

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

CRITÉRIOS DE PROJETO PARA
ESCOLAS FUNDAMENTAIS BIOCLIMÁTICAS

MARCOS ANTONIO LEITE FRANDOLOSO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura no Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Lúcia E. R. Mascaró

Porto Alegre, novembro de 2001.

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

F826c FRANDOLOSO, Marcos Antonio Leite.

Crítérios de projeto para escolas fundamentais bioclimáticas/ Marcos Antonio Leite Frandoloso; orientação de Lúcia Elvira R. Mascaró. – Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Arquitetura, 2001.

233 p.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura. Porto Alegre, RS, 2001.

CDU : 727.11:697.97
72:551.586
551.586:620.91

DESCRITORES

Escolas de primeiro grau: Condicionamento térmico

727.11:697.97

Arquitetura bioclimática

72:551.586

Bioclimatologia: Arquitetura solar: Escolas

551.586:620.91

Bibliotecárias responsáveis

Iara Ferreira de Macedo, CRB- 10/430
Margarete Tessainer da Fonseca, CRB- 10/836

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários e professores do PROPARG, pela colaboração e apoio durante todo o decorrer do curso.

Aos colegas do PROPARG por compartilharem comigo as experiências e conhecimentos.

À professora Dra. Lúcia Mascaro, por seu estímulo, compreensão e orientação no desenvolvimento dos estudos que culminaram nesta dissertação.

À equipe do LAHV-INCIHUSA, em especial à Des. Industrial Andrea Pattini, por sua atenção quanto a disponibilização de fontes de consulta e, principalmente, pela receptividade para a observação do trabalho prático por eles desenvolvido.

À Administração Municipal de Passo Fundo, através do Secretário Municipal de Planejamento Arquiteto Paulo Busi de Severo, pela oportunidade de vivenciar a prática de projetos de escolas, bem como pelo incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da SEPLAN e da FEAR-UPF, pelo incentivo e colaboração.

A minha família, pelo fundamental apoio, estímulo e colaboração.

A todos os amigos que participaram com o estímulo, compartilhando as diversas situações enfrentadas.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho.

*“...environmental design is where the earth and its processes join with
human culture and behavior to create form.”*

(LYLE, 1999, p. ix)

“O espaço-escola, o prédio escolar, [...] todos os espaços que estão presentes na escola [...] deverão ser os lugares que ajudam a criança a enfrentar a construção das atitudes, comportamentos, procedimentos, conhecimentos que formam a cultura. Quando falo em ambiente, refiro-me às pessoas, aos objetos, ao espaço e a tudo aquilo que está dentro (os sons, as imagens, as formas, as cores), tudo o que constitui a vida normal. O resultado disso é que devemos ver o ambiente escolar como um lugar onde estamos.”

(FORNEIRO, 1998. p. 240)

SUMÁRIO

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DAS TABELAS	11
LISTA DOS GRÁFICOS	12
LISTA DE ABREVIATURAS	13
RESUMO	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 EDIFICAÇÕES ESCOLARES: ANTECEDENTES TIPOLÓGICOS	20
2.1 Antecedentes funcionais	20
2.2 Antecedentes arquitetônicos	23
3 EDIFICAÇÕES ESCOLARES: EXIGÊNCIAS PARA PROJETO	34
3.1 Exigências pedagógicas	35
3.2 Exigências funcionais	37
3.2.1 Implantação	37
3.2.2 Programação arquitetônica	38
3.3 Exigências formais	41
3.4 Flexibilidade	43
3.5 Habitabilidade	44
3.5.1 Conforto térmico	44
3.5.2 Ventilação	47
3.5.3 Conforto visual	49
3.5.4 Conforto acústico	52
3.6 Sistemas estruturais e construtivos	56
3.7 Racionalização construtiva e economia	58
4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	64
4.1 Bioclimatologia	64
4.2 Caracterização climática de Passo Fundo – RS	70
4.3 Aplicações das metodologias de análise bioclimática	77
4.4 Avaliação das orientações	84
5 EXEMPLOS DE ESCOLAS SOLARES PASSIVAS	89
5.1 Considerações iniciais	89
5.2 Experiências internacionais	90
5.2.1 Wallasey School	90
5.2.2 Escola de Les Franqueses del Valles	94
5.2.3 Escola do Crato	99
5.2.4 Escola de Medrano	101
5.3 Experiências nacionais e locais	105

6	ESTRATÉGIAS DE PROJETO RECOMENDAS PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO	113
	DE ALTITUDE	
6.1	Conforto termo-higrométrico	114
6.1.1	Massa térmica para aquecimento	115
6.1.2	Aquecimento solar passivo	118
6.1.2.1	Ganho direto	120
6.1.2.2	Átrios	126
6.1.2.3	Solários	130
6.1.2.4	Outros sistemas de aquecimento passivo	134
6.1.2.5	Sombreamento	137
6.1.3	Aquecimento artificial	143
6.1.4	Desumidificação e ventilação	146
6.2	Conforto visual	156
6.2.1	Iluminação natural	160
6.2.2	Iluminação artificial suplementar	170
7	CONCLUSÕES	177
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
ANEXO A	PROGRAMAÇÃO ARQUITETÔNICA DE ESCOLAS	194
ANEXO B	DADOS CLIMÁTICOS DE PASSO FUNDO – RS	196
ANEXO C	DIAGNÓSTICO BIOCLIMÁTICO DE PASSO FUNDO – RS	201
ANEXO D	AVALIAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES	203
ANEXO E	ESCOLAS SOLARES PASSIVAS: DESEMPENHO TERMO-LUMÍNICO	208
ANEXO F	ALTURA SOLAR EM PASSO FUNDO - RS	216
ANEXO G	CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA E DE VENTILAÇÃO	217
ANEXO H	ESTUDO DE CASO: ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA	229

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Desenho infantil – Mateus, 9 anos. SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo – RS, 1993. capa

2 EDIFICAÇÕES ESCOLARES: ANTECEDENTES TIPOLÓGICOS

2.1	Pestalozzi e alunos (1803).	21
2.2	R. Owen, <i>The Institution for the Formation of Character</i> , 1816. Perspectiva interna.	22
2.3	Lamb & Rich Arch., <i>The Berkeley School</i> , New York, USA, 1870.	25
2.4	R. Smith, <i>The Ben Jonson School</i> , Londres, GB, 1872.	25
2.5	G. H. Widdows, Escola com ventilação cruzada, Derbyshire, GB, 1910.	26
2.6	<i>Instituto Ginásial</i> , Prédio Texas, Passo Fundo – RS, 1920. Planta baixa do pavimento térreo; fachada frontal.	27
2.7	W. Gropius, <i>Bauhaus</i> , Dessau, Alemanha, 1925/26. Planta baixa do 1º pavimento; vista sudeste.	28
2.8	G. Warchavchick, Croquis para escolas reunidas, São Paulo – SP, 1930.	29
2.9	J. Gründel; H. Kurz, <i>Instituto de Ciências</i> , Auschaffenburg, Alemanha. Planta baixa.	29
2.10	G. Peichl, <i>Escola em In der Krim</i> , Viena, Áustria. Vista frontal.	30
2.11	A. J. L. Bayer, Esquema de organograma para instituto de artes.	30
2.12	E. Morgam, <i>St. George's School</i> , Wallasey, GB, 1961. Fachada sul. Parede solar.	31
2.13	G. Turányi; L. Földes, Escola no bosque, Visegrád, Hungria, 1996. Vista da maquete.	32
2.14	Z. Hecker, Escola Heinz Galinski, Berlin, Alemanha, 1993. Estudo de implantação; croquis de volumetria.	32

3 EDIFICAÇÕES ESCOLARES: EXIGÊNCIAS PARA PROJETO

3.1	Necessidades da criança frente à escola.	36
3.2	Sala de aula de arranjo tradicional.	39
3.3	Sala de aula alternativa.	39
3.4	Atividades típicas de sala de aula. Arranjo tradicional; arranjo para atividades genéricas.	40
3.5	I. Templeton; S. Harte, <i>Burham Copse School</i> , Tadley, GB, 1985. Escala dos usuários e mobiliário.	42
3.6	N. Beasley; J. Dale, <i>Rookwood Infant School</i> , Eastleigh, GB, 1981. Uso da cor em ambientes escolares.	42
3.7	M. Perkins; J. Gooding, <i>Hulbert Middle School</i> , Waterlooville, GB, 1982. Textura em ambientes escolares.	42
3.8	Ganhos energéticos para conforto térmico.	46
3.9	Ventilação natural nos edifícios.	48
3.10	Iluminância natural em salas de aula. Iluminação unilateral e bilateral; curvas <i>isolux</i> .	51
3.11	V. Artigas, <i>EEPSG Conselheiro Crispiano</i> , Guarulhos – SP, 1961. Iluminação artificial em salas de aula.	52
3.12	Som reverberante: somatório de infinitas trajetórias.	54
3.13	Ondas sonoras estacionárias.	55

3.14	Emprego de materiais e sistemas construtivos em escolas. Alvenaria de tijolos; estrutura de madeira; estrutura metálica; estrutura de concreto.	57
3.15	Componentes modulares.	58
3.16	Coordenação modular e pré-fabricação em escolas francesas.	60
3.17	Influência da geometria nos custos da edificação.	61
3.18	Influência das circulações nos custos da edificação.	61
3.19	Esquemas de organização espacial de salas de aula.	62
4	BIOCLIMATOLOGIA	
4.1	Campos de inter-relação do equilíbrio climático.	65
4.2	Os três ímãs ambientais, de E. Howard.	66
4.3	Controle ambiental solar passivo e ativo.	67
4.4	Ciclos de aproveitamento dos recursos naturais.	68
4.5	Coordenadas geográficas de Passo Fundo – RS.	71
4.6	Altimetria e núcleo urbano de Passo Fundo (do séc. XIX até meados do séc. XX).	71
4.7	Carta Psicrométrica.	78
4.8	Zoneamento climático brasileiro.	81
5	EXEMPLOS DE ESCOLAS SOLARES PASSIVAS	
5.1	E. Morgan, <i>St. Georges's School</i> , Wallasey, GB, 1961. Plantas baixas dos pavimentos térreo e superior.	91
5.2	E. Morgan, <i>St. Georges's School</i> , Wallasey, GB, 1961. Corte transversal AA.	92
5.3	E. Morgan, <i>St. Georges's School</i> , Wallasey, GB, 1961. Detalhe da parede solar e de janelas pivotantes.	93
5.4	E. Morgan, <i>St. Georges's School</i> , Wallasey, GB, 1961. Esquadrias da fachada norte.	93
5.5	E. Morgan, <i>St. Georges's School</i> , Wallasey, GB, 1961. Vista interna de sala de aula.	94
5.6	J. Sanmarti; R. Serra Florensa, <i>Escola de Les Franqueses del Valles</i> , Espanha, 1990-91. Planta baixa do pavimento térreo.	95
5.7	J. Sanmarti; R. Serra Florensa, <i>Escola de Les Franqueses del Valles</i> , Espanha, 1990-91. Corte transversal em salas de aula e laboratório.	96
5.8	J. Sanmarti; R. Serra Florensa, <i>Escola de Les Franqueses del Valles</i> , Espanha, 1990-91. Clerestórios nos laboratórios - perspectiva.	96
5.9	J. Sanmarti; R. Serra Florensa, <i>Escola de Les Franqueses del Valles</i> , Espanha, 1990-91. Estantes de luz - perspectiva.	97
5.10	J. Sanmarti; R. Serra Florensa, <i>Escola de Les Franqueses del Valles</i> , Espanha, 1990-91. Dutos de iluminação e ventilação nas salas de aula - perspectiva.	98
5.11	L. V. Cunha; R. B. Costa, <i>Escola do Crato</i> , Portugal, 1988. Planta baixa do pav. Térreo; vista da fachada leste.	99
5.12	L. V. Cunha; R. B. Costa, <i>Escola do Crato</i> , Portugal, 1988. Esquema de funcionamento dos coletores de ar.	100
5.13	L. V. Cunha; R. B. Costa, <i>Escola do Crato</i> , Portugal, 1988. Vista do pátio interno: espelho d'água, coletores de ar e persianas externas.	101
5.14	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Medrano</i> , Mendoza, Argentina, 1999. Planta baixa; vista da fachada norte - bloco de salas de aula; vista do acesso principal.	102
5.15	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Medrano</i> , Mendoza, Argentina, 1999. Corte transversal no bloco de salas de aula.	103
5.16	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Medrano</i> , Mendoza, Argentina, 1999. <i>Brisés-soleil</i> na orientação norte.	104
5.17	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Medrano</i> , Mendoza, Argentina, 1999. Vista da fachada sudeste, com destaque para os dutos de iluminação.	105
5.18	J. F. Lima, <i>Escola FAEC</i> , Salvador – BA, 1984. Perspectiva interna e iluminação lateral em sala de aula.	106

- 5.19 J. F. Lima, *Escola Municipal Cohab Secchi (CAIC)*, Passo Fundo – RS, 1984. Vista geral do acesso; detalhe de esquadrias, proteção solar e *shed*.; vista interna da janela padrão. 107
- 5.20 A. Q. Rego; M. B. Ribeiro; M. Senna, *Escola bioclimática para Itaguaí* - RJ, 1992. Perspectiva aérea. 109
- 5.21 SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo – RS, 1993. Planta baixa; vista externa da fachada noroeste; corte transversal. 110
- 5.22 SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo – RS, 1993. Vista interna das circulações. 111
- 6 ESTRATÉGIAS DE PROJETO RECOMENDADAS PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO DE ALTITUDE**
- 6.1 Massa térmica para aquecimento. 115
- 6.2 LAHV – INCIHUSA, *Escola de Avellaneda*, Mendoza, Argentina, 1999. Detalhe construtivo de paredes externas na aplicação regional. 117
- 6.3 J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91. Aquecimento passivo por inércia térmica de depósitos de água. 118
- 6.4 Sistemas de aquecimento solar passivo. 119
- 6.5 Sistema de aquecimento solar passivo por ganho direto. 120
- 6.6 Variáveis para desempenho das superfícies translúcidas. 121
- 6.7 Trocas térmicas através das superfícies translúcidas. 122
- 6.8 Processo de aquecimento solar passivo. 123
- 6.9 LAHV – INCIHUSA, *Escola de Lavalle*, Mendoza, Argentina, 1999. Planta baixa, cortes e fachadas; vista da fachada norte - bloco de salas de aula; vista interna das superfícies coletoras; vista da fachada norte - bloco de laboratórios. 126
- 6.10 Esquema genérico de ganho solar e ventilação em átrios e espaços adjacentes. 127
- 6.11 Tipos de átrios comumente aplicados em escolas britânicas. 127
- 6.12 J. Buxton; E. Willians, *Aspull Church School*, Wigan, GB, 1984. Planta baixa; vista interna do átrio. 128
- 6.13 M. Hopkins Arch., *Velmead Infant School*, Fleet, GB, 1986. Planta baixa; vista da fachada leste; esquema de ganho térmico e ventilação. 129
- 6.14 Solários: variações geométricas. 130
- 6.15 Hampshire County Concil Arch., *Nettley Abbey Infants' School*, Netley, GB, 1984. Vista interna do solário, com proteção solar móvel. 131
- 6.16 Tipos de solários. 131
- 6.17 Comportamento térmico de solários de acordo com as variações sazonais. 132
- 6.18 LAHV – INCIHUSA, *Escola de Alto Verde*, Mendoza, Argentina, 1995. Planta baixa do pavimento superior; vista interna da estufa; vista externa da fachada leste, com sistema de proteção solar. 134
- 6.19 Esquema de parede *Trombe-Michel*, 1967. 135
- 6.20 F. Varanda, *Centro Infantil de Mértola*, Portugal, 1982. Parede *Trombe-Michel*. 136
- 6.21 R. Harrison, *Nazeing County Primary School*, Essex, GB, 1988. Painel de condicionamento térmico por termossifão. 137
- 6.22 Trocas térmicas através das superfícies translúcidas. Proteção externa; proteção interna. 138
- 6.23 Altura do sol em Passo Fundo – RS. Latitude 28°15'S. 139
- 6.24 Tipos de protetores solares. 140
- 6.25 Exemplos de protetores solares em edificações educacionais. F. Clegg, *John Cabot Technology College*, Bristol, GB, 1993; D. Morris; A. Upton, *Queen's Inclosure First School*, Cowplain, GB, 1988; N. R. Arq., *Faculdade de Odontologia*, Passo Fundo – RS, 1998. 141
- 6.26 Exemplos de protetores solares em edificações educacionais. F. Varanda, *Centro Infantil de Mértola*, Portugal, 1982. 142

6.27	<i>Collège Henry Wallon</i> , Martigues, França. Aquecimento por radiadores. Salas de aula; circulação.	145
6.28	Influência do entorno na ventilação dos edifícios: topografia e vegetação.	148
6.29	Fluxo de ar na edificação: entrada e saída de ar.	149
6.30	Interferência de elementos externos no fluxo de ar na edificação. Beiral; proteção maciça; proteção afastada da parede.	150
6.31	Tipologias de abertura e fluxos de ar. Ventilação higiênica; ventilação de conforto.	151
6.32	Tipologia de aberturas em salas de aula. D. Tozzi Arq., <i>EEPG Chapada Grande</i> , Itapetininga – SP, [199-]; M. Sabater, <i>EEPG Dr. Cesário Bastos</i> , Santos – SP, 1911.	151
6.33	Fluxo de ar em escolas com dupla orientação.	152
6.34	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Alto Verde</i> , Mendoza, Argentina, 1995. Esquema de ventilação de verão; esquema de ventilação de inverno.	154
6.35	Plincke; Leaman and Browning Arch., <i>D'Hautree School</i> , Mont l'Abbé, Jersey, GB, [199-]. Esquema de condicionamento passivo para verão; esquema de condicionamento passivo para inverno.	155
6.36	Relação entre luminâncias em sala de aula.	157
6.37	Refletâncias recomendadas para superfícies e mobiliário em salas de aula.	158
6.38	Estratégias de iluminação em escolas de partido arquitetônico com dupla orientação.	160
6.39	SEPLAN-PMPF, <i>Escola Municipal Guaracy B. Marinho</i> , Passo Fundo – RS, 1993. Iluminância interna para céu parcialmente nublado, equinócios, 10 h.	163
6.40	Iluminação natural lateral. Unilateral; bilateral.	164
6.41	Estantes de luz (<i>light-shelves</i>).	165
6.42	J. Mateus et al., <i>Escola de Valongo do Vouga</i> , Águeda, Portugal, 1993. Corte transversal; esquema de proteção solar e estantes de luz; vista interna de sala de aula.	167
6.43	J. Mateus et al., <i>Escola de Valongo do Vouga</i> , Águeda, Portugal, 1993. Esquema de funcionamento das clarabóias.	168
6.44	J. Sanmarti; R. Serra Florensa, <i>Escola de Les Franqueses del Valles</i> , Espanha, 1990-91. Esquema de funcionamento dos dutos de iluminação.	168
6.45	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Lavalle</i> , Mendoza, Argentina, 1999. Difusores de luz.	169
6.46	LAHV – INCIHUSA, <i>Escola de Alto Verde</i> , Mendoza, Argentina, 1995. Difusores de luz.	170
6.47	Iluminação artificial suplementar.	171
6.48	<i>Collège Henry Wallon</i> , Martigues, França. Desenho de interruptor para iluminação artificial suplementar.	174
6.49	<i>Collège Henry Wallon</i> , Martigues, França. Iluminação complementar para quadro-negro.	174
6.50	Proposta de <i>retrofitting</i> de iluminação artificial. Situação existente e solução proposta.	175

LISTA DAS TABELAS

3	EDIFICAÇÕES ESCOLARES: EXIGÊNCIAS PARA PROJETO	
3.1	Comparação entre diferentes ordens de grandeza na ventilação.	
3.2	Iluminâncias para ambientes escolares.	47
3.3	Nível sonoro para ambientes escolares.	51
3.4	Proporções para compartimentos quanto ao rendimento acústico.	53
3.5	Comparativo de custos para diferentes arranjos de salas.	62
4	BIOCLIMATOLOGIA	
4.1	Elementos do clima e relações com o projeto.	69
6	ESTRATÉGIAS DE PROJETO RECOMENDADAS PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO DE ALTITUDE	
6.1	Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor admissíveis para vedações externas para a zona bioclimática 2.	116
6.2	Altura do sol em Passo Fundo – RS. Latitude 28°15'S.	139
6.3	Comparativo de poder calorífico e rendimento de fontes energéticas.	144
6.4	Ventilação mínima necessária por pessoa.	147
6.5	Comparativo ente soluções de iluminação artificial.	175

LISTA DOS GRÁFICOS

4 BIOCLIMATOLOGIA

4.1	Temperaturas do ar (°C) em Passo Fundo.	72
4.2	Umidade do ar (%) em Passo Fundo.	73
4.3	Horas de frio em Passo Fundo.	74
4.4	Frequências médias das direções do vento em Passo Fundo.	75
4.5	Insolação em Passo Fundo.	76
4.6	Carta bioclimática de Givoni.	80
4.7	Carta bioclimática de Givoni aplicada para Passo Fundo.	82
4.8	Projeção estereográfica dos percursos aparentes do sol. Latitude 28°25'S.	84
4.9	Radiações recebidas nas superfícies verticais segundo orientação nos períodos quentes e frios. Latitude 30°. Coordenadas cartesianas.	85
4.10	Radiações recebidas nas superfícies verticais segundo orientação nos períodos quentes e frios. Latitude 30°. Coordenadas polares.	86
4.11	Avaliação das orientações solares quanto aos aspectos térmicos.	87
4.12	Diagrama das sombras desejáveis. Linha de sombra aos 20°C. Latitude 28°25'S.	87

6 ESTRATÉGIAS DE PROJETO RECOMENDADAS PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO DE ALTITUDE

6.1	Valores de transmitância térmica (U) máxima para paredes, segundo as zonas bioambientais argentinas.	116
6.2	Curvas <i>isolux</i> dos ambientes do estudo de caso, para abóbada celeste encoberta.	162
6.3	Comparativo de desempenho da iluminação natural e artificial integradas.	173

LISTA DE ABREVIATURAS

ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	<i>Alternative Energy Corporation</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BRECSU	<i>Building Research Establishment</i>
CAIC	Centro de Atendimento Integral à Criança
CEED	Conselho Estadual de Educação
CIE	<i>Commision International d'Eclairage</i>
CNE	Conselho Nacional de Educação
CNPTrigo	Centro Nacional de Pesquisa do Trigo
CONESP	Companhia de Construções Escolares do Estado de São Paulo
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DFE	<i>Departmento for Education, Architects and Building Division</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAEC	Fábrica de Equipamentos Comunitários
FDE	Fundação para o Desenvolvimento da Educação
FUNDEPAR	Fundação Educacional do Estado do Paraná
LAHV	<i>Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda</i>
HABITAT	<i>United Nations Centre for Human Settlements</i>
IES	<i>Illuminating Engineering Society of North America</i>
INCIHUSA	<i>Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales</i>
IPT	Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ITeC	<i>Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya</i>
PMPF	Prefeitura Municipal de Passo Fundo
SEPLAN	Secretaria Municipal de Planejamento
WCED	<i>World Commision on Environment and Development</i>

RESUMO

Esta dissertação trata dos critérios para a elaboração de projetos para edificações escolares, em especial destinadas para a educação infantil e ensino fundamental, considerando a sua inserção no contexto ambiental, constituindo, assim, uma concepção arquitetônica bioclimática. Nessa perspectiva a implantação, a geometria, a organização espacial e os parâmetros construtivos do edifício contribuem na materialização de espaços adequados aos requisitos didático-pedagógicos e funcionais e, em especial, às exigências de conforto ambiental dos usuários, de maneira que a escola, na sua configuração física, se constitua em um elemento promotor do desenvolvimento intelectual, social e afetivo da criança.

