PRT, ou seja, com menores irregularidades, onde a superfície do vidro é mais parecida ao vidro plano transparente. Portanto, em função desse fato, obtêm-se um melhor desempenho térmico com o vidro translúcido, quando comparado com o vidro transparente, porém, vale lembrar que outros fatores devem ser analisados de maneira associada.

Para uma melhor análise dos vidros translúcidos seria necessário além do valor do PRT, o valor da distância em que acontecem os picos de altura da superfície do vidro. O rugosímetro utilizado nesta pesquisa não dispõe desse recurso.

Referência Bibliográfica

A seguir serão apresentadas a bibliografia referenciada.



ALCAIDE, V. M. N. **La luz, símbolo y sistema visual : el espacio y la luz en el arte gótico y del Renacimiento**. 3ed. Madrid: Catedra, 1985. 190p.

ALUCCI, M. P. Fachadas transparentes: do conforto ao consumo de energia. **Revista Técnica**, n.40, maio/jun, 1999. p. 46-50.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE**: Fenestration - Handbook of fundamentals. Atlanta, 2004. Cap 27.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE**: Fenestration - Handbook of fundamentals. Atlanta, 1997. Cap 29.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE**: Fenestration - Handbook of fundamentals. EUA, 1993. Cap 27.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E 275**: Standard practice for describing and measuring performance of ultraviolet, visible, and near-infrared spectrophotometers. Philadelphia, 1993.

ARNAUD, A. **Industrial Production of Coated Glass: Future Trends for Expanding**. **Journal of Non-Crystalline Solids**, n.218, p12-18, 1997.

ARULANANTHAM, M.; REDDY, K. S.; KAUSHIKA, N. D. Solar gain characteristics of absorber-parallel transparent insulation materials. **Energy conversion and management**, v. 39, India, october 1998. p. 1519-1527.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15220-1**: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005. 34p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 30p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-226**: projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil - procedimentos. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-57**. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.215-4**: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de Medição, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 5413**: Iluminação de interiores. 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **ABCI**: Manual técnico de caixilhos / janelas, editora PINI. São Paulo, 1991.

BAKER N.; FANCHIOTTI A.; STREEMERS K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. Commission of the European Communities. London: James & James, 1993.



- BAMFORD, C.R. Colour Generation and Control in Glass. **Glass Science and technology**, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, n.2, 1984.
- BARTHOLOMEI, C. L. B. Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BENÉVOLO, L. **Introdução à Arquitetura**. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1976.
- BISPO, V. M.; SABINO, M. E. L.; PROENÇA, R. T.; DINIZ, A. S.; BRANCO, J. R. T. Estudo de filmes de ZnO e FTO para janelas inteligentes visando o conforto térmico. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Maceió-AL. Anais. VIII ENCAC/ IV ELACAC, 2005.
- BORDEIRA, J. A. S.; BASTOS, L. E. G.; QUEIROZ, T. C. F. Utilização de película reflexiva em fachadas envidraçadas de edifício situado em local de clima tropical úmido de altitude. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Maceió-AL. Anais. VIII ENCAC/ IV ELACAC, 2005.
- BOUBEKRI, M. An Experimental Evaluation of the Efficiency of Prismatic Glazing. In: **Anais do PLEA'99**, 1999, Brisbane. v. 2. p. 583-588.
- BRAUN, P. O. Transparent insulation of building facades – steps from research to commercial applications. **Solar Energy**, printed in the U.S.A, v.49, n.5, 1992. p. 413-427.
- BREITENBACH, J.; LART, S.; LANGLE, I.; ROSENFELD, J. L. L. Optical and thermal performance of glazing with integral Venetian blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, may 2001. p. 433-442.
- CABÚS, R. C. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. 1997. 156p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CABÚS, R. C. **As janelas e a eficiência energética na edificação**. File:///C:/windows/desktop/janela.htm, 1998.
- CALLISTER, J. W. D. **Material Science and Engineering**. New York: John Wiley & sons Inc, 1994.
- CARAM, R. M. **Vidros e o conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil**. 1996. 131p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.
- CARAM, R. M.; LABAKI, L. C.; SICHIERI, E. P. “Analysis of Spectral Transmission of Solar Radiation by Window Glasses” - in proceedings of the 7th International Conf. on **Indoor Air Quality and Climate**. Nagoya - Japan, July 1996.
- CARAM, R. M.; LABAKI, L. C. e SICHIERI, E. P. Especificação de vidros planos na construção civil. **Finestra Brasil**, ano 3, n.9, agosto, 1997.
- CARAM, R. M. **Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações**. 1998. 165p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- CARAM, R. M.; LABAKI, L. C.; SICHIERI, E. P. Películas para controle solar: comparação de desempenho entre refletivas e não refletivas. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 1999, Fortaleza-CE. Anais V ENCAC.