A partir da concepção global baseada nos princípios da bioclimatologia, o trabalho estabelece as necessidades para condicionamento ambiental determinadas pela caracterização climática de Passo Fundo – RS (clima subtropical úmido de altitude), explorando as estratégias solares passivas que utilizam a própria envoltória da edificação na seleção daqueles elementos ambientais externos favoráveis ao aquecimento, resfriamento, ventilação, proteção à radiação solar e iluminação, a fim de agregar aos critérios funcionais de projeto para escolas a maximização do uso desses fatores naturais e a racionalização do uso de energias não-renováveis, tendo como objetivo contribuir para um gradual desenvolvimento sustentável.

O trabalho aborda a legislação existente pertinente às edificações escolares, bem como apresenta exemplos de escolas solares passivas, com a aplicação de estratégias válidas para as condições locais, confrontadas com estudo de caso simplificado, a fim de que a implementação das sugestões apontadas demonstre a sua viabilidade de aplicação.

ABSTRACT

This study reports the criteria adopted for the elaboration of school buildings, especially those designed for elementary and primary schools. We have taken into consideration the school within the local context, following an environmental sustainable architectural design, in which the siting, the building form (spacial organization), the internal layout, and the constructional building parameters contribute to achieve the adequate functional, pedagogical and confort requirements in order to suit the needs of the school members as well as to provide for the intelectual, social and affective development of the children.

Within the perspective of the bioclimatology principles, our study establishes the needs for environmental conditioning based on the local climate context – subtropical and humid. We have explored solar passive strategies by using the building surroundings to select the external environmental factors that were favourable for heating, cooling, ventilation, solar monitoring and daylighting. We aimed at maximizing the use of those natural resources in our school building project. We have also decided for the adoption of those strategies in order to reach a gradual sustainable development by rationalizing the use of non-renewable sources of energy.

Our research also approaches the laws ruling the construction of school buildings. Moreover, it reports other examples of solar passive schools that have also applied appropriate strategies for the local conditions compared to case studies as to support the applicability of the suggestions presented by our study.

1 INTRODUÇÃO

O controle do entorno e a criação de condições adequadas às necessidades do homem e ao desenvolvimento de suas atividades são questões que têm sido objeto de preocupação desde suas origens.

Este trabalho aborda as questões relacionadas às edificações com finalidades educacionais, seus requisitos específicos e, principalmente, os condicionantes ambientais internos e externos responsáveis pela promoção da inter-relação entre esses espaços e o processo de ensino e de aprendizado. Para tanto, baseia-se na premissa do ambiente não apenas como o conjunto das características do espaço físico, mas, também, o conjunto das relações interpessoais nele estabelecidas.

Teve-se como objetivo geral discutir os critérios a serem considerados no projeto de escolas de ensino fundamental, o que inclui desde a escolha do sítio de implantação até a interferência das variadas propostas pedagógicas nas decisões do projeto de arquitetura.

Como objetivo específico, pretendeu-se propor a integração entre a arquitetura e o meio no qual a edificação está inserida. As considerações, para tanto, foram baseadas nos princípios da arquitetura bioclimática, ou seja, a “[...] concepção arquitetônica que pretende utilizar, por meio da própria arquitetura, os elementos favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências do bem-estar” (BARDOU; ARZOUMANIAN, 1980, p. 55). Teve-se como meta, assim, alcançar a eficiência energética, por meio da utilização de sistemas naturais e artificiais integrados, de forma a reduzir os custos de consumo de energia.

A proposição de um tema relacionado às edificações escolares do ensino fundamental e às soluções bioclimáticas justifica-se, inicialmente, pelo fato de que existe uma grande demanda não

apenas para a ampliação das redes físicas das escolas públicas, mas, também, para a qualificação ambiental dos edifícios, de forma a minimizar os atuais problemas enfrentados, os quais certamente têm reflexos na aprendizagem dos alunos. Assim, considerou-se pertinente a discussão dos procedimentos de planejamento, construção, uso e manutenção desses edifícios.

Por outro lado, este trabalho justifica-se como resposta aos questionamentos relacionados à conservação e eficiência energética, temas atuais, mas que remetem às discussões sobre o consumo de energias não-renováveis surgidas a partir da década de 1970, na iminência de uma crise dos combustíveis fósseis, que forneceram desafios na busca de alternativas para um desenvolvimento sustentável das comunidades, com a racionalização no uso dos recursos naturais. Nesse sentido, é de vital importância a integração dos edifícios com o seu entorno natural.

Esses dois aspectos exigiram o desenvolvimento de uma proposta que respondesse, ao mesmo tempo, aos requisitos funcionais propriamente ditos, relativos à tipologia funcional específica, e à mencionada racionalização do consumo e redução de custos, alcançada através da arquitetura bioclimática, por meio do condicionamento solar passivo dos ambientes. É nessa perspectiva que a energia natural tem seu aproveitamento maximizado, através de sistemas de aquecimento, resfriamento e iluminação natural aplicados segundo os condicionantes climáticos locais e de conforto dos usuários.

O condicionamento passivo das edificações, embora viável em praticamente todo o território brasileiro, apresenta-se como aspecto a ser explorado de forma mais intensa, especialmente quando se considera que as condições regionais têm um papel determinante na sua aplicação. Desta forma, se insere, neste trabalho, a caracterização do clima do Município de Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul, cuja análise define alguns critérios a serem considerados na elaboração de projetos de escolas elementares adequadas ao contexto local. Tais considerações, porém, podem ser ampliadas para situações genéricas.

O presente trabalho, como resultado da sistematização dos conhecimentos teóricos e práticos do curso de Mestrado, foi desenvolvido a partir da revisão da bibliografia existente, a maioria européia e argentina, visto que a produção científica nacional sobre o assunto é restrita a poucas publicações, principalmente relativas ao clima equatorial e tropical, não contemplando, portanto, as particularidades climáticas do sul do Brasil, de clima subtropical úmido.

A caracterização climática apresentada foi baseada nas normais climatológicas coletadas por órgão de pesquisa local (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa do Trigo), bem como a partir de programas computacionais disponíveis, os quais permitiram a análise do desempenho termo-lumínico das edificações, através de simulações verificadas conjuntamente com os dados coletados *in-situ*.

Este trabalho foi dividido em oito capítulos, sendo o primeiro a presente *Introdução*.

O *Capítulo 2* apresenta as considerações sobre as edificações escolares sob uma abordagem tipológica, partindo dos antecedentes funcionais, ou seja, das primeiras preocupações de solução para a problemática da educação. Assim, são apresentadas as modificações sociais, culturais e econômicas da civilização industrial, a partir do século XVII, que resultaram na proposição das primeiras escolas como instituições e como tipologia edilícia, em consequência do pensamento humano moderno e da filosofia da educação através das propostas pedagógicas. Na continuidade, é abordado o planejamento arquitetônico, através da construção de prédios com finalidades educacionais, desde a concepção acadêmica, resultado dos tratados de arquitetura de Durand e outros, passando pelos questionamentos da arte e da tecnologia do final do século XIX, da discussão modernista pela busca das formas puras - exemplificadas pela produção teórica e prática corbusiana, dos questionamentos da arquitetura da segunda metade do século passado, chegando-se, finalmente, às reflexões contemporâneas da prática e da teoria da arquitetura.

No *Capítulo 3*, são consideradas as exigências para projeto determinadas pela comunidade envolvida na temática, momento em que se apresenta uma sistematização dos elementos de abordagem, baseados em revisão bibliográfica, observando as legislações pertinentes existentes, desde aqueles aspectos de caráter mais abrangente, como propostas pedagógicas e programação funcional, até outros mais específicos, como a composição arquitetônica e os requisitos de habitabilidade, passando pelas exigências formais, de flexibilidade, dos sistemas estruturais e construtivos, da racionalização construtiva e dos critérios econômicos.

O *Capítulo 4* apresenta a base teórica da arquitetura bioclimática de maneira a melhor caracterizar o caminho seguido por essa dissertação, especificamente no tocante à arquitetura solar passiva. Tendo como princípio básico a relação intrínseca entre a arquitetura e o entorno, apresenta-se o diagnóstico climático do sítio de aplicação da proposta, analisando os diversos fatores que determinam o clima local. Com base nesses dados, são apresentadas as metodologias de análise

bioclimática e suas implicações nas edificações, bem como a avaliação das orientações favoráveis, relativas à radiação solar, às necessidades de sombreamento, à disponibilidade de luz natural e à direção de ventos, com vistas ao melhor aproveitamento energético.

Como forma de confrontar as diversas experiências no campo de estudo, o *Capítulo 5* mostra quatro exemplos de escolas solares passivas, construídas na Europa (Inglaterra, Espanha e Portugal) e na Argentina (Mendoza), em contraponto à situação nacional referente ao tema. As escolas citadas permitem demonstrar a aplicação dos conhecimentos teóricos e práticos envolvidos, especialmente através do marco que representou a construção da *Wallasey School* – uma das primeiras edificações bioclimáticas construídas - no panorama da arquitetura da segunda metade do século XX. Apresenta-se, igualmente, o resultado da concepção bioclimática na composição arquitetônica.

O *Capítulo 6* constitui-se em um fechamento dos assuntos abordados nos capítulos anteriores, de forma a permitir a proposição de critérios de projeto para a adequação dos edifícios escolares ao clima específico enfocado neste estudo: subtropical úmido de altitude, atendendo, assim, às exigências de habitabilidade expostas no terceiro capítulo (conforto térmico, ventilação natural e conforto visual). A fim de suprir as necessidades de conforto ambiental dos usuários, são apresentadas as diversas estratégias de projeto e sistemas de condicionamento passivo - massa térmica da envoltória e aquecimento através de ganhos térmicos diretos e indiretos -, repertório de soluções essas a serem adotadas segundo as demais exigências envolvidas no projeto das edificações escolares. Ainda, apresenta os aspectos relacionados à fenestração e às necessidades de sombreamento dos ambientes. Quanto ao condicionamento térmico, são abordadas as recomendações de aquecimento artificial adicional, indicadas para as situações do rigor térmico de inverno. Esse mesmo capítulo, na continuidade, trata dos aspectos relativos à desumidificação e ventilação, com a respectiva indicação de formas de implementação das condições naturais, observando o regime local dos ventos. Complementando, são abordados os requisitos de conforto visual, com a recomendação de dispositivos que permitem a maximização do uso da luz natural disponível e a racionalização do consumo de energia elétrica para a iluminação artificial.

Finalmente, são apresentados as conclusões no Capítulo 7, a revisão bibliográfica no Capítulo 8 e os diversos Anexos.

2 EDIFICAÇÕES ESCOLARES: ANTECEDENTES TIPOLOGICOS

2.1 Antecedentes funcionais

Partindo da premissa de que no desenho das edificações escolares as demandas funcionais e pedagógicas exercem um papel de grande relevância, ou mesmo de condicionadoras principais, tornam-se pertinentes algumas considerações relativas à importância da dimensão espacial da atividade educativa, conforme defende Viñao Frago (VIÑAO FRAGO; ESCOLANO, 1995, p. 11), tratando dos antecedentes funcionais do espaço escolar.

Na Idade Média, o local onde se desenvolviam as atividades educacionais não apresentava importância, sendo que o destaque era restrito à educação em si. Desta forma, durante tal período e nos séculos seguintes, conforme Godfrey e Cleary (1953, p. 23), manteve-se uma estreita relação com a arquitetura eclesial, sendo, muitas das primeiras escolas, de fato, partes dos estabelecimentos monásticos.

Nesse contexto, o interesse pela educação era apenas da iniciativa privada ou de círculos com particular envolvimento em tais problemas. Em geral, apenas crianças de classes mais privilegiadas tinham acesso a esses estabelecimentos.

No século XVIII, começaram a ser introduzidos questionamentos na teoria e na prática educacional que culminariam na mudança da concepção de escola. Dudek (1996, p. 41) considera que grande parte desses questionamentos deve-se a J. J. Rousseau (1712-1773), através da criação de uma nova percepção da natureza da criança, dos métodos de ensino e, ainda, dos objetivos e propósitos do processo educacional, tendo como parâmetros a igualdade social e seus efeitos no desenvolvimento da sociedade moderna.

Roth (1957, p. 24) coloca que a educação pública teve como pioneiro J. H. Pestalozzi (1746-1827), que, assim como Rousseau, estava convencido de que a educação deveria estar em completa harmonia com a natureza infantil, concretizando suas teorias na fundação, em 1774, da *Neuhof*, em Birr, Suíça, uma escola voltada para o atendimento de crianças órfãs e pobres, estimulando o aprendizado através de atividades como o desenho, a escrita, a conversação e a recreação (FIG. 2.1). Paralelamente, na mesma época, preocupações similares ocorreram na Inglaterra, especialmente a partir de 1811, com a fundação de uma sociedade para propagação do ensino público, com abrangência nacional, consolidando a prática de uma nova escola.

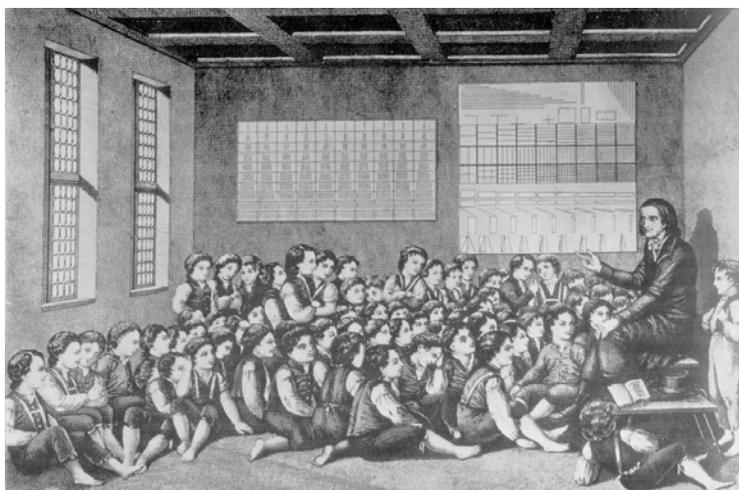


FIGURA 2.1 - Pestalozzi e alunos (1803).
FONTE: DUDEK, 1996, p. 54.

Tentativas análogas foram registradas também em outras nações, especialmente tendo em vista a urgência de solução para a questão da educação a partir da rápida e profunda transformação da sociedade ocidental do século XIX, com o desenvolvimento industrial e técnico, tema esse abordado, inclusive, na teorização das comunidades modernas ideais, tal como R. Owen (1771-1858), na proposição da escola *The New Institution for Formation of Character* em New Lanark - Escócia (1816), com a visão da educação como instrumento de mudança social e do ensino como prática de experimentação (FIG. 2.2).

Com a gradual generalização do ensino para todos, o problema das edificações educacionais passou a exigir uma resposta urgente da arquitetura pública. Uma solução adequada, tanto organizacional quanto arquitetônica, teve de ser encontrada para uma demanda nova e crescente, praticamente sem nenhuma tradição. Como já mencionado, até então só existiam as escolas

monásticas e os antigos *colleges* e universidades inglesas. Assim, inicialmente a solução encontrada foi a de adaptação de edifícios existentes para os novos programas. Porém, a expansão industrial e o conseqüente crescimento populacional exigiram a adoção de medidas mais eficazes e a construção de edificações específicas.

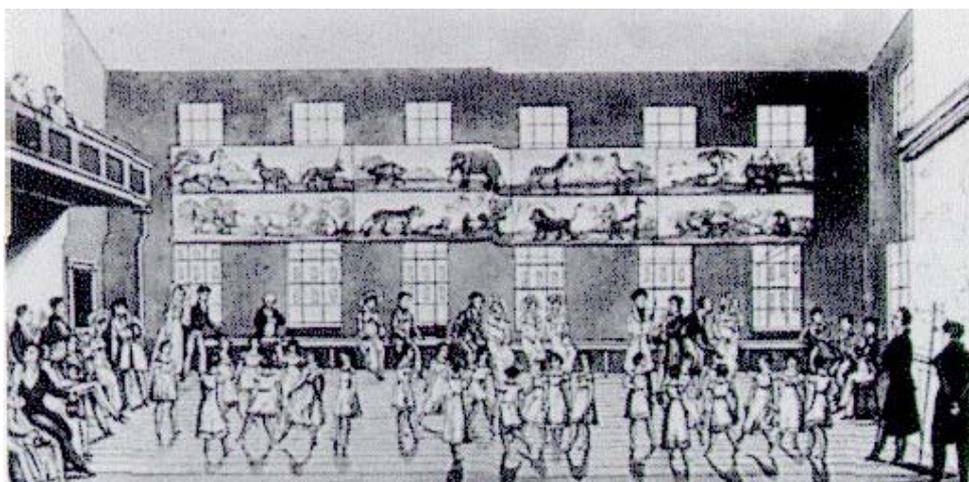


FIGURA 2.2 – R. Owen, *The New Institution for the Formation of Character*, 1816. Perspectiva interna.
 FONTE: DUDEK, 1996, p. 44.

Sendo consolidada a edificação escolar, essa, com o passar dos séculos XIX e XX, foi sofrendo alterações, de acordo com as diretrizes pedagógicas em constante evolução, bem como seguindo as discussões arquitetônicas vigentes. Essas propostas, a partir dos centros econômicos e culturais europeus, gradualmente vão sendo propagadas e implantadas nas novas nações em formação, como o caso do Brasil.

Para o campo em estudo, quanto às concepções da educação, em oposição à escola tradicional¹, cabe, ainda, mencionar as experiências pedagógicas de F. Froebel (1782-1852) e, contemporaneamente, de M. Montessori (1870-1952) e J. Piaget (1896-1980). Para Froebel², a escola a ser implementada deveria ser “uma nova instituição para prover um ambiente onde a criança sinta-se segura o bastante para combinar a sua vida interior com as demandas do mundo exterior” (LIEBSCHNER³ apud DUDEK, 1996, p. 47, tradução do autor), reconhecendo, portanto, a

¹ A escola tradicional, relacionada com o pensamento pedagógico positivista do século XIX, considera a educação como imagem e reflexo da sociedade, desta maneira, como coloca Gadotti (1995, p. 268), “o ato educativo destinava-se a reproduzir os valores e a cultura da sociedade”, desconhecendo as reais condições do pensamento do aluno e a natureza de seus processos cognitivo (MARTINS; SÁ, 2001, p. 37-38), estabelecendo-se, assim, padrões e regras de conduta a serem seguidos.

² As idéias de Froebel influenciam J. Dewey (1859-1952) na proposição da escola nova, tendo a educação como instigadora de mudanças sociais, bem como passível de constante transformação, em adaptação a essas mudanças.

³ LIEBSCHNER, J.. *Foundations of progressive education*. Cambridge: The Lutterworth, 1991, p. 15.

importância do desenvolvimento criativo da criança, respeitando sua individualidade. Montessori⁴ enfatizou os aspectos biológicos e psicológicos do crescimento e desenvolvimento infantil, introduzindo a escala infantil de mobiliário e equipamentos, estabelecendo uma íntima relação do ambiente escolar com o processo educacional.

Piaget⁵ baseia suas propostas na pedagogia ativa, na qual a aprendizagem acontece a partir das atividades pessoais do aluno, e, da mesma forma como Montessori, propõe uma educação baseada na natureza do desenvolvimento da criança.

O espaço físico, assim, passou a representar não apenas o cenário das atividades pedagógicas, mas um fator de influência nos processos de ensino e de aprendizagem, possibilitando, através dos ambientes, o desenvolvimento das habilidades e conhecimentos dos alunos e dos demais envolvidos neste processo.

2.2 Antecedentes arquitetônicos

As transformações da sociedade ocidental ocorridas nos séculos XVIII e XIX imprimiram a necessidade de soluções específicas para a atividade educacional, determinando que, para atender aos condicionantes funcionais e requisitos pedagógicos, fossem elaborados projetos específicos para escolas.

Nesse contexto, o método projetual dominante relacionava-se com as teorias de J. N. L. Durand, que se propunha a fazer com facilidade e êxito o projeto de qualquer edifício requerido pelas mudanças sócio-econômicas em curso, definido por Martí Arís (1993, p. 137-138) a partir das seguintes operações sucessivas:

- a) escolha adequada dos elementos;

⁴ A proposta de Montessori, de 1909, propõe que o educador não atue diretamente sobre a criança, mas ofereça os meios para a sua autotransformação. Como descreve Gadotti (1995, p. 151), o método empregava um abundante material didático tridimensional (prismas, cubos, dentre outros) destinado a desenvolver a atividade sensorial.

⁵ A escola piagetiana fundamenta-se na chamada escola nova de Froebel. Piaget defende “que o objetivo da educação não deveria ser de repetir ou conservar verdades acabadas, mas aprender por si próprio a conquista do verdadeiro” (GADOTTI, 1995, p. 146). O pensamento de Piaget influenciou vários outros pesquisadores, tais como o brasileiro P. Freire (1921-1997) defendendo que o educador e o educando aprendem juntos em uma relação dinâmica da prática e da teoria, em um processo de constante aperfeiçoamento.

- b) formação, mediante o arranjo dos elementos, das diversas partes do edifício;
- c) combinação de tais partes para produzir o edifício em seu conjunto.

Definia-se, assim, a arquitetura como composição de elementos, ou melhor, como prática baseada nos elementos de composição. Durand estabelece, didaticamente, os elementos e as partes principais e secundárias. Os elementos são componentes físicos, construtivos: paredes, tetos, etc, enquanto as partes são os espaços e seus agrupamentos, desmontados e catalogados como um manual de instruções que permitia ao arquiteto recompô-los ao seu critério, guiado pela conveniência e pela economia.

Diferentemente do que ocorria nos períodos anteriores, quando o desenho dos elementos de arquitetura aplicado sobre combinações tipificadas era, segundo Corona Martinez (1986), “o selo artístico principal, a obra de cada arquiteto”, passou-se, então a um processo de projeto onde os elementos eram partes convencionais, sem importância, sendo o caráter dos diferentes programas dado pela multiplicidade de estilos, com seus repertórios alternativos.

Abriu-se espaço, dessa maneira, para que os edifícios, com suas partes organizadas segundo regras fixas de combinação, tivessem seu conjunto, conforme Mahfuz (1995, p. 18), “ ‘vestido’ com algum estilo escolhido”.

Dessa forma, as edificações elaboradas sob esses procedimentos de projeto caracterizavam-se pela composição a partir de elementos com existência prévia (elementos de arquitetura e de composição), tendo como princípios básicos a unidade, a simetria, a hierarquia, com explícita valorização da forma e a utilização dos repertórios estilísticos disponíveis, com o objetivo, segundo Elizabeth Bund⁶ (apud CORONA MARTINEZ, 1998, p. 26), de fornecer caráter, beleza, ordem, proporção, dignidade, compreensão social e reconhecimento às edificações. As FIG. 2.3 a 2.6 exemplificam tais resultados arquitetônicos, baseados na concepção axial, que propicia a simetria, tanto transversal como longitudinal.

⁶ BUND, Elizabeth. Quadro elaborado para a Cátedra de Comunicación Visual da Universidad de Mar del Plata. [s.d.].

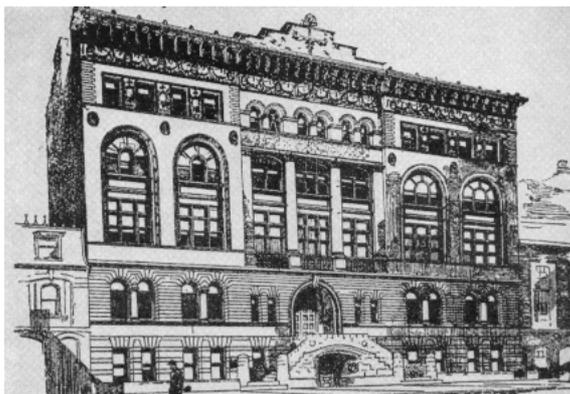


FIGURA 2.3 - Lamb & Rich Arch., *The Berkeley School*, New York, EUA, 1870.
 FONTE: CAUDILL, 1954, p.15.

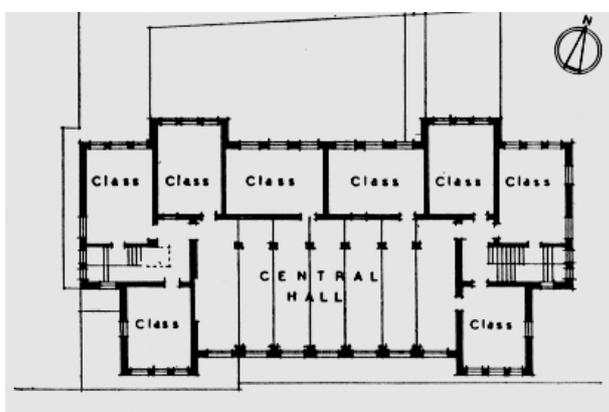


FIGURA 2.4 – R. Smith, *The Ben Jonson School*, Londres, GB, 1872.
 FONTE: GODFREY; CLEARY, 1953, p. 25.

Os resultados alcançados por essas concepções, entretanto, não correspondiam às demandas do momento, cujos efeitos Roth (1957, p. 25-26) resume da seguinte forma: superdimensionamento do edifício, com ausência total da escala infantil; organização espacial não-funcional e indiferenciada; arquitetura formalista e não-criativa (FIG. 2.3).

Ao defender a racionalidade, a lógica e a estética da arquitetura, com a conseqüente busca das razões da forma e das funções dos elementos construtivos, Viollet-le-Duc, ao final do século XIX, forneceu elementos que contribuíram para a solução destes novos problemas. A racionalização distributiva aparece como indispensável a estas novas edificações, a qual, relacionada à adequada exploração das técnicas disponíveis, foi capaz de transformar a aparência e a construção, introduzindo os conceitos a serem explorados pela arquitetura funcionalista.

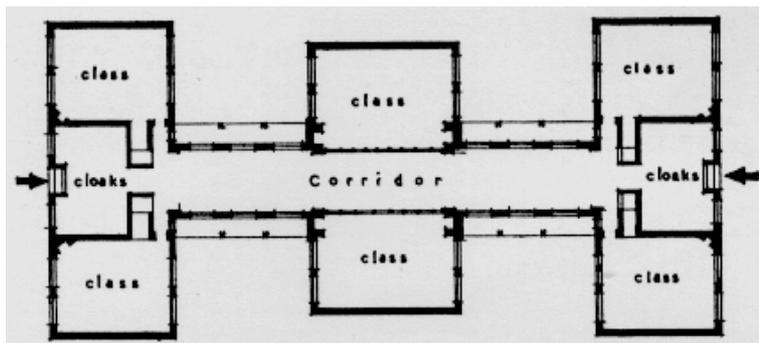


FIGURA 2.5 - G.H. Widdows, Escola com ventilação cruzada, Derbyshire, GB, 1910.
 FONTE: GODFREY; CLEARY, 1953, p. 26.

No mesmo período, iniciou-se o projeto de edifícios escolares preocupados com as questões relativas ao programa funcional específico (FIG. 2.4). Ao final daquele século, uma atenção maior foi dada aos aspectos de salubridade, resultando na concepção de escolas que adotavam partidos que permitissem o arranjo das salas de aula com sistema de ventilação cruzada, tal como a escola em Derbyshire, Inglaterra (FIG. 2.5).

No Brasil, a Proclamação da República estimulou a construção de escolas públicas, uma vez que passou a haver mais empenho no sentido de promover a busca de caminhos diferenciados, inclusive na instrução primária, coerentemente com o pensamento positivista dominante.

As soluções utilizadas para as edificações foram tomadas do contexto europeu, ainda bastante relacionado com as influências acadêmicas francesas (Missão Francesa de 1816), representadas pelo repertório neoclássico e, posteriormente, eclético.

As edificações escolares caracterizavam-se, assim, pela rígida simetria, seguindo a composição acadêmica, identificada pela separação entre as seções masculina e feminina, exigida pelos regimentos dos estabelecimentos.

Segundo Vilanova Artigas (apud OLIVEIRA, 1998, p. 20-21), tais estabelecimentos

eram escolas compostas da maneira mais humilde que se possa imaginar: quatro salas e um corredor de entrada. Mas, do ponto de vista expressivo, depois do *halzinho* de entrada, que tinha 1.20 ou 1.50 m de largura e fazia distribuição das quatro salinhas, havia um pórtico grego na frente. Humilde, com quatro colunas. É como se o homem brasileiro, que tinha saído da escravatura, fosse penetrar, pelas mãos da ideologia republicana positivista, nos degraus da eternidade. Ir buscar de volta, na Grécia, o saber absoluto.

Embora com algumas reservas, a crítica de V. Artigas define o panorama arquitetônico da época, extremamente ligado aos movimentos europeus, resultado da formação européia de arquitetos brasileiros ou estrangeiros em atividade aqui, tais como Ramos de Azevedo, Víctor Dubugras, José Van Humbeeck e Manuel Sabater.

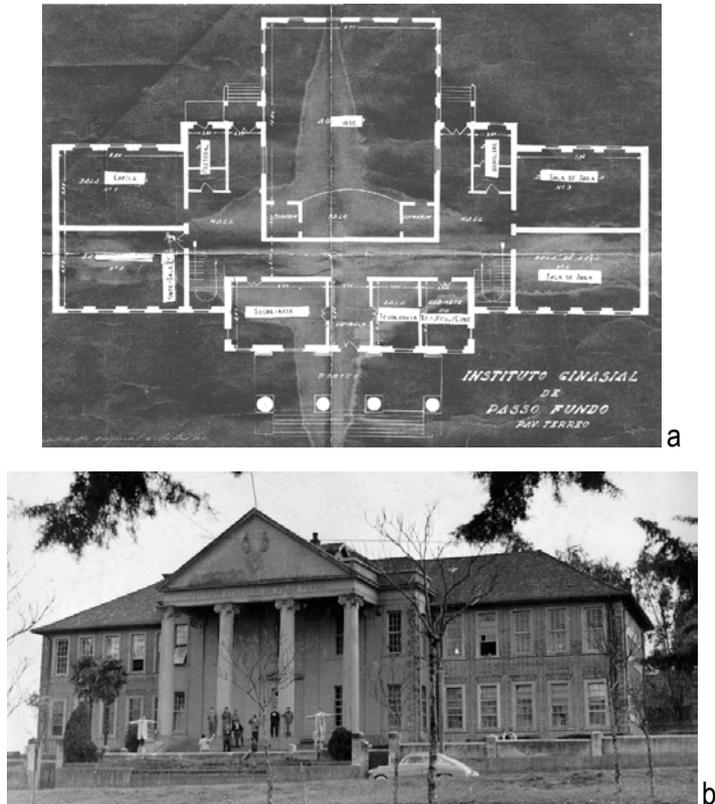


FIGURA 2.6 - Instituto Ginásial, Prédio Texas, Passo Fundo - RS, 1920.

a. planta baixa do pavimento térreo.

FONTE: reprodução do projeto original.

b. fachada frontal.

FONTE: foto anônima, 196-.

Seguindo essas mesmas influências, foi construído o *Instituto Educacional*, em Passo Fundo – RS (FIG. 2.6), já na segunda década do século XX, porém demonstrando a persistência da composição e uso dos estilos historicistas do século anterior, ainda empregando os elementos de composição acadêmicos, representados pela simetria transversal das plantas e fachadas, reforçada pelo emprego de pórtico principal com colunas jônicas.

No âmbito internacional, os elementos de arquitetura, representados pelos fechamentos, passaram, nas primeiras décadas do século XX, a cumprir papel diferenciado, deixando a função estrutural e de suporte das ordens de colunas para desempenhar apenas a função de limitar os espaços e

volumes, naquele momento baseados na geometria pura defendida pelos movimentos artísticos abstracionistas.

No Movimento Moderno, os elementos de composição da concepção acadêmica foram substituídos por elementos abstratos, fazendo com que a forma fosse guiada por razões funcionais, sem regras de composição de conhecimento prévio, de acordo as definições teóricas do funcionalismo/racionalismo.

Os planos verticais e horizontais regulares receberam, então, um papel ativo no projeto, na busca da veracidade construtiva e formal. Sobre isso, Corona Martinez (1998, p. 161) afirma que *“las formas geométricas simples son aplicables siempre, porque son económicas y fáciles de captar; las formas constructivas y utilitarias son esenciales y pueden evolucionar; las formas estilísticas son circunstanciales”*.

A planta livre de Le Corbusier, com espaços universais e contínuos, tornou-se característica deste período, momento em que a industrialização tomou impulso, sendo determinante na produção arquitetônica, a ponto de estar relacionada com a produção industrial estandarizada.

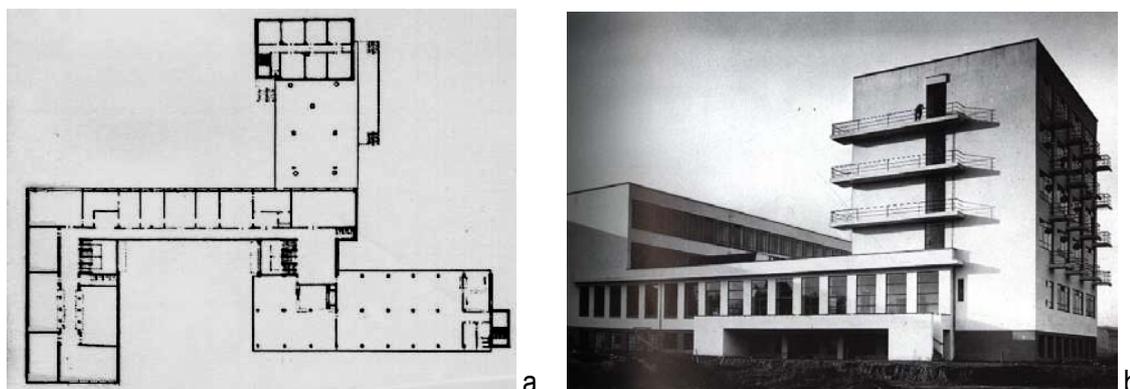


FIGURA 2.7– W. Gropius, *Bauhaus*, Dessau, Alemanha, 1925/26.

- a. planta baixa do 1º pavimento;
- b. vista sudeste.

FONTE: GÖSSEL; LEUTHÄUSER, 1997, p. 147.

A *Bauhaus*, de W. Gropius (FIG. 2.7), por sua vez, representa a produção deste “expressionismo funcionalista”, contrapondo a concepção acadêmica simétrica à liberdade de composição de planimetria e volumetria regular, repetida por toda a primeira metade do século XX, ainda que em alguns casos em composições intermediárias, como demonstram os estudos de Warchavchik para escolas no interior de São Paulo (FIG. 2.8), nos quais, embora a volumetria se relacione com o

funcionalismo ainda em formação, faz ainda referências à planta com a simetria da concepção acadêmica.

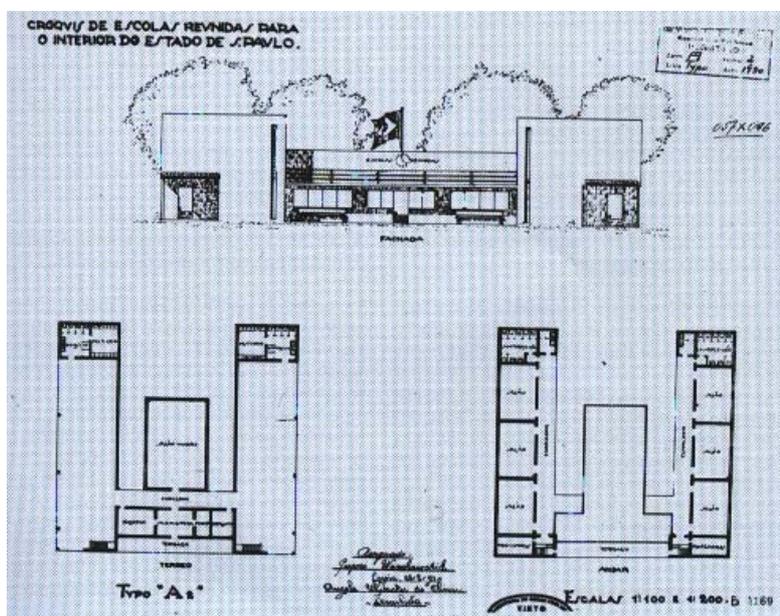


FIGURA 2.8 – G. Warchavchik, croquis para escolas reunidas, São Paulo - SP, 1930.
 FONTE: FERREIRA; MELLO, 1994, p. 92.

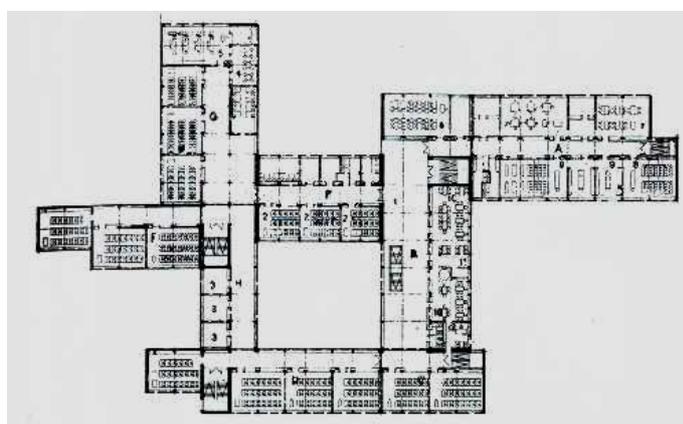


FIGURA 2.9 – J. Gründel; H. Kurz, Instituto de Ciências, Auschaffenburg, Alemanha.
 Planta baixa.
 FONTE: PETERS, 1974, p. 33.

As FIG. 2.9 e 2.10 exemplificam essa mesma metodologia de projeto, na qual a disposição dos espaços em planta segue uma organização a partir da funcionalidade, explicitada através de organogramas, interrelacionando todas as necessidades espaciais e distributivas (circulações) do edifício, muitas vezes transportados diretamente para as plantas baixas, conforme mostra a FIG. 2.11.

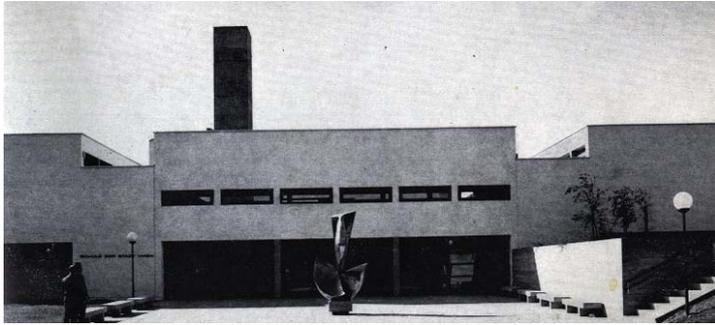


FIGURA 2.10 – G. Peichl, escola em In der Krim, Viena, Áustria.
Vista frontal
FONTE: PETERS, 1974, p. 21.

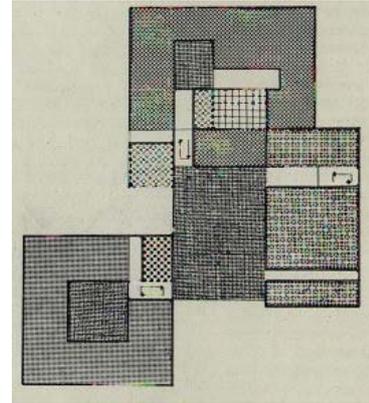


FIGURA 2.11 – A. J. L. Bayer, esquema de organograma para instituto de artes.
FONTE: PETERS, 1974, p. 97.

Na segunda metade do século XX, começou-se a questionar os processos projetuais do Movimento Moderno, ocasião em que foram revisados e/ou reforçados os conceitos e paradigmas definidores do projeto.

A arquitetura que Montaner (1988) chamou de “arquitetura da terceira geração” tende ao abandono da exclusividade da máquina, através da reinterpretação dos valores formais da cidade, da natureza e das culturas pré-industriais, criando uma metodologia mais aberta, capaz de responder aos requisitos contextuais e de intenção de humanização das concepções arquitetônicas, valorizando a produção vernacular.

Sob estas perspectivas teóricas, os edifícios eram projetados de forma a alterar o panorama vigente das fachadas estritamente lisas, homogêneas e funcionais, tratando-as de maneira a mostrar a individualização e a diversidade formal com a mesma liberdade geométrica presente na organização dos espaços, o que na produção pós-moderna revelou-se através da recuperação e interpretação da composição arquitetônica antecedente, características do movimento.

Para Banham (1975, p. 163, tradução do autor), questionando a arquitetura funcionalista e incluindo outras considerações para o projeto, a substituição das paredes por uma “membrana mínima entre interiores e exteriores” abandonou as vantagens de massa e substância – capacidade térmica, isolamento térmico e acústico, privacidade visual -, reduzindo-as ao nível de complemento ideal entre os espaços da estrutura.

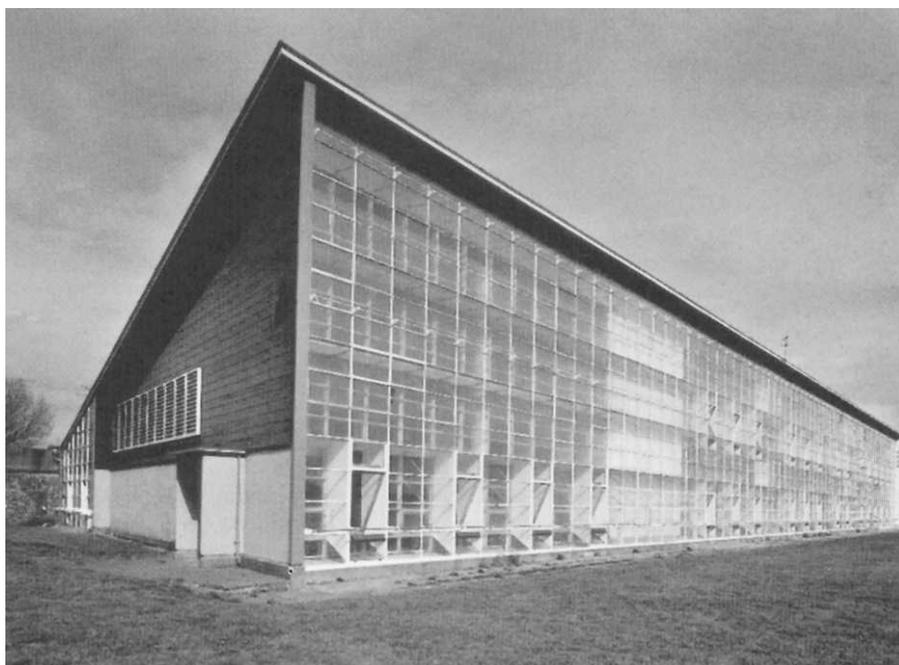


FIGURA 2.12 – E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
Fachada sul. Parede solar.
FONTE: HAWKES, 1996, p. 12.

Na *Wallasey School* (FIG. 2.12), de Emslie Morgan, citada pelo mesmo Banham (1975, p. 310-313) como marco na restauração da função ambiental na teoria e prática arquitetônica, antecipando as preocupações da crise energética da década de 70, há a busca de uma arquitetura inserida no contexto regional e ambiental, a qual é chamada de “arquitetura bioclimática”, incluindo, na concepção projetual, os requisitos ambientais e dos usuários de maneira mais incisiva.

Fawcett (1999, p. 73, tradução do autor) afirma que com esta obra “o ‘diagrama’ do edifício e seu resultado formal se distancia das tipologias escolares em uso (naquele momento de blocos justapostos ou em pátio), adotando, em seu lugar, uma clara organização ‘linear’, como resultado direto de sua radical estratégia ambiental”, representando, assim, uma postura diferenciada na concepção arquitetônica, o que introduz “um novo vocabulário da criação da forma” (idem, p. 16).

Essa mesma metodologia de projeto a partir da construção autóctone e de inspiração orgânica, contextualizada com o entorno natural, que Frampton (1997, p. 381-382) caracterizou como “regionalismo crítico”, é evidenciada na FIG. 2.13.

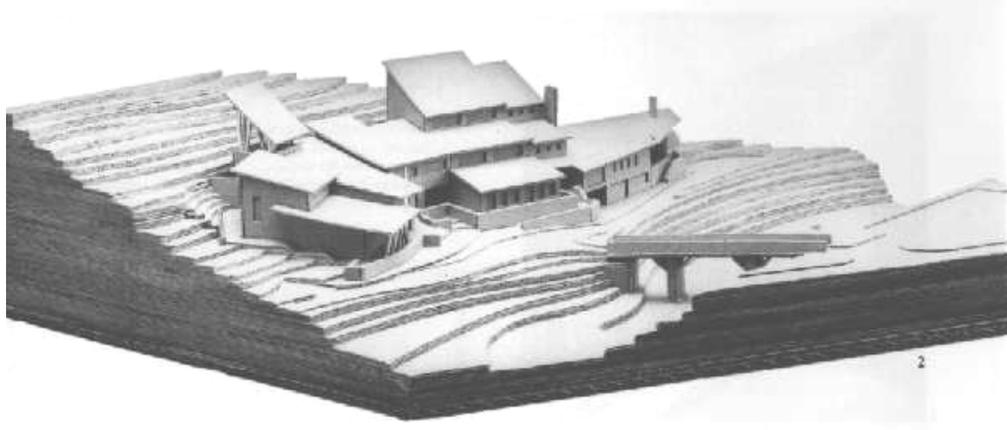


FIGURA 2.13 – G. Turányi; L. Földes, Escola no bosque, Visegrád, Hungria, 1996.
Vista da maquete.

FONTE: MORAVÁNSZKY, 1997, p. 23.

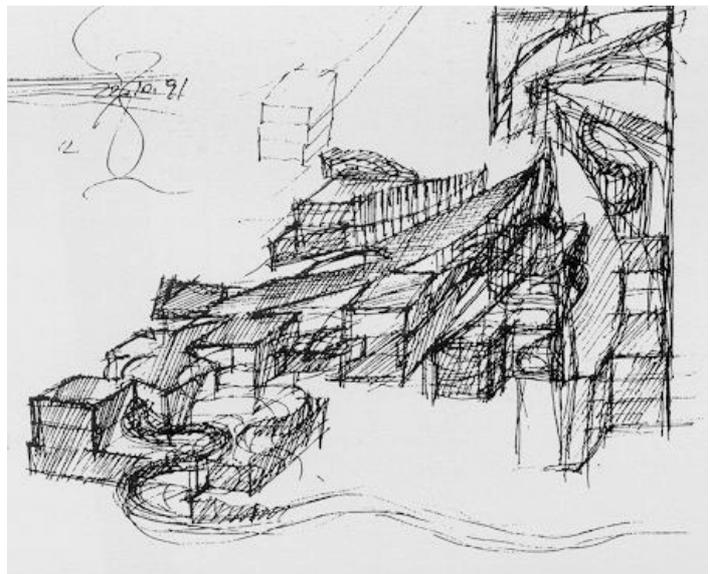
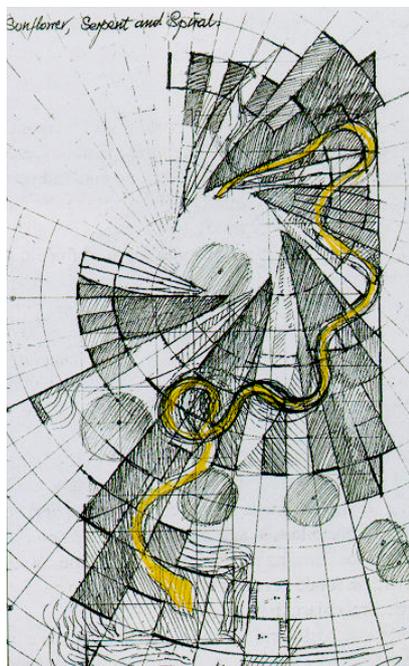


FIGURA 2.14 – Z. Hecker, Escola Heinz Galinski, Berlin, Alemanha, 1993.

a. estudo de implantação;

b. croqui da volumetria.