- CARAM, R. M. **Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura: Ênfase na Eficiência Energética**. 2002. 189p. Texto (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CARMODY, J.; SELKOWITZ, S.; ARASTEH, D.; HESCHONG, L. **Residential Windows. A guide to new technologies and energy performance**. New York: W.W norton & company, 2° ed., 2000.
- CASTANHEIRA, R. G. e CORBELLA, O. D. Ganho solar médio em aberturas envidraçadas através de uma ferramenta computacional. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2005, Maceió- AL. Anais V ENCAC. p. 377-386.
- CASTRO, A. A. S. P.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M; LOTUFO, C. Estudo do ganho de calor em vidros planos e refletivos através de células-teste. **IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2007, Ouro Preto-MG. Anais IX. ENCAC. p. 369-378.
- CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. 2006. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- CASTRO, A. A. S. P.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M. Avaliação do desempenho térmico e ganho de calor solar de três tipos de vidro. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / IV Encontro latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 2005, Maceió, AL. Anais VIII ENCAC / IV ELACAC. p. 406-414.
- CEBRACE. Manual Técnico, 2004, (não paginado).
- CHAURASIA, P. B. L. e TWIDELL, J. Collector cum storage solar water heaters with and without transparent insulation material. **Solar Energy**, v. 70, Reino Unido, 2001. p. 403-416.
- CHEVALIER, B.; HUTCHINS, M. G.; MACCARI, A.; OLIVE, F.; OVERSLOOT, H.; PLATZER, W.; POLATO, P.; ROOS, A.; ROSENFELD, J. L. J.; SQUIRE, T.; YOSHIMURA, K. Solar energy transmittance of translucent samples: a comparison between large and small integrating sphere measurements. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 54, France, july 1998. p. 197-202.
- CHAVES, A. L. **Os polímeros utilizados na construção civil e seus subsídios**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo, São Carlos.
- 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) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- COMPAGNO, A. **Intelligent glass façades. material practice design**. Berlin: Birkäuser Ed., 1996.
- CORATO, L. L. **Fachadas transparentes: inovações tecnológicas relacionadas à iluminação natural a partir da década de 70**. Relatório final de iniciação científica. FAPESP, 2001.
- COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica – condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1982.
- DOLLEY, P.; MARTIN, C.; WATSON, M. Performance of walls clad with transparent insulation material in realistic operation. **Building and Environment**, v.29, Oxon, january 1994. p. 83-88.
- DOLLEY, P.; MARTIN, C.; WATSON, M. The use test rooms to determine the thermal performance of a transparently insulated opaque wall. **Building and Environment**, v. 28, Oxon, april 1993. p. 139-143.