FONTE: JAEGER, 1996, p. 16; 22.

A FIG. 2.14 ilustra a complexa e diversificada produção contemporânea, apresentando momentos iniciais da elaboração do projeto, na qual as características simbólicas das soluções formais determinam uma arquitetura expressionista e emotiva, sendo que as metáforas formais do autor do projeto, de acordo com Jaeger (1996, p. 16-25), remetem a uma utilização de elementos de arquitetura de maneira diferenciada, ao relacioná-los [sic] com elementos da natureza (no croqui implantação estão representados o girassol e a serpente) e linhas orgânicas (a espiral).

A prática reflexiva utilizada por Frampton (1997, p. 399) para definir o panorama arquitetônico contemporâneo, cuja discussão teórica e prática resulta no “desenvolvimento de manifestações da criatividade tectônica” (idem), abre perspectivas para uma arquitetura menos hermética, mais complexa e diversificada, apontando para uma pluralidade de soluções passíveis de aplicação com relação ao tema específico deste trabalho - edificações escolares -, agregando os conceitos em discussão em torno das propostas de sustentabilidade da arquitetura.

3 EDIFICAÇÕES ESCOLARES: EXIGÊNCIAS PARA PROJETO

As exigências das edificações escolares são relativas aos aspectos determinados pelas demandas locais. Uma escola adequada, provavelmente, é aquela que, dentre outras coisas, responde positivamente às necessidades de toda a comunidade envolvida: professores, administradores, pais e alunos.

Cabe aos arquitetos a elaboração de projetos de edificações escolares cujo objetivo seja o de contribuir para o progressivo aumento da qualidade dos ambientes escolares, e, conseqüentemente, para que os espaços criados reflitam as preocupações vigentes e, de fato, a educação cumpra seu papel de agente de desenvolvimento das potencialidades da criança, sociabilizando-a e ampliando a sua criatividade e o seu senso crítico. Assim,

o prédio escolar deve ser adequado às exigências funcionais e operacionais, bem como às características socioculturais da comunidade e às bio-psíquicas dos seus usuários, assegurando, ao mesmo tempo, níveis ótimos de higiene e conforto ambiental, que possibilitem o desenvolvimento pleno das atividades pedagógicas (SÃO PAULO, 1977, v.7).

O planejamento da edificação escolar, segundo Caudill (1954, p. 20), é o resultado de um balanço trilateral, no qual se inter-relacionam três fatores: educação, ambiente e economia, sendo que o sucesso do projeto reside na capacidade do arquiteto em ajustá-los, de forma a atingir um dimensionamento equilibrado para esses três elementos.

Embora se concorde com o ponto de vista acima, foi utilizada, nesta dissertação, uma classificação diferenciada, com uma abrangência maior, a qual considera, implicitamente, os mesmos três fatores acima citados. Esses fatores muitas vezes não são independentes, mas sim interligados, sendo

necessária, para a consideração de um ponto, a análise de outro(s), podendo, inclusive, os mesmos serem incompatíveis, de acordo com as diretrizes a serem seguidas, ou seja, a partir do levantamento das variáveis envolvidas e da respectiva avaliação de sua influência e importância no contexto específico de cada projeto.

São os seguintes os elementos de abordagem na elaboração de projetos de edificações educacionais:

1. exigências pedagógicas;
2. exigências funcionais;
3. exigências formais;
4. flexibilidade;
5. habitabilidade;
6. sistemas estruturais e construtivos;
7. racionalização construtiva e economia.

Tal sistematização não pretende abarcar todos os elementos relacionados ao tema, mas sim estabelecer um ponto de partida para a discussão e desenvolvimento do assunto.

3.1 Exigências pedagógicas

O espaço-escola, na acepção de Escolano (VIÑAO FRAGO; ESCOLANO, 1998, p. 26-27), poderá se constituir em um espaço para a satisfação das necessidades emocionais, físicas e intelectuais da criança - sujeito e não objeto da educação -, e, conseqüentemente, da edificação escolar. Ou ainda:

a escola, concebida como o lugar onde a criança é estimulada a “construir” seu próprio conhecimento, deverá organizar seus espaços de tal forma que contribua, facilite e promova a constituição do grupo, desde a escala micro, na sala de aula, até a escala macro, na escola como um todo (MACADAR, 1992, p. 5).

Desta forma, o primeiro ponto a ser atendido pelo desenho refere-se às exigências dos usuários e suas respostas ao ambiente (FIG. 3.1), considerando os referenciais didático-pedagógicos.



FIGURA 3.1 - Necessidades da criança frente à escola.
 FONTE: adaptado de CAUDILL, 1954, p.2.

O papel da educação e a função da escola, embora possuam diferentes abordagens, segundo as várias correntes pedagógicas existentes, comentadas no capítulo anterior, têm em sua base os mesmos princípios, com objetivos comuns à formação e à informação da criança. Destacam-se para a arquitetura, as propostas da escola piagetiana e seus desdobramentos - como a proposta construtivista -, e da escola montessoriana, tendo em vista que consideram o ambiente como desempenhando um papel relevante na formação do conhecimento e no processo de aprendizagem/desenvolvimento (VIÑAO FRAGO; ESCOLANO, 1998, p. 47-48).

De qualquer forma, deve-se considerar “a escola como ambiente de aprendizagem e como elemento curricular” (FORNEIRO, 1998, p. 229-230). Sendo assim, o modelo educativo, respeitando possíveis diferenças de programa de necessidades, pode resultar em diferentes edificações, o que significa que o desenho vai refletir essas posturas, sendo esse o critério definidor da edificação em todos os seus aspectos.

Quaisquer que sejam as linhas pedagógicas, a legislação sobre a educação no Brasil, através das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996), estabelece uma progressão formativa para a educação básica, dividida em três etapas:

- a) educação infantil: é a primeira etapa da educação básica, e visa ao desenvolvimento integral de crianças de zero a seis anos nos aspectos psicológico, intelectual e social, de forma a complementar a ação da família e da sociedade, ou ainda, sociabilizando-as e desenvolvendo suas habilidades, com a integração entre os seus aspectos físicos, emocionais, afetivos e cognitivos (Conselho Estadual de Educação - CEED, 1999; Conselho Nacional de Educação - CNED, 1999);
- b) ensino fundamental: tem por objetivo a formação básica do cidadão mediante o desenvolvimento do aprendizado da leitura, da escrita, do cálculo e habilidades, com a compreensão do meio natural e social que cerca o educando (CEED, 1984; CNED, 1998);
- c) ensino médio: visa à consolidação e ao aprofundamento dos conhecimentos desenvolvidos no ensino fundamental, com a preparação do educando para o trabalho e a cidadania (CEED, 2000).

3.2 Exigências funcionais

3.2.1 Implantação

O atendimento às necessidades educacionais de uma comunidade requer a definição de requisitos para a implantação de unidades de ensino a partir da análise dos terrenos destinados para escolas. Esses terrenos devem estar localizados de forma a propiciar fácil acesso viário, estando próximos ao centro demográfico da demanda a ser atendida pela escola, cuja delimitação física faz-se por obstáculos que possam vir a dificultar a mobilidade da população desta zona - rodovias, vias de alto tráfego e alta velocidade, ferrovias, cursos d'água, etc -, bem como por raios de abrangência relativos à faixa etária dos usuários e à sua capacidade de deslocamento. Embora corresponda a uma hipótese de ação, dependendo da capacidade física da escola e da população residente, é válido citar as determinações argentinas (ARGENTINA, 1996, p. 15-17) para os raios de abrangência para cada nível de ensino nas áreas urbanas, adaptadas ao sistema educacional brasileiro: para a educação infantil, o raio de abrangência é de 500 metros, ou o tempo de percurso de 10 minutos entre a residência e a escola; para o ensino fundamental, estabelecem-se raios de 1.000 metros para as séries iniciais e 1.500 metros para o ensino médio, respectivamente com tempo de percurso de 15 e 20 minutos.

Assim como outras edificações de interesse social, os edifícios escolares devem estar situados, preferencialmente, distantes de fontes causadoras de poluição de qualquer natureza (atmosférica, sonora, etc) e próximos de áreas verdes. Os terrenos devem apresentar condições topográficas adequadas (declividade mínima de 2% e não superior a 10%), orientação solar favorável, salubridade, segurança, disponibilidade de serviços e infra-estrutura, bem como determinadas características dimensionais, critérios estes presentes nas legislações estaduais para escolha de terrenos para edificações escolares (PARANÁ, 1970; RIO GRANDE DO SUL, 1977). Todos esses aspectos constituem-se, desta forma, em fator de atendimento aos requisitos da comunidade de inserção, além de refletir no projeto propriamente dito, impondo ou não agravantes para a escolha da tipologia a ser seguida e suas conseqüências econômicas.

3.2.2 Programação arquitetônica

A programação arquitetônica das necessidades funcionais é resultado de um conjunto de operações que permitem estimar os requisitos dos espaços em termos qualitativos, quantitativos e suas inter-relações em função de uma demanda determinada.

Forneiro (1998, p. 232-233) coloca a necessidade de diferenciação entre espaço e ambiente na escala da escola: o termo espaço refere-se a espaço físico, ou seja, a locais para desenvolvimento das diferentes atividades, caracterizadas pelos objetos, pelos materiais didáticos, pelo mobiliário, pela decoração, e conseqüentemente, pela edificação; por ambiente entende-se o conjunto do espaço físico e as relações estabelecidas no mesmo (afetos e relações interpessoais entre os usuários: crianças, professores e sociedade). Essa conceituação é válida ao considerar o edifício escolar a partir de uma concepção global, tal como é proposto neste trabalho.

Embora as características funcionais/programáticas da escola, ou seja, a organização dos espaços/ambientes, estejam relacionadas com o modelo educativo adotado e com suas particularidades, as atividades para a educação infantil (faixa etária de quatro a seis anos – pré-escola) e fundamental (crianças de sete a quatorze anos) foram sistematizadas pela Companhia de Construções Escolares do Estado de São Paulo - CONESP (SÃO PAULO, 1977, v. 7), em cinco grupos funcionais:

1. direção/administração – controle e coordenação de todas as atividades da escola e da relação com a comunidade e com os órgãos administrativos externos;

2. apoio técnico – planejamento, supervisão e orientação das atividades pedagógicas de toda a comunidade educacional (docentes, pais e alunos);
3. pedagógico – atividades específicas de ensino;
4. vivência – atividades recreativas, extracurriculares e de alimentação;
5. serviços gerais - funcionamento e manutenção.

Dentre esses grupos funcionais, o ambiente da sala de aula propriamente dito constitui-se no elemento de composição fundamental para o desenvolvimento e geração dos espaços, visto que, conforme afirma Zabalza⁷ (apud FORNEIRO, 1998, p. 236), “o ambiente de aula, enquanto contexto de aprendizagem, constitui uma rede de estruturas espaciais, de linguagens, de instrumentos e, finalmente, de possibilidades ou limitações para o desenvolvimento das atividades formadoras”.

Para a programação arquitetônica, as salas de aulas representam, além de elemento básico de projeto, o elemento de integração espacial com os demais ambientes dos outros grupos funcionais.



FIGURA 3.2 – Sala de aula de arranjo tradicional.
FONTE: Foto do autor.



FIGURA 3.3 – Sala de aula alternativa.
FONTE: ZERO HORA, 25 out. 2000, p. 4.

O espaço de aula é caracterizado de maneira a atender às especificidades funcionais e, principalmente, às atividades nele desenvolvidas. Daí a existência de salas de aula com o arranjo

⁷ ZABALZA, Miguel A. . *Didáctica de la educación infantil*. Madrid: Narcea, 1987.

tradicional do mobiliário adotado usualmente nas escolas brasileiras (FIG. 3.2) - com as carteiras escolares dispostas em linhas paralelas -, ambientes de laboratórios, salas de uso múltiplo e de arranjos diferenciados (FIG. 3.3). Na FIG. 3.4 são mostradas essas variações, tendo como parâmetro às características dimensionais dos espaços, exemplificando as possibilidades de serem desenvolvidas atividades diversas em compartimentos de dimensões similares, representando ambientes flexíveis, embora estes critérios (dimensão e flexibilidade) devam ser analisados de forma abrangente, conjuntamente com os demais elementos de abordagem.

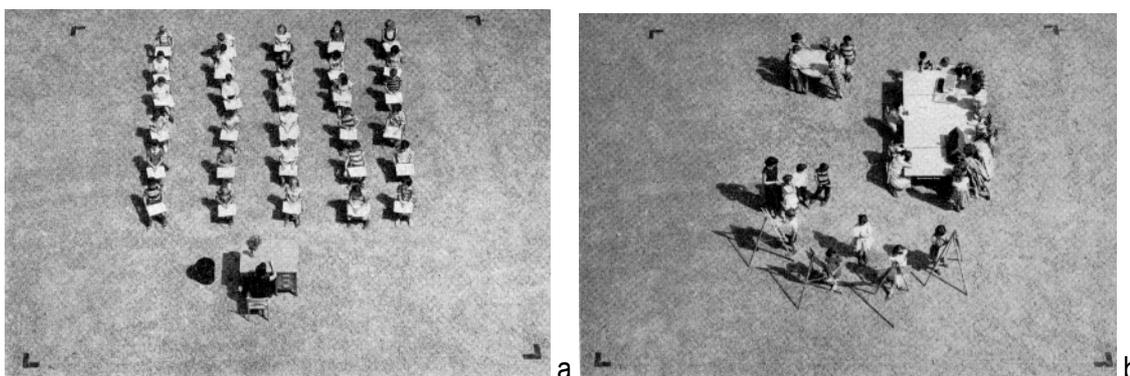


FIGURA 3.4 - Atividades típicas de sala de aula.
 a. arranjo tradicional. 6,096 x 4,572 m (20'x15').
 b. arranjo para atividades genéricas. 4,575 x 7,62 m (15' x 25').
 FONTE: CAUDILL, 1954, p. 30;33.

Os condicionantes dimensionais mínimos por aluno variam de acordo com a legislação específica do órgão administrativo competente. No caso de Passo Fundo, o Código de Obras e Edificações (PASSO FUNDO, 1996, p. 35) define as seguintes condições a serem satisfeitas para as salas de aula:

- a) área mínima de 1,20 m² por aluno;
- b) comprimento máximo de 8,00 metros;
- c) largura não excedente a 2,5 vezes a distância do piso à verga das janelas principais;
- d) pé-direito mínimo de 3,00 metros.

A atual legislação estadual (CEED - Resolução 246/1999 para a educação infantil e Parecer 200/1984 para o ensino fundamental) apresenta, da mesma forma, para cada aluno em sala de aula

área mínima de 1,20 m², para uma demanda ideal de 20 alunos (para educação infantil para a faixa etária de quatro a seis anos) e de 30 alunos por sala (no ensino fundamental). Com relação às condições físicas das edificações, são definidos critérios genéricos, basicamente de programa de necessidades mínimo.

O ANEXO A apresenta as exigências programáticas e dimensionais mínimas para edificações escolares, elaboradas pela Secretaria de Educação do Estado do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2000), complementando as legislações anteriormente citadas, da mesma forma como são definidos padrões próprios por outros estados - tanto em relação à programação arquitetônica mínima quanto às áreas mínimas.

Ainda relacionada à programação arquitetônica, a acessibilidade dos portadores de deficiências aos compartimentos é garantida por legislação específica (PASSO FUNDO, 1996, p. 35), que determina o fácil acesso às dependências de uso coletivo, administração e a 2% das salas de aula e sanitários, sendo esses os parâmetros ideais mínimos, baseados no que estabelece a NBR 9050 (ABNT, 1994). São definidas soluções específicas para o projeto especialmente quanto à circulação vertical, através da utilização de rampas com a declividade adequada, com o uso geral de 8,33%, tendo em vista que a sua implementação requer condições de superfície e comprimento que seguramente refletem diretamente no partido arquitetônico a ser adotado.

3.3 Exigências formais

Acreditando que a edificação escolar, pelas suas características formais, contribui para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem, dando resposta às exigências físicas e emocionais das crianças, deve-se admitir, também, que o ambiente certamente é capaz de suprir as necessidades evidenciadas na FIG. 3.1.

Na opinião de Roth (1957, p. 30, tradução do autor), “mais que a forma seguir a função, [...] a solução deve ser encontrada no problema em si”, abordando as máximas da arquitetura moderna formuladas por Louis Sullivan no final do século XIX. Em outros termos, os problemas não podem ser resolvidos com a aplicação de fórmulas genéricas. A concepção da edificação deve atender tanto aos requisitos funcionais como compositivos – geométrico/formais e simbólicos -, de maneira a

evitar-se o desenho estéril, ou seja, sem permitir as interações entre os usuários e o ambiente, independentemente de correntes de pensamento e crítica arquitetônica.



FIGURA 3.5 – I. Templeton; S. Harte, *Burhan Copse Infant School*, Tadley, GB, 1985. Escala dos usuários e mobiliário.
FONTE: WESTON, 1991, p. 75.



FIGURA 3.6 - N. Beasley; J. Dale, *Rookwood Infant School*, Eastleigh, GB, 1981.
Uso da cor em ambientes escolares.
FONTE: WESTON, 1991, p. 69.

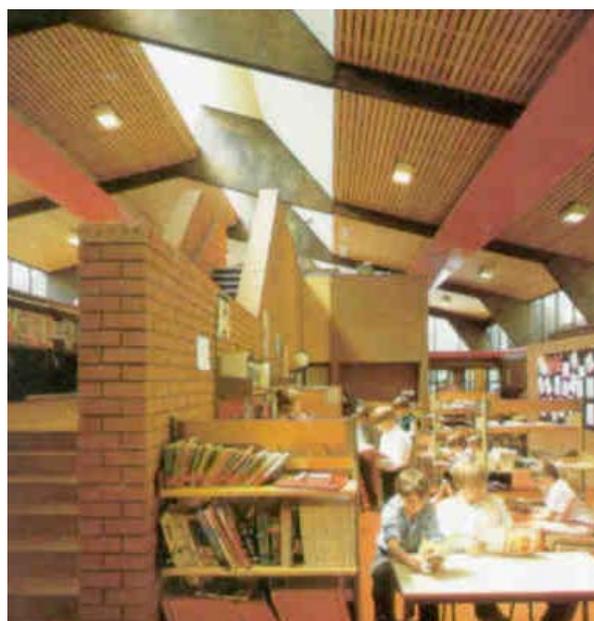


FIGURA 3.7 – M. Perkins; D. White, *Hulbert Middle School*, Waterlooville, GB, 1982.
Textura em ambientes escolares.
FONTE: WESTON, 1991, p. 96.

Em arquitetura, juntamente com os aspectos formais, na acepção mais restrita da palavra, devem ser considerados conceitos de escala e proporção relativas aos usuários (FIG. 3.5), cores e texturas do ambiente (FIG. 3.6 e 3.7), características que, para Forneiro (1998, p. 260-261), respondem às necessidades emocionais da criança, de forma a promover a sensibilidade e a criatividade dos

usuários, proporcionando, ainda, uma identidade espacial, o que remete à diferenciação anterior entre espaço e ambiente escolar.

Por outro lado, as decisões formais – geométricas - quanto à tipologia a ser adotada, têm uma relação intrínseca com a otimização dos recursos financeiros disponíveis, de grande influência especialmente quando se refere à escola pública de países em desenvolvimento. A relação forma/custos foi objeto de estudos que resultaram na recomendação de alguns padrões de aplicação comentados na seqüência deste trabalho, sendo, obviamente, objeto de ponderação de maneira global para cada projeto específico a ser desenvolvido.

3.4 Flexibilidade

As propostas pedagógicas estão em constante evolução, adequando-se às mudanças dos valores sociais, culturais, econômicos e políticos, com a contínua reavaliação e redimensionamento dos processos didáticos. Assim, a questão da flexibilidade é introduzida na concepção da edificação como forma de propiciar a expansão e a diversificação das atividades cotidianas de aprendizagem, objetivada, conforme coloca Caudill (1954, p. 136-140), através da combinação de fluidez, versatilidade, conversibilidade e expansibilidade dos espaços.

A flexibilidade espacial, primeiramente, deve possibilitar e facilitar a expansão e contração dos espaços; em segundo lugar, deve permitir que o interior das salas de aulas, ou mesmo de outras unidades da edificação como um todo, receba alterações econômicas e práticas, adaptando-se às demandas de espaço útil ou às técnicas de aprendizagem, em termos qualitativos e quantitativos; em terceiro lugar, deve considerar, sempre, a utilização de áreas para múltiplos propósitos (LOPEZ, 1956, p. 5).

A adaptabilidade é uma das garantias de que a edificação servirá aos seus propósitos por um período mais longo, com utilização mais intensa do que quando concebida da forma tradicional, rígida. Assim, a idéia da flexibilidade não é apenas um requisito pedagógico, como também econômico.

Deve-se salientar, ainda, que a flexibilização e a adaptação dos ambientes devem ser consideradas na perspectiva de evitar-se um espaço aberto indiferenciado, onde tudo é possível e nada está

predeterminado, o que, embora à primeira vista signifique algumas vantagens na simplificação do programa e na economia para adaptações futuras, pode conflitar com as propostas didático-pedagógicas quanto à identidade dos usuários com os espaços e suas respectivas funções.

A flexibilização da construção implica, por fim, a tomada de decisões relativas à adoção do sistema estrutural e de materiais construtivos específicos e adequados.

3.5 Habitabilidade

A FIG. 3.1 apresenta as necessidades da criança, sendo que várias delas referem-se a condições de habitabilidade: conforto térmico, ventilação, conforto visual e conforto acústico.

Aos fenômenos ambientais que atuam sobre os ocupantes dos espaços construídos, influenciando no bem-estar e na percepção, Serra (1999, p. 7) chama de “*climas de la arquitectura*”: o clima do ar e da umidade, o clima da luz e do sol, o clima do silêncio, etc. O importante é que são estabelecidos parâmetros ambientais ou de conforto, através das características objetivas de um espaço, mensuráveis em termos físicos e que resumem a ação que o espaço exerce sobre os usuários.

Na seqüência, são comentadas tais características e condições de habitabilidade, nos seus aspectos conceituais gerais e, especialmente, nas necessidades mínimas a serem atendidas, tendo em vista as legislações específicas para edificações escolares existentes, as quais são objetos de estudo mais aprofundados no capítulo 6, no qual relacionam-se as estratégias de projeto de edificações bioclimáticas - escolas solares passivas.

3.5.1 Conforto térmico

O conforto térmico, segundo Givoni (1969, p. 54, tradução do autor), “pode ser definido negativamente como a ausência de irritação e desconforto em relação ao calor ou frio, ou positivamente, como um estado de envolvimento agradável”. A ASHRAE (1992, p. 6, tradução do autor) o define como “aquela condição da mente na qual é expressa a satisfação [do indivíduo] com o ambiente térmico”, introduzindo que tais sensações de conforto/desconforto requerem avaliações subjetivas.

Visto que as variações das sensações de conforto térmico podem apresentar variações de pessoa para pessoa, ocorre uma dificuldade de satisfação de todos. Desta forma, segundo a ASHRAE (1992, p. 29), considera-se um ambiente em conforto, para as condições gerais, quando é atingido o VMP - voto médio predito⁸ - de 80% dos ocupantes satisfeitos.

O homem responde às situações de desconforto através de trocas térmicas, visando ao equilíbrio energético entre o corpo humano e o meio, como é de conhecimento no campo em estudo. Para tanto, lança mão de processos metabólicos (mecanismos termo-reguladores) para ganho e perda de calor. Esse equilíbrio depende da atividade física e da vestimenta do indivíduo e sofre variações de acordo com o local onde cada atividade é desenvolvida. Fanger⁹ (apud ASHRAE, 1992) apresenta, ainda, a temperatura da pele e a taxa de transpiração como parâmetros de conforto pessoais.

Os parâmetros ambientais que interferem nas condições térmicas do ambiente interno são a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), a temperatura das superfícies envolventes (temperatura radiante), o movimento do ar e a umidade. Conforme Yannas (1994, p.10), cada uma dessas variáveis interfere nas trocas térmicas. Assim, a temperatura e o movimento do ar afetam a taxa de dissipação, pelo corpo humano, do calor por convecção; a temperatura das superfícies influencia as trocas térmicas por radiação e condução; a umidade, no processo de evaporação; a radiação solar, tanto na temperatura do ar do ambiente como na das superfícies; a exposição solar direta, tanto externa como interna, causa a sensação de aquecimento: a radiação absorvida pela vestimenta ou pela pele converte-se em calor percebido como aumento de temperatura.

Considerando que o desenho da escola deve proporcionar o bem-estar dos usuários, e que, conforme Olgyay (1998, p. 14, tradução do autor), “os efeitos do meio ambiente incidem diretamente tanto na energia como na saúde do homem, sendo comum a sensação de que em certos dias as condições atmosféricas estimulam as atividades e em outros influenciam negativamente os esforços físicos e mentais”, inicialmente é importante o levantamento dos dados psicrométricos envolvidos e específicos do local de inserção da edificação (variáveis ambientais citadas acima que caracterizam o clima local), assim como a utilização dos vários métodos de aplicação desses dados no projeto. Entretanto, a legislação brasileira toca nessa questão de forma superficial, ou em alguns casos, omite-se a respeito.

⁸ O VMP, ou *Predicted Mean Vote* (PMV), é um índice que representa a sensibilidade de um grupo de pessoas traduzido por uma escala de sensação térmica: quente, morno, levemente morno, neutro, levemente frio, frio e gelado (ASHRAE, 1992, p. 6).

⁹ FANGER, P. O.. *Thermal comfort*. Malabar, USA: Robert E. Krieger, 1982.

Tendo como base esses parâmetros, pode se dizer que toda a envoltória contribui para um bom desempenho do ambiente interno (FIG. 3.8). Aspectos como orientação solar, características físicas dos materiais de construção (resistência e inércia térmica) e as características formais e dimensionais de elementos, tais como áreas e volumes dos ambientes, dimensões de vãos, sistemas de exposição/proteção à radiação, etc, culminam na concepção da edificação, assim como na qualidade e quantidade de energia natural disponível a ser empregada na solução de problemas relacionados ao conforto térmico dos usuários.

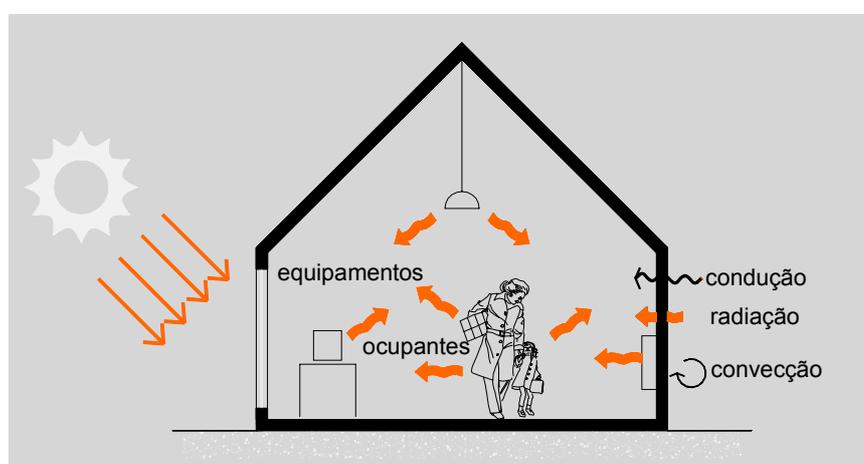


FIGURA 3.8 - Ganhos energéticos para conforto térmico.
 FONTE: adaptado de GREAT BRITAIN, 1994, p.10.

Em relação à insolação, e conseqüentemente aos ganhos térmicos da edificação, a normativa estadual (RIO GRANDE DO SUL, 2000, p. 12) recomenda que “a orientação solar das janelas principais das salas de aulas deverá ser, preferencialmente, entre o quadrante norte-leste”.

A legislação argentina (ARGENTINA, 1996, p. 55) apresenta alguns avanços no estabelecimento de critérios e normas básicas para a arquitetura escolar, salientando, ainda, as necessidades de insolação a partir do conceito *psicohigiênico*, recomendando, nas salas de aula um número mínimo de duas horas de sol entre as 9h e 16h no dia mais desfavorável do ano letivo. A aplicação para os casos locais deve ser cautelosa, de forma a evitar superaquecimento indesejável pela exposição à radiação solar nos períodos mais quentes, aspecto esse a ser abordado na continuidade deste trabalho.

3.5.2 Ventilação

A ventilação dos ambientes tem como uma das funções a manutenção da qualidade do ar, com a renovação dele no ambiente - chamada de ventilação higiênica -, independente de condições climáticas, localizada preferencialmente acima da zona de ocupação dos usuários. Ainda deve permitir a eliminação do excesso de umidade decorrente do vapor d'água eliminado pela respiração ou presente na atmosfera em função das variáveis climáticas. Além disso, deve propiciar a ventilação de conforto, auxiliando nas trocas térmicas entre os usuários e o ambiente, pelo resfriamento evaporativo da pele através da sudorese, especialmente em climas quente-úmidos e na estação quente de climas compostos úmidos. Por fim, possibilitar o resfriamento por convecção das superfícies interiores.

As respectivas taxas de renovação do ar – relação entre o volume do ar de ventilação que penetra no ambiente por hora e o volume do mesmo (COSTA, 1982, p. 174) são apresentadas na TAB. 3.1:

finalidades	Taxa de renovação do ar (TA/h)
ventilação higiênica	0,1
eliminação da umidade	1,0
ventilação de conforto	10
resfriamento das superfícies	100

TABELA 3.1 – Comparação entre diferentes ordens de grandeza na ventilação.
 FONTE: SCHMID, 2000, p. 3.

A fim de cumprir essas finalidades, a ventilação pode ser originada de duas maneiras: pela ação dos ventos - ou ventilação dinâmica – e pela diferença de temperatura (efeito chaminé ou ventilação térmica), assuntos a serem abordados na seqüência do trabalho.

De maneira geral, a ventilação natural desejada pode ser obtida com o correto posicionamento e dimensionamento dos vãos e através da geometria dos espaços, de acordo com a sua função. Para o posicionamento das aberturas, é imprescindível o conhecimento do regime de ventos, obtendo-se, assim, níveis adequados às estações do ano, através do aproveitamento dos ventos nas estações mais quentes e proteção em relação aos ventos frios, com a utilização, preferencialmente, de aberturas em paredes opostas, propiciando a ventilação cruzada.

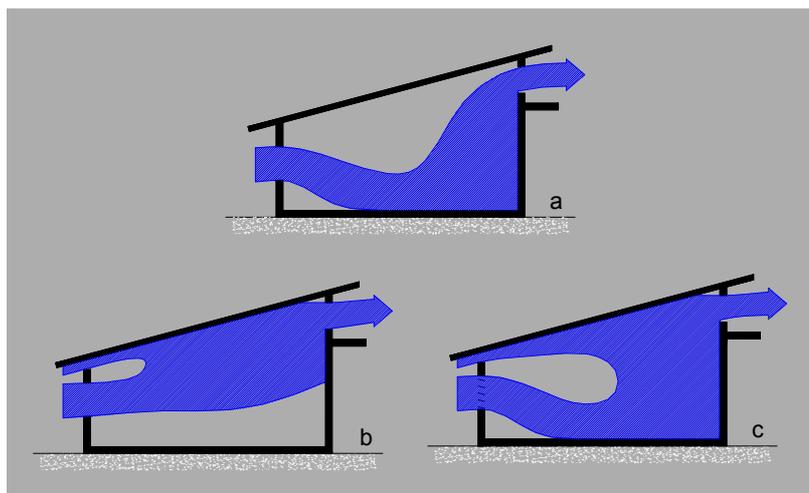


FIGURA 3.9 - Ventilação natural nos edifícios.
 FONTE: adaptado de MASCARÓ, L., 1985, p. 92.

L. Mascaró (1985, p. 90-92), através da FIG. 3.9, fornece alguns subsídios para a questão da ventilação: em “a”, a ventilação ocorre no nível do usuário, com zonas de ar estagnado junto ao forro; já em “b”, o fluxo suplementar retira o ar quente das proximidades do forro; em “c”, o fluxo pode ser direcionado para o usuário. O fechamento do fluxo principal, inferior, facilita a ventilação higiênica de inverno. Isso demonstra que o bom desenho das esquadrias é fator essencial na ventilação dos ambientes.

Em termos normativos, a NBR 6401 (ABNT, 1980, p.5) estabelece que a taxa de renovação do ar em salas de aula deve ficar em torno de $50\text{m}^3/\text{h}$ por ocupante, sendo o mínimo a vazão de $40\text{m}^3/\text{h}$. O Código de Obras e Edificações do Município de Passo Fundo (PASSO FUNDO, 1996, p. 35; 46) determina que, para salas de aulas, deverá ser proporcionada a necessária troca de ar através de ventilação cruzada, com janelas situadas em faces opostas, dimensionadas pela fração mínima de $1/12$ da área do piso do ambiente para os vãos de ventilação, enquanto, que para a iluminação natural, a fração deve ser de $1/6$.

Esse tipo de generalização, ao relacionar o dimensionamento de vãos apenas em proporção à superfície do ambiente, pode ser considerado parcial, pois não observa que a ventilação natural depende de vários outros aspectos, comentados anteriormente, o que inclui desde características fixas específicas de cada edificação ou de cada compartimento (forma, relação com o entorno e ocupação) até fatores variáveis de temperatura e pressão interiores e exteriores, além, obviamente, das características de direção, velocidade e frequência do vento. Em suma, o dimensionamento de

vãos de ventilação, na realidade, é o resultado de um conjunto de elementos, dentre os quais a superfície do ambiente é apenas um dos componentes.

A legislação estadual específica para escolas apenas menciona a necessidade de ventilação direta nos ambientes, sugerindo que “as janelas com peitoril mais baixo devem ficar na fachada externa que permita a incidência de luz pela esquerda do aluno. As janelas de peitoril mais alto devem estar localizadas na fachada da circulação, permitindo uma ventilação cruzada” (RIO GRANDE DO SUL, 2000, p.23).

3.5.3 Conforto visual

O conforto visual permite o máximo rendimento da visão com o mínimo esforço. Assim, “a boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento” (LAMBERTS et al., 1997, p. 44).

A disponibilidade de luz natural é determinada pela radiação solar incidente e pela parcela de carga luminosa produzida. Desta forma, relaciona-se com o ângulo de altura solar, com o ângulo de incidência da luz solar na superfície considerada e com as condições atmosféricas. Pode-se dizer, portanto, que ela está diretamente relacionada com a latitude local.

De acordo com L. Mascaró (1985, p.104), “do ponto de vista da iluminação natural, a fonte de luz diurna considerada é a abóbada celeste”, além da radiação refletida pela nebulosidade e superfícies - radiação difusa. As características de nebulosidade, além da trajetória solar, contribuem para que a abóbada celeste se apresente mais ou menos luminosa, com variações diárias e no decorrer do ano, podendo apresentar-se encoberta, parcialmente nublada ou clara.

A iluminância - distribuição da luz sobre uma superfície expressa em *lux* -, no caso específico da luz natural que incide num ambiente interno, além das condições da abóbada celeste variáveis de acordo com as condições de tempo e clima, depende de fatores como orientação, formas do ambiente e características de cor e textura das superfícies, as quais determinam a luminância - intensidade de luz refletida (refletância) ou transmitida (transmitância) por uma superfície em determinada direção -, além, obviamente, da localização e dimensões dos vãos de iluminação, bem como dos dispositivos de sombreamento (FREIRE, 1996, p. 28-45).

Ainda de acordo com Freire (1996, p. 20), “as exigências do desempenho visual para as tarefas desenvolvidas em salas de aula tornam o conforto luminoso um requisito básico, sendo um dos maiores incentivos para o estudo das questões ligadas à iluminação natural deste tipo de ambiente”. A *Alternative Energy Corporation* - AEC (1991, p. 1, tradução do autor), quanto a isso, apresenta a edificação escolar como um significativo espaço para a utilização da luz diurna para iluminação de ambientes tendo em vista benefícios psicológicos e de saúde para os usuários, pois “a luz natural provê um importante senso de conexão à natureza, por seu amplo espectro eletromagnético de qualidade superior a qualquer outra fonte luminosa gerada artificialmente”, essencial ao desenvolvimento infantil. Igualmente, coloca como condição favorável ao seu emprego a disponibilidade durante os períodos de maior necessidade de iluminação interna e a possibilidade de soluções alternativas para o consumo de energias não-renováveis.

As exigências de iluminação variam de acordo com as atividades desenvolvidas. Porém, nas salas de aula, deve ser assegurada uma boa iluminância natural e artificial sobre os planos de leitura: carteira escolar e quadro-negro, bem como para outros planos de trabalho definidos por atividades diferenciadas.

O correto dimensionamento das superfícies iluminantes para o aproveitamento da luz natural passa, conseqüentemente, pelos dados relativos não apenas à iluminação, como também pelos aspectos de ganhos ou perdas de calor, adequando a exposição ou a proteção à radiação solar às necessidades locais de conforto, evitando, assim, os riscos de ampliação das situações de desconforto - superaquecimento ou resfriamento.

A conseqüência da localização das fontes de luz natural na sala de aula é mostrada na FIG. 3.10: em “a”, é apresentada uma distribuição de luz menos uniforme, com janelas em apenas um dos lados, enquanto que em “b”, com a localização de aberturas em paredes opostas, a distribuição torna-se mais eficiente; já em “c”, os dois tipos anteriores de localização das fontes luminosas são comparados em termos quantitativos (curvas *isolux*). Deve ser salientado que a posição dos quadros-negros em relação aos vãos de iluminação natural preferencialmente deve permitir que a luz incida pelo lado esquerdo dos alunos (RIO GRANDE DO SUL, 2000, p.23).

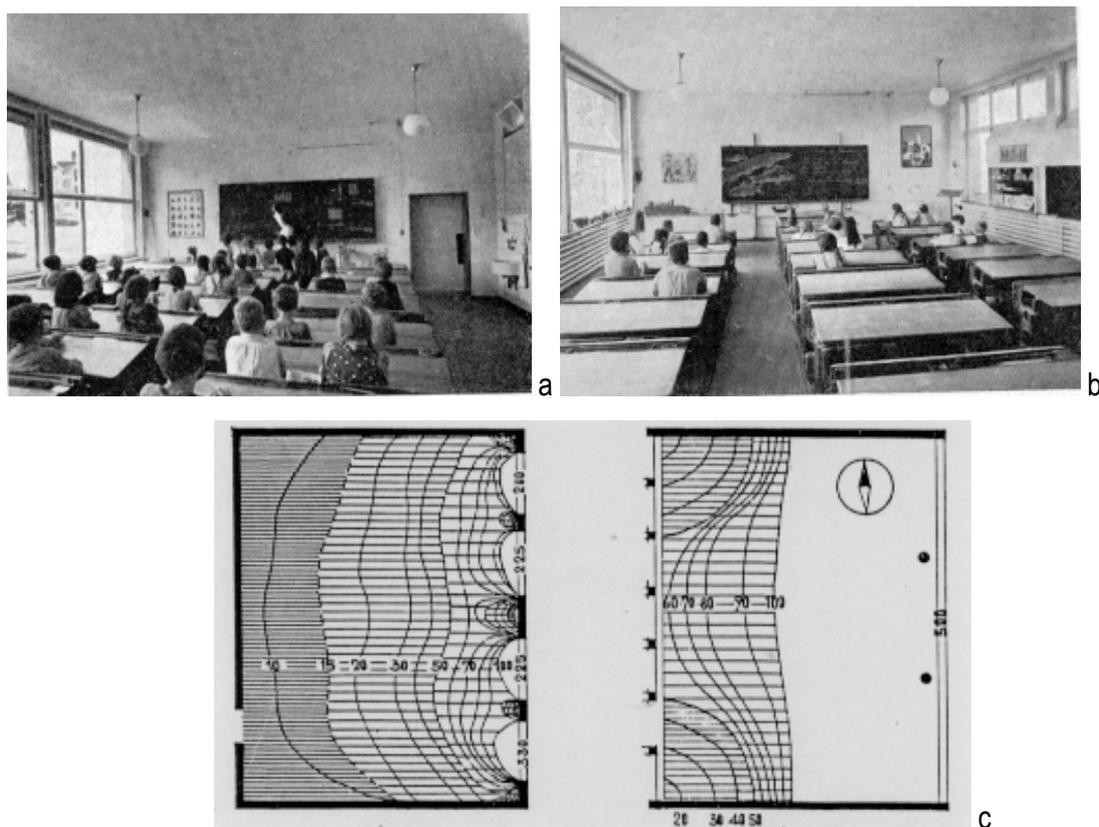


FIGURA 3.10 – Iluminância natural em salas de aula.

- a. iluminação unilateral;
- b. iluminação bilateral;
- c. curvas *isolux*.

FONTE: ROTH, 1957, p. 54.

A NBR 5413 (ABNT, 1992, p. 3-4) estabelece os valores de iluminâncias, sendo que a seleção do valor recomendado deve levar em consideração o grau de precisão das tarefas visuais necessárias e das características de refletâncias e contrastes do ambiente. A Norma indica, para uso em casos genéricos, o valor intermediário, conforme a TAB. 3.2, para alguns ambientes escolares, com o estabelecimento de valores mínimos e máximos, segundo os requisitos de conforto visual específicos:

ambiente	Iluminâncias (lux)
sala de aula	200 – 300 – 500
quadros- negros	300 – 500 – 750
trabalhos manuais	200 – 300 – 500
laboratórios	300 – 500 – 750

TABELA 3.2 – Iluminâncias para ambientes escolares.

FONTE: ABNT, 1992, p. 4.



FIGURA 3.11 - V. Artigas, *EEPSG Conselheiro Crispiano*, Guarulhos - SP, 1961.
Iluminação artificial em salas de aula.
FONTE: FERREIRA et al., 1998, p. 223.

A dificuldade em atingir-se uma iluminância diurna satisfatória exclusivamente através da luz natural indica a necessidade do emprego de sistema de iluminação artificial suplementar (FIG. 3.11), baseado em um desenho integrado da utilização das condições naturais favoráveis com a luz artificial, de maneira a complementá-las. Da mesma forma, a iluminação noturna deve receber cuidados relativos à eficiência energética, com o uso de sistemas e equipamentos capazes de reduzir o consumo de energia, sem, entretanto, representar redução nos níveis qualitativos e quantitativos de iluminação dos ambientes.

3.5.4 Conforto acústico

A escola é um estabelecimento de promoção da aprendizagem, onde a intelegibilidade da comunicação oral adquire um *status* importante. Pode-se dizer, dessa forma, que o comportamento acústico dos vários ambientes escolares interfere no desempenho das funções primárias do edifício. Knudsen e Harris (1953, p. 328) ressaltam que a exclusão de ruído e a redução da reverberação são indispensáveis na adaptação das salas de aula para a função da instrução oral.

Duas condições são essenciais para um bom projeto acústico: isolamento dos ruídos externos às salas de aula (questo a ser incluído no momento da definição do terreno de implantação de escolas, já comentado) e boas condições de audição no ambiente interno da sala. A primeira requer a localização em ambientes onde o “*clima del silencio*”, como Serra (1999, p. 57) chama o bem-estar das sensações auditivas, seja fator essencial – especialmente em salas de aula, bibliotecas e

auditórios, suficientemente afastados das fontes de ruídos: externos, provenientes de tráfego pesado de vias públicas principais, ou internos ao terreno da escola, produzidos nas áreas de recreação e desporto, ou mesmo nas salas adjacentes.

A NBR 10.152 (ABNT, 1987) estabelece valores, para os níveis sonoros considerados confortáveis e/ou aceitáveis para a finalidade dos diversos edifícios, valores esses que devem ser analisados conjuntamente com a frequência dos ruídos. A TAB. 3.3 apresenta esses parâmetros para o caso específico de escolas.

ambiente	nível sonoro (dB) para conforto/ aceitável
bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35-45
salas de aula, laboratórios	40-50
circulação	45-55

TABELA 3.3 – Nível sonoro para ambientes escolares.

Fonte: ABNT, 1987, p. 2.

Assim, o projeto acústico em escolas é passível de ser sistematizado pelas seguintes considerações: a) a seleção do local; b) arranjo das salas; c) a localização dos espaços de recreação, desporto e circulação (especialmente cobertos) em relação ao arranjo de salas; d) os requisitos de isolamento acústico do edifício; e) o planejamento acústico de salas de aula, laboratórios, escritórios, corredores e, enfim, todos os demais compartimentos nos quais seja necessário o silêncio ou, então, a proteção aos ruídos produzidos (KNUDSEN; HARRIS, 1953, p. 328). Para esses autores, geralmente boas condições acústicas requerem muito mais que o simples tratamento de forros de determinadas salas e corredores com material absorvente.

É recomendada a utilização de uma implantação e um partido arquitetônico em que as salas estejam dispostas de forma a evitar-se a abertura a vias públicas. Entretanto, a confrontação desse aspecto com outras exigências de conforto térmico e de iluminação natural levam à tomada de decisões globais, podendo inviabilizar tais procedimentos. Muito da propagação do som entre salas se deve às janelas, por exemplo. Blocos paralelos muito próximos ou pátios internos devem, por isso, ser evitados. Igualmente, portas e corredores constituem-se em elementos de fácil transmissão das ondas sonoras, obrigando o emprego de estratégias de isolamento acústico por materiais absorventes ou barreiras físicas. Baseado nisso, sempre que possível, as zonas que se pretende que sejam silenciosas devem estar localizadas afastadas daquelas com maior produção dos ruídos indesejáveis.

Já os distúrbios causados por ruídos externos podem ter seus efeitos minimizados com a correção do entorno através da utilização de barreiras sonoras compostas por taludes artificiais, muros ou cercas e vegetação (SERRA, 1999, p. 61): sebes ou árvores de folhagem densa, por exemplo, agem na absorção e reflexão das ondas sonoras, com efeito redutor de ruído variável de acordo com a densidade e altura da massa vegetal. Segundo Knudsen e Harris (1953, p. 223), essas estratégias podem reduzir de 5 a 10dB o nível de ruídos externos.

Da mesma forma, internamente os efeitos acústicos podem afetar o processo de ensino/aprendizagem, dificultando a compreensão oral. A propagação das ondas sonoras, mesmo após a fonte ter sido extinta, pela sucessão da reflexão por paredes, forros e pisos, chamada de reverberação, merece especial atenção (FIG. 3.12). O referido fenômeno está relacionado diretamente ao volume do espaço e é inversamente proporcional ao somatório das superfícies absorventes, fatores esses controláveis no projeto. A normativa escolar argentina (ARGENTINA, 1996, p. 62) recomenda, de acordo com o volume do espaço, o tempo ideal de reverberação como sendo de 0,65 segundos para níveis de frequência de 500Hz. No caso específico de sala de aula, sendo o volume disponível por aluno superior a 4,00m³, é recomendado o emprego de materiais absorventes nas superfícies (FREIRE, 1996, p. 73).