- DOREMUS, R. H. **Glass Science**. Nova York: John Wiley & Sons Ltd., 1973.
- DUARTE, P. (s/d). **Para o controle da luz e do calor**.
<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia47.asp>, consultado em 11/02/2005.
- DUTRA, L. **Uma Metodologia para Determinação do Fator Solar Desejável em Aberturas**. 1994. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ETZION, Y e ERELL, E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system. **Building and Environment**, v. 35, Israel, July 2000, p. 433-444.
- EVANS, B. H. **Energy conservation with natural air flow through windows**. New York: ASHRAE transactions, 1979.
- FERNANDES, A. E. P. A influência do vidro no consumo de energia em edificações. **Congresso Latino-Americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios – Soluções para o Terceiro Milênio**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo PCC/USP, novembro 1998, São Paulo.
- FIRMINO, N. Como especificar vidros para a construção. **O vidro plano**, São Paulo, n.319, p.62-65, julho, 1999.
- FREITAS, R. O que é conforto. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2005, Maceió- AL. Anais V ENCAC. p. 726-735.
- FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 5°. ed, 2001.
- FRY, M. **Tropical architecture in the dry and humid zones**. Revision of the 1964 ed. published by B. T. Batsford, London. 2ed, 249p, 1982.
- GAMMARANO, B. **As fachadas de vidro e o modernismo: uma reflexão**. 179p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- GE PLASTICS. Manual técnico, s/d.
- GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GIDEON, S. **Espacio, tiempo y arquitectura**. Madri: Dossat, 1978.
- GIDEON, S. **Walter Gropius: work and teamwork**. Nova York: Reinhold, 1954.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Londres: Applied Science Publishers Ltd., 1982.
- GOETZBERGER, A. Potencial uses of transparent insulation materials for thermal collectors and in buildings. **Solar & Wind Technology**, v.4, Freiburg, 1987. p. 389-393.
- GOITIA, F. C. **História Geral da Arte - Arquitetura I**. Espanha: Ediciones Del Prado, 1995.
- GOMES DA SILVA, V. Eficiência não deve ser apenas energética. **Finestra Brasil**, São Paulo, n.39, p. 27-9, out/nov/dez, 2004.



GOULDING, J. R.; LEWIS, J. O.; STEEMERS, T. C. **Energy in architecture, the European passive solar handbook**. Dublin, 1994.

GRANQVIST, C.G. Materials science for solar energy conversion systems. **Renewable Energy**. Pergamon Press, Great Britain, 1991.

HERNANDEZ, A. N.; TRIBESS, A.; VITTORINO, F.; CARAM, R. M. Avaliação da viabilidade econômica de soluções de envidraçamento. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. 1999. Fortaleza-CE. Anais V ENCAC.

HERZOG, T. **Solar energy in architecture and urban planning**. New York: Prestel, 1996. 223p.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Daylighting**. London: Heinemann, 1966.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genava, 2005.

JANNUZZI, G. M. **Uso Eficiente de Energia na Iluminação no Brasil**. In: I CONFERÊNCIA PANAMERICANA DE ILUMINAÇÃO. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. 278 p. p. 74-82. 1992.

JOHN, V. B. **Introduction to engineering materials**. Hong Kong: The macmillan press Ltd., 1994. JORGE, L. A. **A sintaxe da janela**. 1993. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KAUSHIKA, N. D. e SUMATHY, K. Solar transparent insulation materials: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**. v. 7, India, august 2003. p. 317-351.

KERN, D. Q. **Process heat transfer**. Mc Graw-hill book, 1950.

KOLLER, L. R. **Ultraviolet Radiation**. London: John Wiley & Sons, 1952.

KOENIGSBERGER, O. H. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977. 328 p.

KOENIGSBERGER, O. H. **Manual of tropical housing and building: climatic design**. London: Longman, 1980.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. 3ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

KREWINKEL, H. W. **Glass buildings: material, structure and detail**. Boston: Birkhauser, 1998.

LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. Uso de policarbonatos em fachadas: isolamento e efeito estufa. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Fortaleza-CE. Anais V ENCAC/ II ELACAC, 1999.

LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. Avaliação de policarbonatos como protetor solar em edificações (estudo comparativo com vidros planos comuns e laminados) **IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Salvador-Ba. Anais. IV ENCAC/ I ELACAC, 1997.



- LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P.; PIZZUTTI, J. C. Reavaliação do fator solar através do estudo da interação da radiação solar com os componentes dos vidros. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Fortaleza-CE. Anais. V ENCAC/ II ELACAC, 1999.
- LAM, W. M. C. **Perception and lighting as Formgivers for Architecture**. McGraw Hill, 1977.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C. **Desempenho térmico de edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2005.
- LAMBERTS, R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.
- LAMPERT, C. M. Advanced optical materials for energy efficiency and solar conversion. **Solar & Technology**, v. 4, USA, 1987. p. 347-379.
- LAMPERT, C. M. Chromogenic smart materials. **Materials Today**. v.7, USA, march 2004. p. 28-35.
- LIM, B. P. **Environmental Factors in the Design of Building Fenestration**. London: Applied Science Publishers, 1979.
- LYNES, J. A. **Principles of Natural Lighting**. Nova York: Elsevier Publishing Company, 1968.
- MACEDO, C. C. **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que Utilizam a Luz Direta do Sol**. 2002. 161p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MAGALHÃES, M. A. A. A. **O projeto de iluminação natural: estudo comparativo de métodos de medição e de simulação**. 1995. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU, São Paulo.
- MAGALHÃES, M. A. A. A. Medidas de luz natural através de aberturas laterais. Variações decorrentes do uso de vidro. **III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Gramado-RS, Anais III ENCAC/ ELACAC, 1995. p. 535-540.
- MANZ, H.; EGOLF, P. W.; SUTER, P.; GOETZBERGER, A. TIM-PCM external wall system for solar space heating and daylighting. **Solar Energy**, v.61, Zurich, december 1997. p. 369-379.
- MASCARÓ, L. E. **Luz, clima e arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1983.
- MELO, G. **Utilização dos recursos auxiliares do condicionamento térmico natural na elaboração e avaliação de projetos de habitações em Natal-RN**. 1991. 193p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos-SP.
- McCLUNEY, W. R. **The Benefits of Using Window Shades**. ASHRAE Journal, November/93, 1993. p. 20-26.
- MIANA, A. C. **Avaliação do desempenho térmico de brises transparentes: ensaio em células-teste**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos-SP.
- MICHELATO, R.; CASTRO, A. A. S. P.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M. Desempenho térmico de vidros: avaliação em protótipos. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / IV Encontro latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 2005, Maceió, AL. Anais VIII ENCAC / ELACAC. p. 1183-1192.



- MOORE, F. **Concepts in Practice of Architectural Daylight**. New York: Van Nostram Reinhold, 1985.
- MOTTA, S. R. F. Análise da influência do vidro das janelas sobre o consumo energético das edificações. **IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / V Encontro latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 2007, Ouro Preto-MG. Anais IX ENCAC / V ELACAC. p. 1268-1277.
- NAHAR, N. M. Design, development and testing of a double reflector hot box solar cooker with a transparent insulation material. **Renewable Energy**, v. 23, Índia, 2001. p. 167-179.
- NAKANISHI, T. M. **Fachadas transparentes: inovações tecnológicas no Brasil relacionadas à iluminação natural, a partir da década de 70**. Relatório final de iniciação científica. FAPESP, 2001.
- NE'EMAN, E. **Daylight availability database for energy efficient integration with electric light**. Journal of the Illuminating Engineering Society. v. 27, n. 2, summer 1998. p. 59-66, 1998.
- NOGUEIRA, F. E. A. R. **Avaliação das janelas em edifício escolares considerando parâmetros de conforto luminoso: o caso de escolas da rede municipal de Campinas**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- OLGYAY, V. **Arquitectura y clima : manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona : Gustavo Gili, 1998. 203p.
- OLGYAY, V. e OLGAY, A. Design with climate: bioclimatic approach architectural regionalism – Princeton University Press: New Jersey, 1973. 190p.
- O VIDRO plano no Brasil. São Paulo, 2001. 139p.
- OZISIK, M. N. **Transferência de calor: um texto básico**. 1990.
- PEREIRA, F. L. **Avaliação da influência termo-energética do tipo de vidro utilizado na envoltória de edificações**. Ministério da Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de engenharia mecânica. (s/d)
- PEREIRA, F. O. R. Curso de iluminação natural no ambiente construído. **III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 1995, Gramado, RS.
- PEREIRA, F. O. R. (Coord.). **Projeto de normalização em conforto ambiental – texto iluminação 04 – Iluminação natural: medição das condições internas**. Universidade Federal de Santa Catarina. FINEP, Florianópolis, 1997.
- PEREIRA, F. O. R. (Coord.). **Projeto de normalização em conforto ambiental – texto iluminação 02 – Iluminação natural: disponibilidade da luz natural**. Universidade Federal de Santa Catarina. FINEP, Florianópolis, 1997.
- PFROMMER, P.; LOMAS, K. L.; SEALE, C.; KUPKE, C. The Radiation Transfer Through Coated and Tinted Glazing. **Solar Energy**, v.54, n.5, 1995, p. 287-289
- RORIZ, M. **Racionalização de processos e produtos na construção de edifícios**. São Carlos, 2001.
- SANTOS, J. C. P. e RORIZ, M. Influência do ângulo de incidência na transmitância de luz natural através de materiais transparentes. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 2005, Maceió, AL. Anais VIII ENCAC / ELACAC. p. 1705-1714.