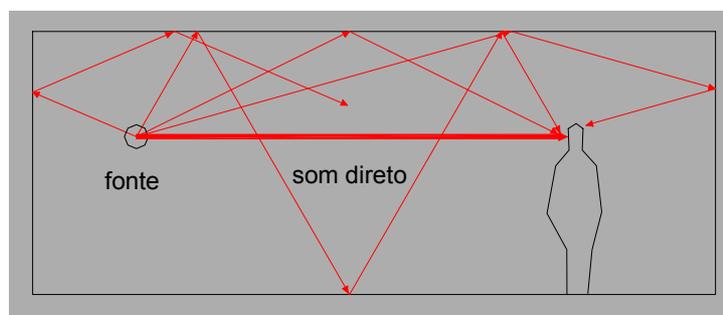


FIGURA 3.12 – Som reverberante: somatório de infinitas trajetórias.
FONTE: adaptado de KOENIGSBERGER et al., 1977, p.189.

Considerando o aspecto da reflexão das ondas sonoras, é necessário admitir que a forma do ambiente tem papel importante no desempenho acústico: melhores condições são encontradas em salas com superfícies não paralelas, de forro inclinado no sentido longitudinal ao recinto e o mais absorvente possível, minimizando, dessa forma, os efeitos de eco (ROTH, 1957, p. 66), genericamente com a parede de fundos com tratamento em material absorvente. Outros fatores a serem evitados através do não-parallelismo das superfícies são as ondas estacionárias, causadas

quando o feixe sonoro segue exatamente a mesma reflexão, o que, na prática, faz com que o som se repita e se some cada vez que reiniciar suas reflexões a partir do ponto de origem (FIG. 3.13).

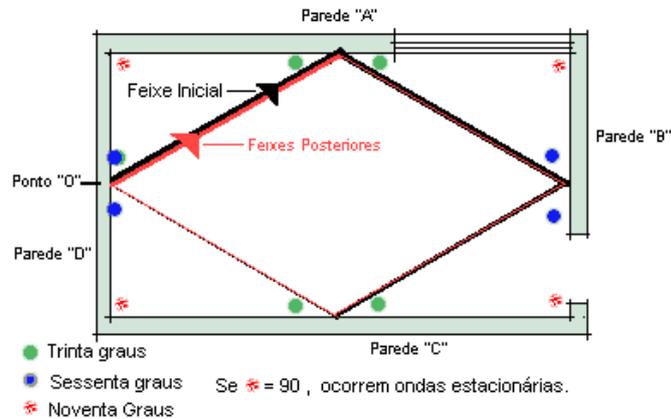


FIGURA 3.13 – Ondas sonoras estacionárias.
FONTE: ACÚSTICA, 2000.

Recomendações quanto ao volume dos compartimentos (ARIZMENDI, 1980, p. 86) citam a relação de 5x3x2 como proporção ideal, respectivamente, para o comprimento, largura e altura de uma sala, a fim de evitar o excesso de reflexão das frequências médias e graves. Arizmendi (idem), adicionalmente, coloca como indicadoras as proporções apresentadas na TAB. 3.4. Logicamente, espaços maiores e com maior nível de exigência para a compreensão da comunicação oral, como um auditório, por exemplo, exigem estudos mais complexos da geometria da propagação do som, não pertinentes à presente abordagem.

	Dimensão máxima	Dimensão conveniente	Dimensão mínima
C	2 L	1,6 L	1,4 L
H	0,55 C	0,50 C	0,45 C

TABELA 3.4 – Proporções para compartimentos, quanto ao rendimento acústico.

C: comprimento, H: altura e L: largura.

FONTE: ARIZMENDI, 1980, p. 86.

Igualmente, a preocupação com as superfícies de piso, a fim de evitar possíveis e indesejáveis ruídos a partir do trânsito de usuários e outros ruídos de impacto, deve constituir um aspecto a ser contemplado no tratamento acústico de determinados espaços com fins educacionais.

As legislações pertinentes ao assunto consultadas são superficiais quanto às condições de conforto acústico, exceção para a Indicação nº 33 (CEED, 1980), a qual prevê que “na própria biblioteca, [deverão ser] utilizados materiais que absorvam ruídos e evitem a reverberação, pois o que também

deve caracterizar uma biblioteca é o silêncio”. Em comparação com salas de aula, as bibliotecas apresentam maior facilidade de solução aos requisitos acústicos, especialmente pelo fato de que as estantes de livros já contribuem para a absorção sonora. Resta, então, o citado isolamento aos ruídos externos, bem como o tratamento de piso para absorção dos ruídos de impacto.

3.6 Sistemas estruturais e construtivos

Um resultado final eficiente da edificação escolar, válido também nas demais tipologias funcionais, inclui os aspectos relativos aos materiais de construção e aos sistemas estruturais empregados.

Os materiais utilizados devem garantir os requisitos funcionais, formais, de conforto – isolamento térmico e acústico, segurança, durabilidade e manutenção. Conforme a Fundação para o Desenvolvimento da Educação - FDE (ENCONTRO, 1994, p. 14), a qualidade e a durabilidade dos componentes construtivos e das instalações são resultados do desenvolvimento de muitas variáveis, desde a escolha do terreno, do projeto e das especificações detalhadas, até a mão-de-obra de execução, mas, sobretudo, da correlação entre esses fatores.

O critério da manutenção de edifícios escolares deve ser, da mesma forma, considerado no projeto elaborado e na tecnologia a ser aplicada, empregando materiais de resistência adequada à finalidade escolar e possibilitando fácil prevenção do desgaste e mesmo a recuperação dos materiais. Reflete-se na criação da consciência do bom uso do edifício pela comunidade educacional, o que constitui outro conjunto de variáveis além dos itens acima citados, que assegurem (ou não) o uso e a manutenção igualmente qualificados, reduzindo ou eliminando os problemas decorrentes de vandalismos.

Contudo, segundo L. C. Bonin (ENCONTRO, 1994, p. 92-93), a manutenção dos edifícios escolares no Brasil não tem sido considerada como um item importante no processo global de produção do edifício, com seus desdobramentos econômicos, causando “[...] prejuízos adicionais, representados pela insatisfação e pelo rebaixamento da produtividade dos usuários, resultantes das más condições ambientais que os edifícios descuidados podem apresentar”.



FIGURA 3.14 – Emprego de materiais e sistemas construtivos em escolas.

- alvenaria de tijolos. F. Kiefer, *Escola Infantil Ilha da Pintada*, Porto Alegre – RS, 1991.
FONTE: ESCOLA., 1994, p. 38.
- estrutura de madeira. M. Keys; B. Lawrence, *Hazelwood First School*, Totton, GB, 1989.
FONTE: WESTON, 1991, p. 86.
- estrutura metálica. M. Hopkins Arch., *Velmed Infant School*, Fleet, GB, 1986.
FONTE: WESTON, 1991, p. 770.
- estrutura de concreto. V. Artigas, *EEPSG Conselheiro Cipriano*, Guarulhos – SP, 1961.
FONTE: ESCOLAS, 1995, p. 52.

A estrutura influi não apenas na estabilidade do conjunto, bem como na flexibilidade dos espaços, e, sem dúvida, nos seus custos. A escolha de determinado sistema estrutural poderá permitir a pré-fabricação de elementos, a partir da simplicidade e/ou facilidade construtiva, de maneira a atender aos requisitos da coordenação modular, usufruindo das suas vantagens.

Enfim, pode-se dizer que cabe aos projetistas a compatibilização de todos os aspectos envolvidos nos processos construtivos com as inúmeras opções de definição de sistemas estruturais e de materiais disponíveis no mercado (concreto, aço, alvenaria, madeira, materiais sintéticos e um

amplo leque de possibilidades, exemplificados na FIG. 3.14), com vistas a alcançar a qualidade do edifício planejado.

3.7 Racionalização construtiva e economia

A racionalização construtiva em edificações escolares tem os seguintes objetivos, segundo as considerações da CONESP (SÃO PAULO, 1977, v. 2):

- a) obter a racionalização dos processos de construção, alcançando o conseqüente benefício de redução de custo e tempo;
- b) obter a composição ordenada de ambientes de diferentes funções, facilmente adaptáveis às exigências de programa e terreno;
- c) obter o dimensionamento simplificado dos ambientes através da multiplicação dos mesmos módulos construtivos;
- d) criar uma correspondência entre os ambientes e seus elementos ou componentes construtivos;
- e) sistematizar o processo de projeto mediante a montagem rápida das unidades tipificadas.

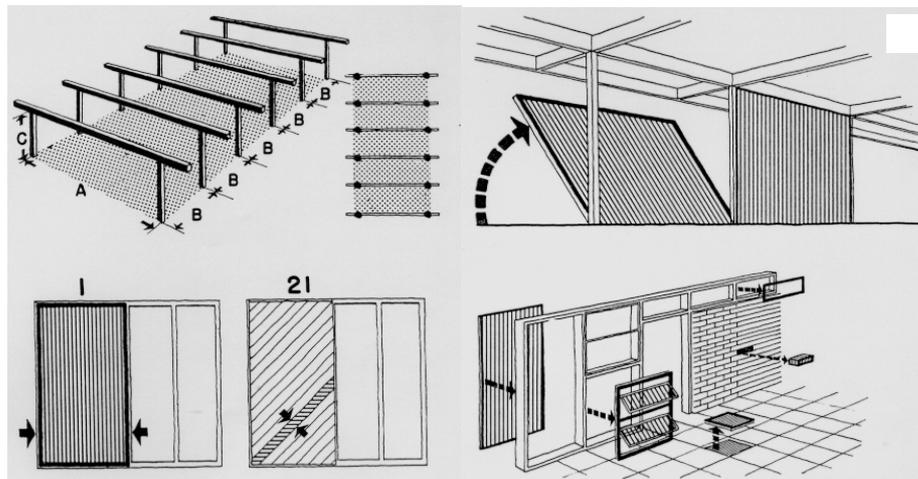


FIGURA 3.15 – Componentes modulares.
 FONTE: CAUDILL, 1954, p. 105.

Tais objetivos são possíveis de serem alcançados com a aplicação da coordenação modular (FIG. 3.15), já que, pela definição de Rosso (1976, p. 3), “é papel da coordenação dimensional compatibilizar dimensionalmente de forma racional e orgânica os espaços disponíveis e os ocupados”.

Para Nissen (1976, p. 2), um sistema de dimensões modulares pretende alcançar algumas vantagens: coordenação dimensional em um projeto para conseguir simplificação e transparência; limitação de variantes com respeito a dimensões que não necessitem ser distintas, promovendo a normalização dos componentes e das estruturas, permitindo, assim a pré-fabricação de um número cada vez maior de componentes construtivos para que a industrialização do processo de construção possa ser ampliada.

A aplicação da racionalização construtiva e da coordenação modular, justificada pelas necessidades funcionais e pelas condições estruturais/construtivas, facilita não apenas o desenho como, também, a execução da obra, abrindo, dessa forma, caminho à industrialização da produção, com vistas à redução de custos e tempo de execução, metas essas completamente alcançáveis em edifícios educacionais, especialmente tratando-se de soluções para a esfera pública, pois conjugam rapidez de atendimento ao crescimento da demanda e adequação aos recursos financeiros disponíveis, sem, entretanto, determinar uma limitação da liberdade formal, a qual é referida por S. Bussab¹⁰ (apud OLIVEIRA, 1998, p.24), quando diz que “ a padronização excessiva inibe uma das principais forças da arquitetura, que é a de utilizar as possibilidades da arte para ensejar o avanço da técnica”.

A FIG. 3.16 demonstra as possibilidades de composição funcional e formal pela modulação e pré-industrialização das edificações, com a adaptabilidade aos condicionantes do terreno, desde que seja assegurado o atendimento aos condicionantes climáticos de cada local de implantação, fato esse que representa um ponto negativo das propostas modulares generalizadas, como comprova a recente experiência brasileira na construção dos Centros de Atendimento Integral à Criança – CAICs - no início da década de 90, comentada na continuidade do trabalho.

¹⁰ O autor não faz menção à referência bibliográfica.

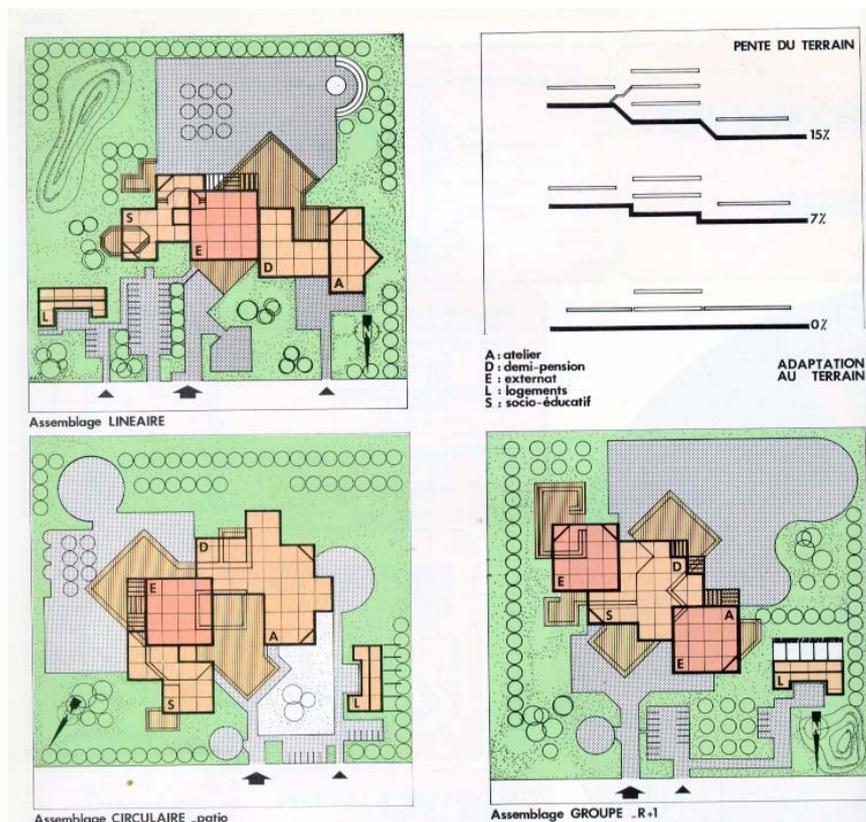


FIGURA 3.16 - Coordenação modular e pré-fabricação em escolas francesas.

FONTE: FRANÇA, 1979.

A base do sistema modular encontra-se na unidade comum coordenadora das dimensões do edifício – o módulo -, destinado a quantificar e a medir os espaços. Quando da repetição desse módulo, o mesmo resulta no módulo-objeto, destinado a definir, organizar e qualificar o espaço, otimizando o desenvolvimento das atividades e concretizando o objeto arquitetônico. Assim, a CONESP, com atuação de 1976 até 1987, elaborou um eficiente plano de construções escolares baseadas na coordenação modular, definindo como módulo horizontal de projeto (M) a medida 9M (90cm) e estabelecendo uma dimensão ideal de 7.20 x 7.20 m, resultando em área de 51,84m² (SÃO PAULO, 1977, v. 2).

Com a definição do partido arquitetônico, os aspectos formais – geométricos - apresentam-se interrelacionados com a otimização dos recursos financeiros disponíveis: a decisão por uma determinada forma de arranjo dos elementos compositivos resultará, provavelmente, em diferenças de custos.

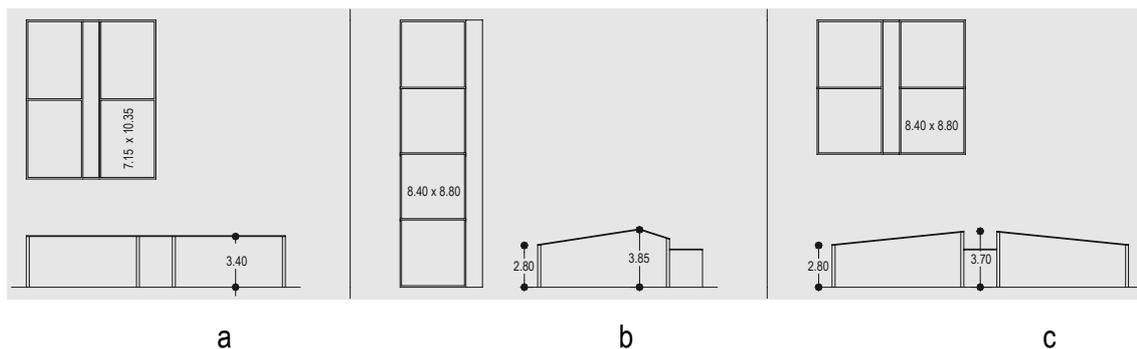


FIGURA 3.17 - Influência da geometria nos custos da edificação.
 FONTE: adaptado de CAUDILL, 1954, p. 203.

É nessa perspectiva que se encontram as pesquisas de Caudill (1954, p. 226-227), da década de 50, porém de validade contemporânea. Ao comparar tipologias na organização de salas de aula (FIG. 3.17), o autor apontou como resultados: o tipo “b”, embora com melhor desempenho de iluminação natural, apresenta custo superior, em 10%, às demais, enquanto o tipo “c” é um pouco mais econômico que o tipo “a”. O autor estabelece, sob esses parâmetros, o tipo “c” como o padrão recomendado, tendo em vista a economia e sua forma geral tendendo ao quadrado, a qual apresenta um bom desempenho quanto à iluminação natural.

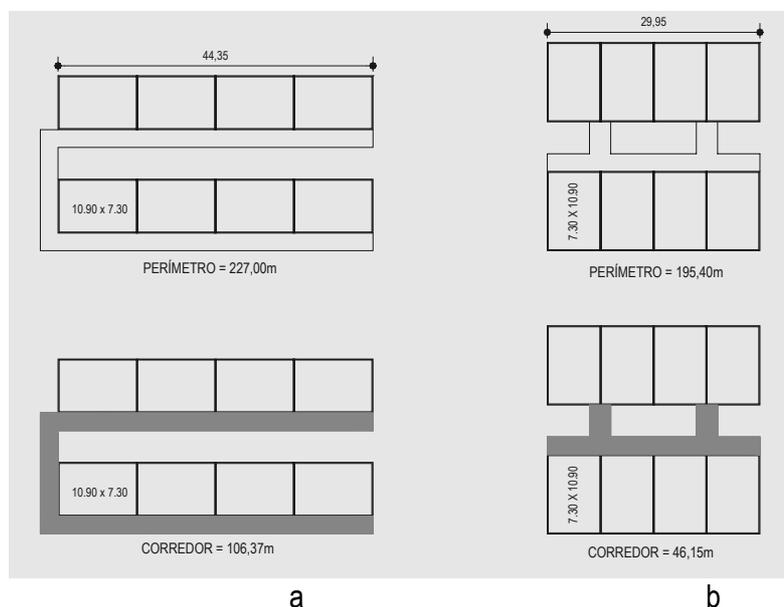


FIGURA 3.18 - Influência das circulações nos custos da edificação.
 FONTE: adaptado de CAUDILL, 1954, p. 227.

J. L. Mascaró (1998, p. 113) faz considerações acerca da influência das circulações nos custos, tendo em vista os critérios de compactidade. Segundo ele, quando a relação de lados de um dado edifício - do lado maior em relação ao lado menor - aumenta, o custo da área remanescente tem um

aumento diretamente proporcional, resultando como índice de compacidade ideal aquele representado pela figura de um quadrado. Esse conceito é demonstrado pela redução de custos na comparação dos tipos “a” e “c” da FIG. 3.17, visto que se apresenta uma diminuição da área de circulação. O mesmo ocorre na FIG. 3.18, na qual Caudill (1954, p. 226-227) apresenta, em “a”, um corredor com 106,37m lineares, o qual, com o arranjo em “b”, passa a ser de 46,15m, resultando em economia de 54% na circulação, além de redução de 14% de paredes externas.

Ainda com relação a esse assunto, estudos recentes (BASSO; FERNÁNDEZ LLANO; DE ROSA, 2000; DE ROSA et al., 2000) do *Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV-INCIHUSA)* relacionam os custos das edificações com diferentes tipologias de organização espacial de salas de aula, conjuntamente com a eficiência no comportamento termo-lumínico, instrumentalizado pela comparação entre quatro alternativas de idênticas superfícies úteis de salas e de configuração espacial e construtiva similar (FIG. 3.19).

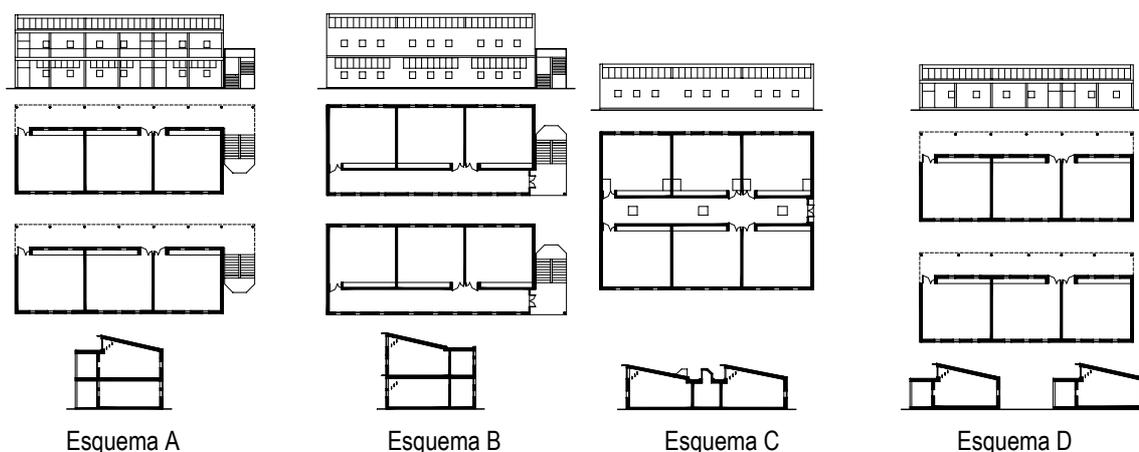


FIGURA 3.19 – Esquemas de organização espacial de salas de aula.
FONTE: BASSO; FERNÁNDEZ LLANO; DE ROSA, 2000.

	ESQUEMA A		ESQUEMA B		ESQUEMA C		ESQUEMA D	
	s/isolamento	c/isolamento	s/isolamento	c/isolamento	s/isolamento	c/isolamento	s/isolamento	c/isolamento
SUPERFÍCIE (m ²)	433.49		504.74		435.91		429.45	
CUSTO TOTAL (US\$)	161744.31	172616.34	183272.36	197094.68	162649.99	173674.60	163083.82	173932.16
CUSTO UNIT. (US\$/m ²)	373.12	398.20	363.11	390.49	373.13	398.42	379.75	405.01
CUSTO UNIT. (US\$/m ²)	316,28	337,54	314,21	337,77	-	-	-	-
S/ CIRCUL. VERT.								

TABELA 3.5 – Comparativo de custos para diferentes arranjos de salas.
FONTE: BASSO; FERNÁNDEZ LLANO; DE ROSA, 2000; DE ROSA et al., 2000.

Os dados das citadas pesquisas, apresentados na TAB. 3.5 apontam os seguintes resultados:

- as configurações de custos unitários em dois pavimentos – “A” e “B” -, apresentam menores custos unitários, embora quando consideradas as circulações verticais (escada e elevador) esses custos passem a ser similares às demais propostas;
- as diferenças entre os custos totais de cada esquema estão relacionadas às características das circulações (abertas nos esquemas “A” e “C”, e fechadas nos demais), as quais incorporam maior superfície total e, dessa forma, maior investimento global, significando que as circulações tanto horizontais (aspecto comentado anteriormente) como verticais representam um diferencial de custos. A circulação vertical representa um diferencial em torno de 15 % de acréscimo no custo total;
- os requisitos construtivos para forros e cobertura apontados no estudo (respondendo aos condicionantes climáticos locais), juntamente com a estrutura e os itens levantados, representam de 40% a 46% do valor total investido.

Assim, pela comparação dos custos apresentada na TAB. 3.4, o esquema “B” tem menor custo unitário. Porém, como apresenta maior superfície construída, torna-se o esquema de maior investimento - incremento de 14% a 13%, de acordo, respectivamente, com a utilização ou não de materiais para isolamento¹¹. Nos demais esquemas, os custos totais são similares.

Deve-se, por fim, salientar que a generalização destes esquemas formais (tipologias) deve ser cautelosa, especialmente considerando os requisitos construtivos adequados às condições climáticas locais, bem como o comportamento desses esquemas nas questões de habitabilidade dos ambientes - conforto térmico, ventilação, iluminação natural e conforto acústico -, que se constituem no tema específico deste trabalho.

¹¹ A simulação térmica, para adequação aos requisitos de habitabilidade local, apresentou temperaturas médias internas de 17.6°C para paredes externas isoladas, e de 16.1°C sem isolamento, considerando a temperatura média externa de 12.1°C no mês de junho.

4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

4.1 Bioclimatologia

A premissa de que o desenho dos espaços construídos, tanto exteriores como interiores, deve estar condicionado e adaptado ao meio no qual a edificação se insere, aproveitando e controlando as potencialidades da natureza para criar condições de vida adequadas, leva à necessidade do conhecimento e entendimento das características deste entorno.

À luz da Arquitetura como referencial para as diversas necessidades sociais, a partir da evolução humana, a interação descrita acima foi sendo apresentada sob as perspectivas teóricas decorrentes do curso da história da Arquitetura, previamente comentadas, e particularmente do movimento moderno, objeto de críticas por parte de Banham (1975) em *La arquitectura del entorno bien climatizado*, em cuja obra procurou resgatar a interação entorno/arquitetura.

A partir do pensamento vitruviano da Arquitetura como definidora de um espaço habitável que deveria equilibrar os aspectos conceituais representados pelo modelo ambiental tripartite (arquitetura-clima-conforto) foi proposto por V. Olgyay (1998)¹² um novo elemento no processo ambiental: a tecnologia, demonstrada pelo diagrama apresentado na FIG. 4.1.

Como resultado do processo de discussão desencadeado por Banham (1975), surgiu a proposição de uma arquitetura bioclimática - expressão essa já introduzida nos anos 60 por V. Olgyay (1998) -, estabelecendo os procedimentos de análise climática e sua relação com as condições de conforto. Com a caracterização climática, surgiram vários parâmetros a serem utilizados no projeto arquitetônico, conseqüentemente mais adequado ao clima local.

¹² No livro *Design with Climate*, cuja primeira edição data de 1963.

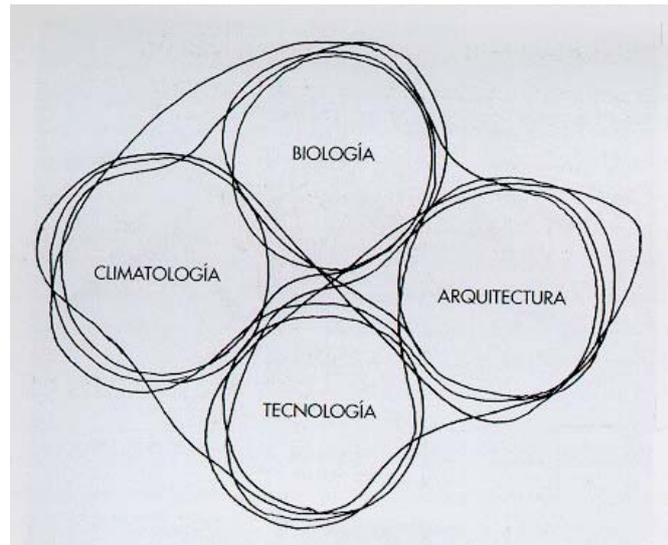


FIGURA 4.1 - Campos de inter-relação do equilíbrio climático.
 FONTE: OLGAYAY, 1998, p. 12.

Para Izard e Guyot,

uma boa arquitetura bioclimática é aquela que permite que o edifício se beneficie de ambientes interiores próximos ao conforto para uma margem de variação das condições exteriores bastante ampla, sem o recurso de condicionamento artificial. Quando os meios artificiais se fazem necessários (para condições exteriores que ultrapassam os limites anteriormente citados), a arquitetura bioclimática permite gastar uma quantidade de energia reduzida e fazer economia (1980, p. 10, tradução do autor).

Essa opinião, constante no livro *Arquitetura Bioclimática*, remete ao fato de que a crise energética constituiu um fator dominante nos debates, o que tornou imprescindível a busca de formas de redução do consumo energético, iniciando-se, de maneira mais incisiva, pesquisas para a busca de fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis: energia solar, eólica, térmica, das marés, dentre outras.

A diferenciação entre as formas de manejo dos aspectos ambientais e energéticos no projeto de arquitetura coloca em posições opostas dois modos de controle desses aspectos, que a partir de Banham (1975) e Hawkes (1996) são denominados, de um lado, como a postura seletiva, na qual as características do sítio são imprescindíveis para o desenho e controle do consumo de energia da edificação; e, de outro, a postura exclusiva, na qual o entorno natural tem papel secundário, visto que os ambientes são predominantemente artificiais, de controle automatizado.

Tais conceitos já haviam sido objeto de teorização por E. Howard (PEVSNER¹³ apud HAWKES, 1996, p. 109-110), que propôs, ainda no século XIX, “os três ímãs ambientais” (FIG. 4.2), incluindo uma terceira categoria: a modalidade pragmática, a qual pode ser considerada como um desdobramento da modalidade exclusiva.

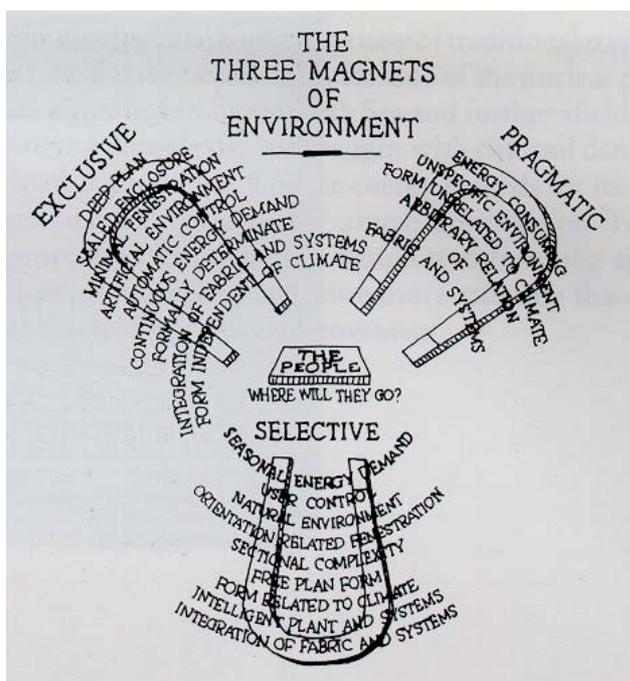


FIGURA 4.2 - “Os três ímãs ambientais” de E. Howard.
FONTE: HAWKES, 1996, p. 113.

No modo seletivo, os usos da forma e dos materiais da envoltória do edifício funcionam como um filtro do meio externo, resultando em formas mais dispersas, buscando maximizar a utilização da energia do ambiente exterior de forma a deter as condições naturais indesejáveis e admitir as condições convenientes. Ou seja: a energia é uma combinação dos fatores externos e do próprio ambiente interno, de acordo com as demandas de frio ou de calor.

Simplificando as classificações utilizadas por Bardou e Arzoumanian (1980, p. 54-59), o ambiente, quanto à forma de controle seletivo, desdobra-se em ativo e passivo: ativo quando a captação, armazenamento e distribuição de energia na edificação necessita, para seu funcionamento, de energia exterior, obtida através de meios automáticos e equipamentos; e passivo quando os processos são capazes de funcionar por si só, sem uso de energia externa ao sistema – energia artificial - e/ou com técnicas simplificadas, muitas vezes implicando a ação do usuário como

¹³ PEVSNER, Nikolaus. *Pioneers of modern design*. Harmondsworth: Penguin, 1960.

controlador do sistema (FIG. 4.3). Por extensão, como controle passivo, os mesmos autores (idem, p. 58) consideram a utilização de equipamentos simples – tais como ventiladores – quando os mesmos ocasionalmente permitam os intercâmbios térmicos, sem serem indispensáveis para o funcionamento normal do sistema.

Segundo Serra (1999, p. 78, tradução do autor), “mesmo atualmente [1999], a flexibilidade e a capacidade de adaptação dos sistemas passivos não é superada pelos sistemas ativos”, embora, apesar de tal argumentação, o autor apresente os conceitos dos edifícios inteligentes (*smart buildings*), nos quais ocorre um controle global e integral de todos os sistemas da edificação, com a utilização da informatização tanto da análise das condições ambientais como das decisões quanto aos procedimentos a serem desencadeados para a obtenção do conforto ambiental.

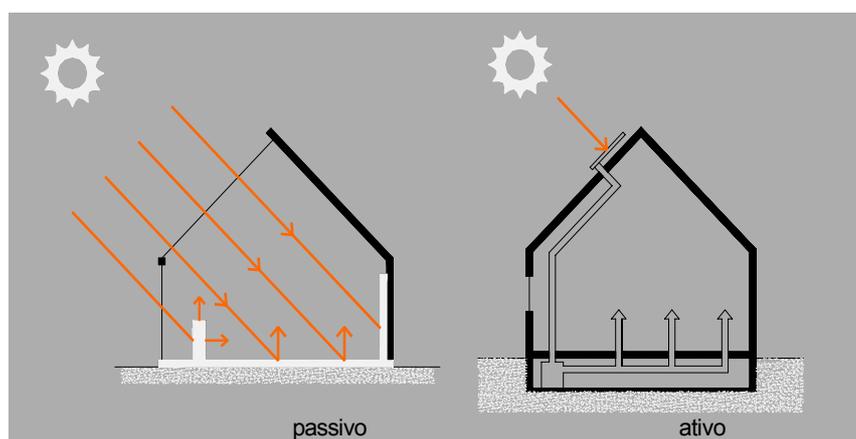


FIGURA 4.3 – Controle ambiental solar passivo e ativo.
FONTE: adaptado de LYLE, 1994, p. 60.

Como resultado das investigações teóricas e práticas dos últimos 40 anos que abordam o uso racional das fontes de energia renováveis e não-renováveis, os temas relacionados à ecologia e ao meio-ambiente tornaram-se correntes, nos anos 80 e 90, discutindo o casamento da ecologia e da tecnologia em uma nova visão de futuro, em todas as atividades humanas, e, conseqüentemente, no planejamento urbano e arquitetônico, tendo como objetivo, segundo Ruano (1999, p.9), o desenvolvimento e a gestão de comunidades humanas sustentáveis.

Emergem, assim, simultaneamente à gestão energética dos anos 70, conceitos relacionados ao “retorno a la naturaleza”, considerando a harmonia com a natureza como “esencial para el bienestar humano y el equilibrio cósmico” (RUANO, idem, p. 8).

A *Agenda para o Futuro*¹⁴, formulada pela *World Commission on Environment and Development* – WCED –, conceituou o desenvolvimento sustentável como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade futura de satisfazer as suas próprias necessidades” (WCED¹⁵ apud LYLE, 1994, p. 3, tradução do autor). Isso significa, para Ruano (1999, p. 10), garantias de que será mantida a qualidade geral de vida, assegurando o acesso continuado aos recursos naturais e evitando danos ambientais. Para tanto, o desenvolvimento tecnológico e científico deve estar baseado na preocupação com a preservação ambiental e dos recursos naturais disponíveis na sociedade, de forma a reverter as projeções atuais de situações críticas no uso dos potenciais hídricos (tanto de água potável como dos efluentes) e energéticos e da destinação dos resíduos sólidos (FIG. 4.4).

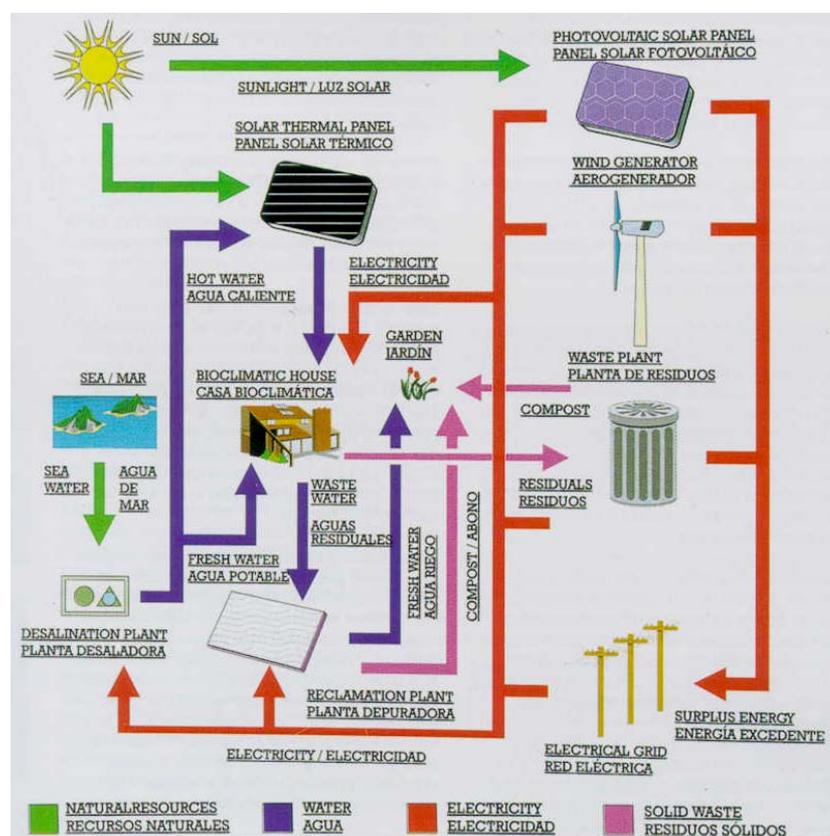


FIGURA 4.4 – Ciclos de aproveitamento dos recursos naturais.
FONTE: RUANO, 1999, p. 67.

Franco (2000, p. 27) acrescenta, ainda, “uma dimensão cultural e política [...]” na questão ambiental, de maneira a impor um caráter dinâmico, o qual “[...] refere-se a um processo evolutivo sustentável de mudança contínua”. Para a autora (idem, p. 26), “o conceito de desenvolvimento sustentável é

¹⁴Posteriormente denominada como *Agenda 21* pela *Cúpula da Terra* (ECO-92) em evento ocorrido no Rio de Janeiro em 1992.

¹⁵ WCDE. *Our common future*. New York: Oxford University Press, 1987. p. 42.

[...] muito complexo e controvertido [o que não significa uma negação da autora à sua validade], uma vez que para ser implantado exige mudanças fundamentais na maneira de pensar, viver, produzir, consumir, etc.”.

Conforme salientou Ruano (1999, p. 14), medidas como orientação apropriada, ventilação natural, isolamento adequado, painéis solares fotovoltaicos, dispositivos de sombreamento, geradores de propulsão eólica, elementos de armazenamento térmico e outras soluções que contribuam para a maior eficiência energética e redução dos prejuízos ao meio-ambiente empregados na escala dos edifícios individuais devem ser aplicadas na escala urbana de forma mais incisiva, retomando as recomendações básicas de Vitruvius, segundo o qual *“las ciudades se planificaban y construían, teniendo el sol, el viento y el emplazamiento como factores dominantes del proyecto”* (apud RUANO, 1999, p.15).

Todos esses temas colocam-se como aspectos a serem aplicados não apenas no nível particular das edificações, mas também, de forma abrangente, ao desenho urbano, despertando o que Wines chama de desenvolvimento da “eco-sensibilidade na Arquitetura” (CROSBIE, 1994, p. 120, tradução do autor).

Tais colocações são pertinentes para bem caracterizar a seqüência do trabalho, relacionado com soluções seletivas, colocadas por Hawkes (1996, p. 43-44) como de grande propriedade para edificações escolares, mais especificamente para as escolas solares passivas, ou seja, escolas nas quais a forma e os elementos construtivos absorvem e distribuem a energia requerida para o atendimento às condições de conforto dos usuários, dispensando o emprego de instrumentos e equipamentos mais sofisticados de controle.

Elementos do clima	Principais fases do projeto
sol: regime horário, radiação direta e difusa; regime das potências recebidas.	escolha das orientações das fachadas “captadoras”; proporção de janelas.
temperaturas: regime das variações diárias e sazonais.	escolha da ordem de preferência da inércia interior, ou seja, do sistema de construção.
vento: velocidades, relação com os demais parâmetros (sol, umidade e temperatura)	orientação das demais fachadas; dimensão dos vãos; repartições internas.

TABELA 4.1 - Elementos do clima e relações com o projeto.
FONTE: IZARD; GUYOT, 1980, p. 71.

Para atender a essas perspectivas, faz-se imprescindível o conhecimento das condições climáticas locais, uma vez que alterações ambientais têm reflexo nessas mesmas condições. Izard e Guyot (1980, p.71) apresentam, na TAB. 4.1, uma síntese dos referidos elementos e suas relações com o projeto.

4.2 Caracterização climática de Passo Fundo - RS

Segundo Givoni (1969, p. 1, tradução do autor), “o clima de uma dada região é determinado por padrões de variação de elementos e suas combinações. Os principais elementos climáticos, considerando-se o conforto humano e as edificações, são a radiação solar e terrestre, a temperatura do ar, a umidade, os ventos e as precipitações”.

Neste sentido,

a concepção arquitetônica ambiental consiste na manipulação intencional da localização, da forma do edifício, da organização espacial interna e dos parâmetros construtivos, que tem como propósito a consecução de objetivos em relação ao ambiente e ao conforto dos utentes com o mínimo recurso a energias não-renováveis (YANNAS, 1995, p. 49).

Assim, revela-se que a aplicação dos princípios dessa concepção deve ser desenvolvido em estreita relação com o contexto ambiental, ou seja, fez-se imprescindível a caracterização climática do Município de Passo Fundo – RS, campo de aplicação deste trabalho, na seqüência apresentada.

A cidade de Passo Fundo assenta-se sobre uma imensa crista de cota média de 680 m acima do nível do mar¹⁶, com o centro urbano na altitude de 709 m (ponto de cota máxima), situado nas coordenadas 28°15'46" Sul e 52°24'39" Oeste (FIG. 4.5).

O Município de Passo Fundo é descrito, por Fagundes (1962, p. 6), como centro geográfico do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, região onde a elevação do solo cria um divisor de águas com declive acentuado nas direções sul e leste e moderado para norte e oeste, contribuindo para as bacias hidrográficas dos Rios Jacuí-Taquari, confluente do estuário do Guaíba e do Rio Uruguai. O relevo regional, sem grandes desníveis orográficos, como continua descrevendo o autor, é tipicamente colinoso.

¹⁶ A altitude considerada para simulações é de 687,00m, conforme localização da estação de coleta de dados.

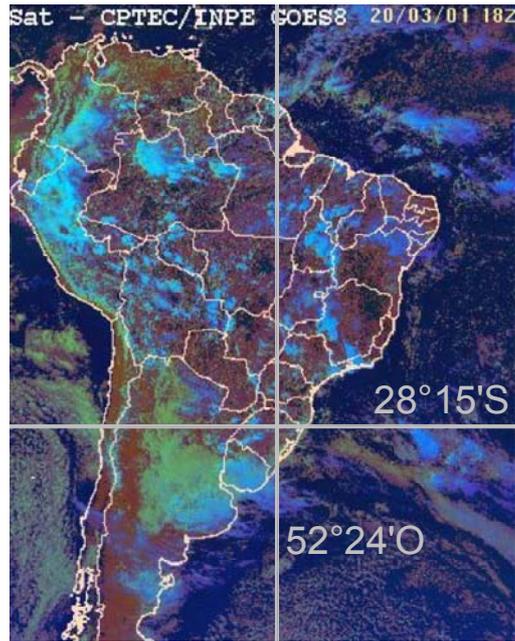


FIGURA 4.5 - Coordenadas geográficas de Passo Fundo - RS.
 FONTE: adaptado de CPTEC, 2001.

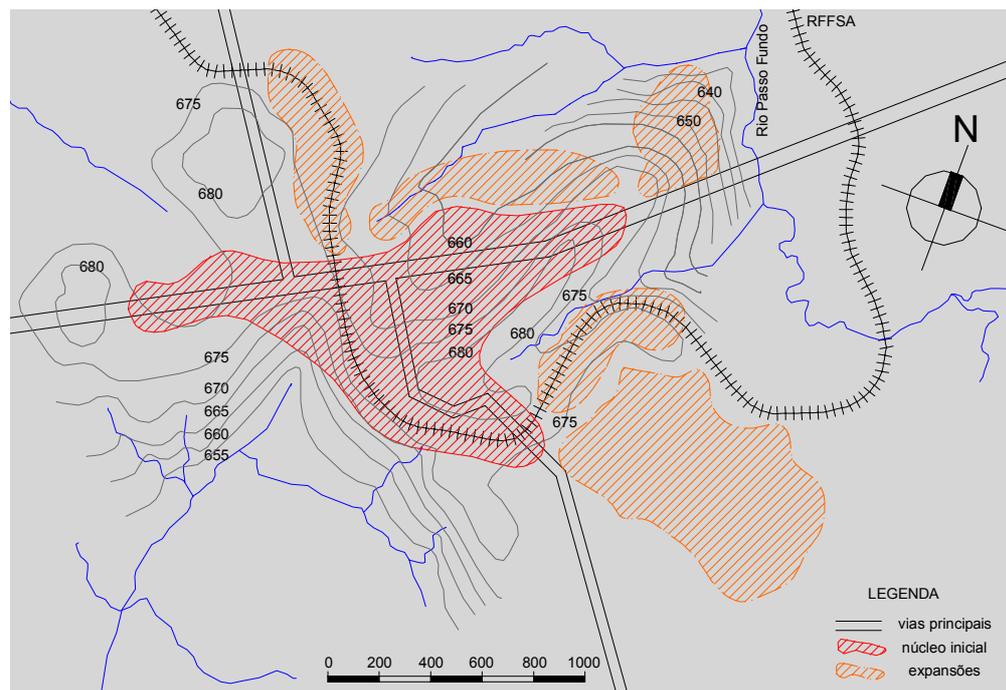


FIGURA 4.6 - Altimetria e núcleo urbano de Passo Fundo (séc. XIX até meados do séc. XX).
 FONTE: adaptado de FAGUNDES, 1962, p. 17; 19.

A linha de divisão de águas coincide com o eixo de crescimento urbano, com áreas de ocupação inicial de forma linear, definidas pelas características topográficas do sítio e resultantes de linhas transversais com variações altimétricas favoráveis. Ao nordeste, com forte declividade em direção ao “passo” do Rio Passo Fundo, o crescimento ocorreu por razão do contato com o centro do país

(FIG. 4.6). O ANEXO B.1 mostra a morfologia urbana originada nesse processo de evolução (PAIVA et al., 2000).

Pela localização geográfica, Passo Fundo apresenta, de acordo com a classificação climática de Köppen, modificada por Trewartha (1954, p. 223-238; 302-312), o clima mesotérmico úmido (temperado), do tipo subtropical úmido - *Cfa*, caracterizado por temperaturas médias, no mês mais frio, entre 18°C e 0°C e, no mês mais quente, acima de 22°C, ou seja, com verões quentes e um regime pluviométrico de chuvas bem distribuídas durante o ano (nenhum mês com menos de 60mm). Considerados esses aspectos, pode-se caracterizar o clima local como sendo subtropical úmido de altitude¹⁷.