- SANTOS, J. C. P. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. 363p. Tese (Doutorado), Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SANTOS, J. C. P.; CORNETET, M. C.; KLUSENER, C. S. Seletividade luz/calor (SLC) de materiais transparentes. **IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / V Encontro latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 2007, Ouro Preto-MG. Anais IX ENCAC / V ELACAC. p. 1677-1686.
- PROCKNOR, C. Sob e céu que nos protege. PiniWeb – **AU arquitetura e Urbanismo**. <http://www.piniweb.com/revistas/au>. 2004, consultado em 14/11/2004.
- REVISTA FINESTRA. 1996. ano 2, n.7.
- REVISTA FINESTRA. 1996. ano 3, n.8.
- REVISTA FINESTRA. 2004. out/nov/dez, n.39
- REVISTA O VIDRO PLANO. 1999. São Paulo, n.316, abr.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2000. n.370.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2000. n.371.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2001. n.375.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2002. n.385.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2002. n.387.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2002. n.389.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2002. n.400.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2002. n.392.
- REVISTA ARCHITECTURE AND URBANISM. 2003. n.394.
- RIVERO, R. **Acondicionamento térmico natural: Arquitetura e clima**. Porto Alegre: Luzzatto Editores/ UFRGS, 1985.
- ROBBINS, C, L. **Daylighting: design and analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- ROBINSON, P. D. Advanced glazing technology for low energy buildings in the UK. **Renewable Energy**, v. 5, Reino Unido, august 1994. p. 298-309.
- ROSENFELD, A. H. e SELKOWITZ, S. E. **Beam Daylighting: an Alternative Illumination Technique**. IES Lighting Review, v. 43 (1), 1997. p. 24-26.
- SALAHIFAR, C. A feasibility study of electrochromic windows in vehicles. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. v. 79, USA, september 2003. p. 409-423.
- SANTOS, A. J. **Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação “in situ”**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. DED/NAI. Lisboa, Portugal, (s/d).



SARDEIRO, P. S. **Estudo das janelas laterais e a iluminação natural: estudo de caso**. 2002. 141p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SARDEIRO, P. S. **Superfícies transparentes**. Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas, 2003. 65p.

SARDEIRO, P. S. e CARAM, R. M. Estudo da caracterização de transmissão da radiação solar por superfícies transparentes nas diferentes regiões do espectro. **VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. 2003. Curitiba-PR. Anais ENCAC.

SARDEIRO, P. S. **Fachada de vidro e o conforto térmico**. Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 1999. 86p.

SCARAZZATO, P. S. **Conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural: dados referenciais para localidades brasileiras**. 1995. 456p. v. 1. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SELKOWITZ S.; LAMPERT C.M. **Application of Large-Area Chromogenics to Architectural Glazings**. Lawrence Berkeley Laboratory, Applied Science Division, University of California, USA, 1990.

SOUZA, M. B. **Impacto da luz natural no consumo de energia elétrica em um edifício de escritórios em Florianópolis**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SZABO, L. P. **Em busca de uma luz paulistana: a concepção de luz natural no projeto de arquitetos da cidade de São Paulo**. 2002. 501p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SZABO, L. P. **A Luz Natural na Arquitetura**. In: Revista Projeto, n. 227, 1998.

TOLEDO, L. M. A.; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C. E. Influência das características arquitetônicas no consumo de energia elétrica de edifícios de escritórios de Florianópolis. **III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / I Encontro latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, 1995, Gramado, RS. Anais III ENCAC / ELACAC. p. 427-432.

TSILINGIRIS, P. T. Comparative evaluation of the infrared transmission of polymer films. **Building and Environment**, v. 36, november 2003. p. 2839-2856.

VAN STRAATEN, J. F. **Thermal Performance of Buildings**. London: Elsevier Publishing Company, 1967.

VIANNA, N. S. e GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001. 378p.

WILLIAMS, R.G. **Lighting for color and form**. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1954.

WILSON, A. Technology and practice – An improved outlook. **Architecture**, p. 95-8, agosto, 1990.

YANNAS, S. **Solar energy and housing design: principles, objectives, guidelines**. v. 1. London, Architectural Association School of Architecture, s/d.

YANG, H.; ZHU, Z.; BURNETT, J. Simulation of the behaviour of transparent insulation materials in buildings in northern China. **Applied Energy**, v. 67, november 2000. p. 293-306.



ZANOTTO, E. D. Vidro: ciência, tecnologia e emprego no Brasil no limiar do terceiro milênio. **Revista da pesquisa & pós-graduação**. São Paulo, junho, 1998. Disponível em: <<http://www.ufop.br/pesquisa/revista/vidro.htm>>. Acesso em: 18 abril. 2005.

ZANOTTO, E. D. A santa das vidraças - Mais um mito do vidro. **Revista pesquisa**. São Paulo, n.79. Disponível em : <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br>>. Acesso em: 19 abril 2005.

www.revistapesquisa.fapesp.br, dez/2004

www.revistapesquisa.fapesp.br, dez/2005

http://www.moderna.com.br/quimica/quimica_am/artigos/0003, abr/2005

www.abividro.org.br, jan/2005.

www.nit.ufscar.br/lamav, mar/2005.

http://www.lucalm.hpg.ig.com.br/conceitos_basicos.htm, jul/2004

<http://www.cehop.se.gov.br/orse/esp/ES00117.pdf>, nov/2003

<http://www.beatrix.pro.br/arte/goticoarqui.htm>, jan/2004

<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia47.asp>, abr/2005

<http://www.alusistem.com.br/ALU-NOTICIAS.html>, fev/2005

<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm>, jan/2005

http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/trabalhos_2002-1/Coberturas_Transparentes/vidro.htm, fev/2005

<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia44.asp>, fev/2005

www.boin-solar.de, jan/2004

<http://www.cehop.se.gov.br/orse/esp/ES00120.pdf>, nov/2004

<http://www.estacoesferroviarias.com.br//luz.htm>, nov/2004

www.anxo.org/artigos/050600.html, jan/2005

www.galinsky.com/buildings/ronchamp, out/2004

www.vitruvio.ch/arc/masters/wagner.php, set/2004

www.windows.lbl.gov, nov/2004

www.qut.edu.au, jun/2005

www.eere.energy.gov, set/2004

http://www.icmm.csic.es/lineas/l_nano02.htm, jun/2005

<http://www.actimat.org/contenido/textos/castellano/general/materiales/piezoelectricos.htm>, mai/2005



Bibliografia

<http://www.jornaldacidade.com.br/cadernos, dez/2005>

www.polividros.com.br, jun/2007

www.engevidros.com.br, jun/2007