Os dados das Normais Climatológicas coletados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, através do Centro Nacional de Pesquisa do Trigo, localizado em Passo Fundo (EMBRAPA, 1991), apresentados no ANEXO B.2, complementam as definições de Trewartha, salientando algumas informações:

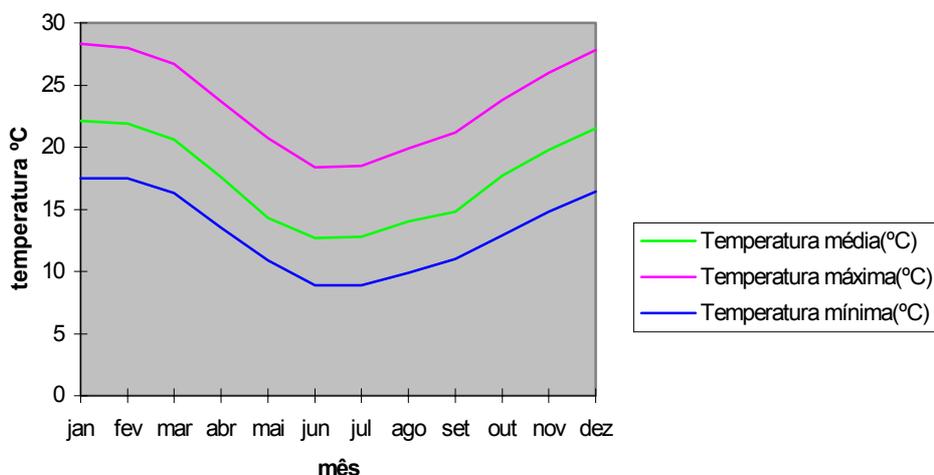


GRÁFICO 4.1 - Temperaturas do ar (°C) em Passo Fundo.
 FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

- a temperatura média anual é de 17,5°C, com o mês mais quente – janeiro - entre 28,3°C e 17,5°C e o mês mais frio – junho - entre 18,4°C e 8,9°C (GRAF. 4.1);
- precipitação anual de 1.787,80mm;

¹⁷O gradiente termométrico do ar é de aproximadamente 1°C para cada 200m de altura (3,6°F para cada 1000ft), com pouca variação em relação à latitude, ou seja: para locais com mesma latitude podem existir diferenças de temperatura (TREWARTHA, 1954, p. 28). Para tal classificação, tem-se como comparação, a priori, Porto Alegre (lat. 30°02'S), situada a 4m acima do nível do mar, relação que apresenta uma diferença de cerca de - 3,5°C para Passo Fundo.

- umidade relativa do ar entre 67% nos meses de novembro e dezembro e 76% no mês de junho (GRAF. 4.2);

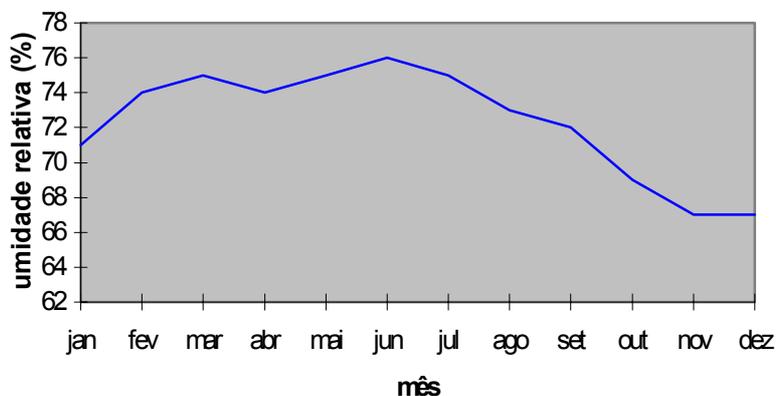


GRÁFICO 4.2 - Umidade relativa do ar (%) em Passo Fundo.
 FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

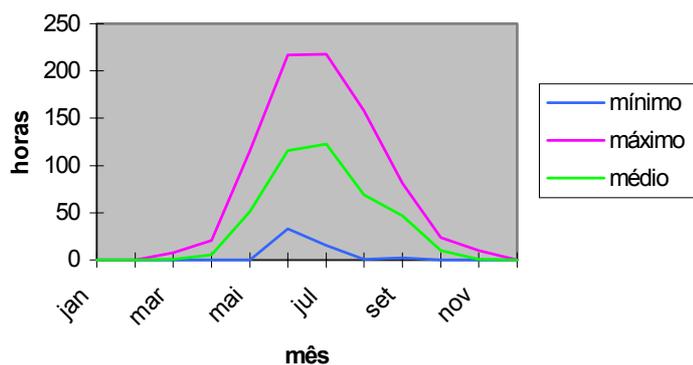
- ventos predominantes de direção NE, com velocidades médias entre 3,80m/s e 4,70m/s, com ventos secundários de direção SE.

Ainda de acordo com os dados das Normais Climatológicas (EMBRAPA, 1991), são relevantes as seguintes informações:

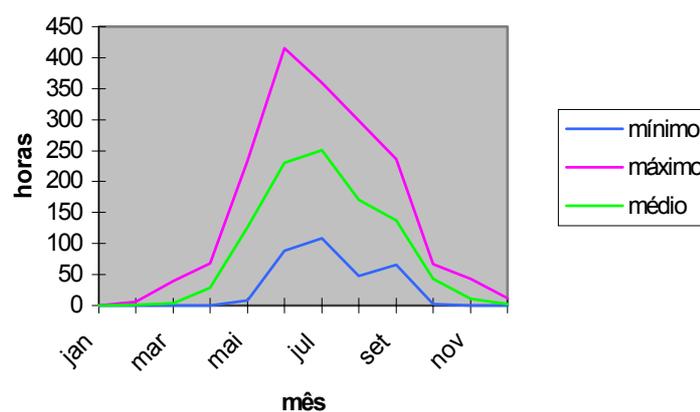
- os meses de inverno – de junho a agosto -, apresentam temperaturas médias mínimas abaixo de 10°C;
- as temperaturas extremas mínimas em todos os meses do ano são inferiores a 10°C, ocorrendo, também, temperaturas máximas próximas ou superiores a 30°C;
- os altos índices de umidade relativa têm uma redução nos meses de outubro a dezembro, ficando, porém, sempre acima dos limites de conforto, considerando o parâmetro de 60% (KOENIGSBERGER et al., 1977, p. 112). Tal redução deve-se à influência da Massa Tropical Continental (GRAF. 4.2).

Segundo Cunha (1997), as massas de ar atuantes na região que influenciam a gênese climática são: a Tropical Marítima (com origem no Atlântico - latitude 30°S), a qual se caracteriza como quente e úmida, atuando durante todo o ano e sendo responsável pelas altas temperaturas; a Polar

Marítima (com origem em latitudes subpolares), fria e úmida, que atua durante todo o ano e mais ativamente no outono e inverno, sendo responsável pelas *ondas de frio*; a Tropical Continental (procedente do Chaco), quente e seca, que penetra na região pelo oeste, especialmente no verão, sendo responsável pela redução da umidade relativa acima mencionada. Também no verão, massas quentes e úmidas penetram pelo nordeste, oriundas da Planície Amazônica - Massa Equatorial Continental.



a



b

GRÁFICO 4.3 - Horas de frio em Passo Fundo.

- a. abaixo de 7°C;
b. abaixo de 10°C.

FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

Os GRAF. 4.3 (e o ANEXO B.3) apresentam o número de horas em que a temperatura permanece abaixo de uma dada temperatura base, constituindo um índice chamado horas de frio. Os dados foram apresentados segundo os meses do ano, primeiramente abaixo de 7°C e, após, de 10°C, por meio dos quais percebe-se a grande ocorrência de temperaturas baixas no período de maio a setembro. Nos meses de inverno, a ocorrência média de temperaturas abaixo de 10°C no inverno é de 587 horas, correspondente a cerca de 30% do total de horas possíveis, com a concentração de uma média de 35% (251 horas) no mês de julho, variando de 16% (109 horas), no mínimo, até

aproximadamente 50% (359 horas), no máximo, caracterizando, portanto, o referido mês como o mais frio do ano.

A partir das considerações acima e segundo Hackbarth (ZERO HORA, 18 ago. 1997, p. 48), pode-se afirmar que, embora a presença de massas de temperatura baixa seja constante na região, as amplitudes térmicas mensais indicam que os períodos de frio não são muito prolongados. Passo Fundo, bem como o Estado do Rio Grande do Sul como um todo, por estar localizado numa espécie de fronteira climática, tem um clima de características complexas: em um curto período de tempo, é afetado ora por massas frias - ondas de frio - oriundas do sul do continente americano, ora por massas de ar quentes (veranicos) provenientes do Paraguai e do norte da Argentina, gerando bruscas mudanças de temperatura num curto espaço de tempo.

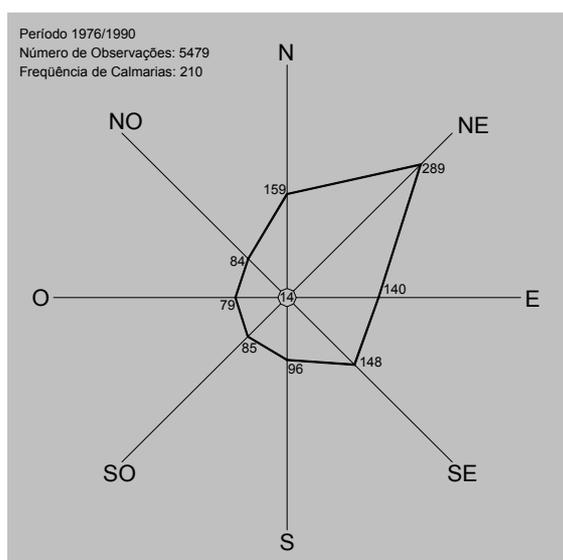


GRÁFICO 4.4 - Freqüências médias das direções do vento em Passo Fundo.
 FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

Quanto ao regime de ventos, existe uma predominância de ventos de direção nordeste, em todos os meses do ano, conforme diagrama das freqüências médias (GRAF. 4.4 e ANEXO B.4). Tal regime constitui-se de ventos alísios, de trajetória oceânica, que, na passagem pela Serra Geral, são desumidificados, chegando ao Planalto Médio gaúcho com menor índice higrométrico. Em segundo lugar, estão os ventos do quadrante sudeste, que fazem com que as frentes frias avancem em direção ao norte (NEVES, 1979). Com menor ocorrência, aparecem os ventos secos e frios de direção sudoeste, denominados popularmente como vento minuano, característico do Rio Grande do Sul e presente nas estações frias.

As maiores amplitudes das velocidades dos ventos, por sua vez, são observadas nos meses de julho e setembro - 4,7m/s, ou equivalente a 16,9km/h. Já o limite mínimo verificado é no mês de março, com velocidade de 3,8m/s (13,7km/h).

A velocidade dos ventos nos meses de inverno resulta em uma sensação de desconforto, especialmente quando os ventos são de direção sudeste. Em oposição, nos meses mais quentes a velocidade dos ventos é bastante favorável, superior a 2m/s - observando a escala de Beaufort (KOENIGSBERGER et al., 1977, p. 290) -, capaz de favorecer a ventilação de conforto em condições ambientais quentes e úmidas.

Outros dados que merecem consideração são os relacionados à insolação, apresentados no GRAF. 4.5. O número de horas com sol no ano é de 2.329 h, o que resulta na proporção de 53% sobre o número de horas total possíveis - 4.380 h. A variação e as proporções mensais observadas mostram que a incidência direta dos raios solares é parcial, pois a abóbada celeste apresenta-se com nebulosidade com índices médios de 47% nos meses de abril e maio, e de 59% no mês de setembro, perfazendo uma média anual de 52%, o que indica predominância de abóbada parcialmente encoberta.

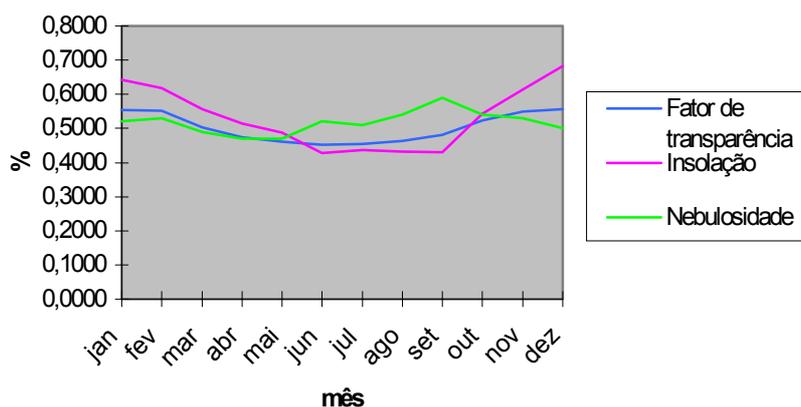


GRÁFICO 4.5 - Insolação em Passo Fundo.
 FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

Através da relação entre a parcela de céu límpido (nebulosidade) e o número de horas de sol verificadas durante o dia e as horas astronomicamente possíveis (insolação), chega-se ao fator de transparência do céu médio (COSTA, 1982, p. 218-219) anual de 0,51, com valores mínimos de 0,45 no mês de junho e de 0,56 no mês de dezembro.

Salienta-se que todos os dados apresentados têm relação direta com a radiação solar recebida, sendo que os valores da radiação global ficam, no máximo, em 22,35MJ/m².dia (dezembro) e 9,32MJ/m².dia (junho), os quais constituem aspectos a serem considerados na análise da viabilidade e disponibilidade do potencial para o aproveitamento dessa radiação no condicionamento ambiental.

Complementando essas informações, no ANEXO B.5 são apresentados dados obtidos a partir de programas computacionais (ESTEVES, 1990) utilizados pelo *Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda* - LAHV-INCIHUSA, dentre os quais se salientam os graus-dia para aquecimento e refrigeração.

Os graus-dia são definidos em função de que para qualquer dia - período de 24 horas - existem tantos graus-dia quanto graus Celsius de diferença entre a temperatura base e a temperatura média do ar exterior (CARRIER et al., 1959, p. 515-519; THRELKELD, 1970, p. 397-399); de maneira prática, esses dados são obtidos através de um método simplificado de interação entre temperatura e radiação solar. Para Passo Fundo, os graus-dias calculados (ESTEVES, 1990¹⁸) para aquecimento com base em 18°C são de 857, enquanto que, para resfriamento, com base em 23°C, são de 112. A análise dessas informações permite a sua aplicação direta no projeto, pela definição das necessidades de sistemas naturais e/ou artificiais de condicionamento ambiental, estudados na continuidade do trabalho.

4.3 Aplicações das metodologias de análise bioclimáticas

Visando à inter-relação entre o conforto humano e o clima local, vários estudos foram elaborados a fim de estabelecer os limites desse conforto. Nesse sentido, foram elaborados cálculos para dimensionar os processos metabólicos; genericamente, porém, Rivero (1985, p. 64) situa as temperaturas de conforto em torno de 24°C, com uma umidade relativa entre 30% e 60%.

¹⁸ Os programas *gradenf.bas*, *gradia.bas* e *hottmes.bas* foram desenvolvidos a partir de HOTTEL, H. C.. A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. *Solar Energy*, n. 18, p. 129, 1976 (ESTEVES; DE ROSA, 1989).

Com a finalidade de buscar um diagnóstico bioclimático adequado a esse trabalho, cabe tecer algumas considerações acerca de alguns estudos definidores dos limites das zonas de conforto, visto estabelecerem processos de análise dos dados do clima local e relações com o conforto humano, objetivando definir uma metodologia a ser aplicada no projeto das edificações.

Como pioneiros em tais estudos, na década de 60, Victor e Aladar Olgyay (OLGYAY, V., 1998) estabeleceram uma carta psicrométrica (FIG 4.7) válida para a zona temperada dos Estados Unidos. A mesma, representada em um sistema cartesiano de temperatura do ar e umidade, qualifica os ambientes com relação à zona de conforto - abafado, muito seco, muito úmido, irritante, etc. -, considerando o indivíduo em atividade sedentária ou em trabalhos leves. Os autores lembram, no estudo, que os limites da zona de conforto podem ser ampliados com o uso de vestimenta, com o controle do recebimento de radiação solar - sombreamento ou exposição ao sol -, e através da ventilação ou alterações na umidade do ar.

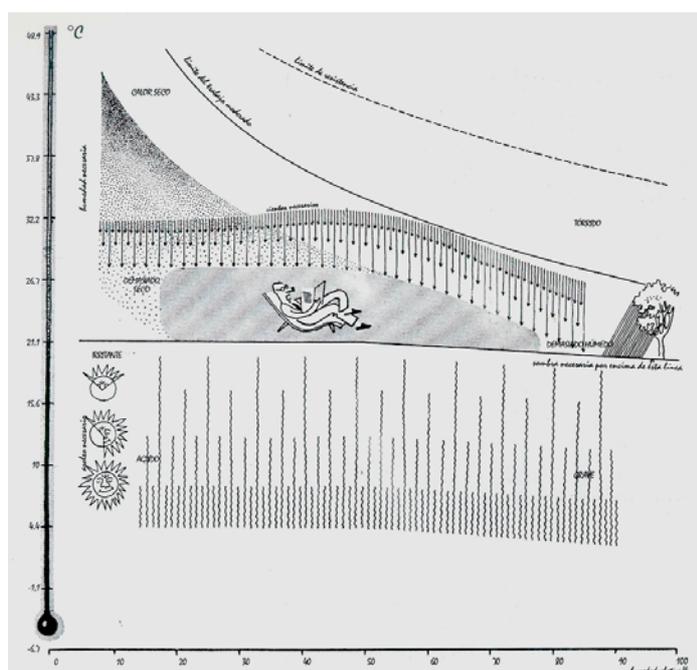


FIGURA 4.7 - Carta psicrométrica.
 FONTE: OLGAYAY, 1998, p. 23.

Porém, a metodologia bioclimática decorrente de tal estudo pressupõe que as condições dentro e fora do edifício sejam as mesmas, sem levar, portanto, em consideração a inércia térmica dos materiais da envoltória e do interior do edifício. Da mesma forma, ao utilizar correções apenas de dispositivos (como ventilação e umidificação), não considera soluções em termos de concepção arquitetônica, com exceção do sombreamento. Na opinião de Givoni (1969, p. 309-311), essa

análise é válida para regiões úmidas, nas quais a ventilação é essencial durante o dia, com pouca diferença entre as condições internas e externas. A sua aplicação em outras condições climáticas, no entanto, pode levar a conclusões errôneas.

Carl Mahoney, por sua vez, desenvolveu um método de análise climática (apud MASCARÓ, L., 1983, p.47; 165-182) com quadros simplificados de dados mensais de temperaturas do ar, umidade relativa, chuvas e direção do vento, dados esses que, aliados à diagnose do rigor climático e a um grupo de indicadores, servem como recomendações de estratégias para projeto e para as características construtivas. Para o projeto, essas indicações se referem à orientação solar, espaçamento entre edificações, movimento de ar, aberturas, paredes, coberturas, local para dormir ao ar livre e proteção contra a chuva, enquanto que para as características construtivas, são sugeridos dimensões, posição e proteção de vãos, tipos de paredes e coberturas e tratamento da superfície exterior. O método, embora defina o rigor climático mês a mês, apresenta informações genéricas, e é válido especialmente para regiões tropicais.

Realizada a análise climática de Passo Fundo a partir dos Quadros de Mahoney (ANEXO C.1), por sua simplificação no estabelecimento de uma visão genérica sobre as características bioclimáticas locais, conclui-se que o clima do Município se apresenta com períodos de calor durante o dia apenas nos meses de janeiro a março; de abril a maio, as noites ficam dentro dos limites de conforto; de setembro a dezembro os dias apresentam-se com conforto, porém as noites são consideradas frias; e finalmente, nos meses de inverno, de junho a agosto, os dias e as noites são frias. Em resumo, embora tendo como parâmetro os limites de conforto relacionados com climas tropicais, ocorrem, em Passo Fundo, mais períodos de frio do que de calor, com consideráveis períodos de conforto.

O método de Givoni (1969, p. 317-355) foi objeto de estudo das aplicações no caso de Passo Fundo, pois, além de oferecer elementos para associação de estratégias projetuais e conforto térmico, envolve também estimativas das condições do interior dos edifícios, seguindo a opinião de Müzzel (1996, p. 35). A análise é feita com base em medições diurnas para os períodos de maior desconforto, incluindo problemas tais como superaquecimento no verão, subaquecimento ou excessivo frio no inverno ou umidade excessiva durante estações chuvosas. A avaliação de conforto térmico é estabelecida por índices térmicos que expressam as respostas do homem às condições climáticas, referidas anteriormente, considerando-o em atividade sedentária.

O autor (GIVONI, 1969, p.90) estabeleceu o Índice de Tensão Térmica (*Index of Thermal Stress - ITS*) como modelo biofísico que descreve os mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente. O ITS abrange variáveis de temperatura do ar, pressão de vapor, velocidade do ar, radiação solar, taxa metabólica e vestuário, e indica a taxa de suor para a manutenção do equilíbrio térmico através da evaporação. As taxas negativas indicam tensão causada pelo resfriamento, sendo que o suor não é mais capaz de produzir conforto.

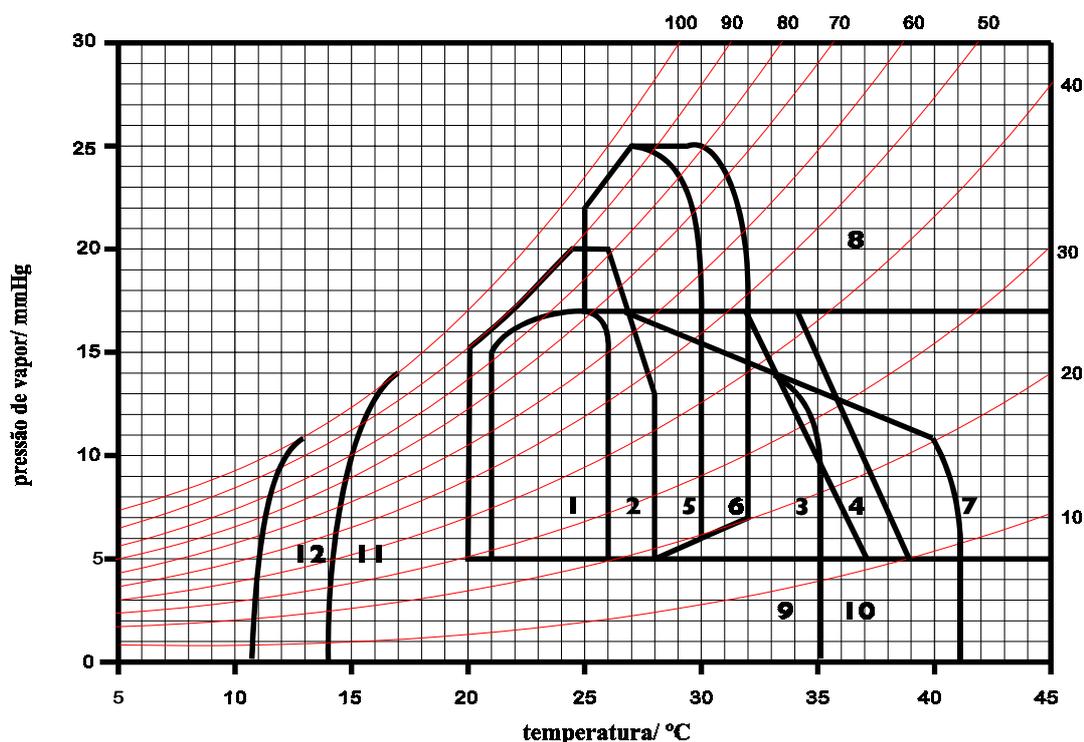


GRÁFICO 4.6 - Carta bioclimática de Givoni.
 FONTE: adaptado de GIVONI, 1969, p. 316.

A carta bioclimática (*Building Bioclimatic Chart - GRAF. 4.6*) foi desenvolvida no intuito de resolver problemas apontados por Givoni na aplicabilidade das cartas de Olgay, em especial quanto a sua validade restrita para condições externas, e da ASHRAE, válida para edificações com condicionamento térmico (GIVONI, 1992, p. 11-14). Tendo sido desenvolvido especialmente para as condições de conforto nos EUA, Europa e Israel – na concepção original de 1969 –, Givoni (1992, p.15) entendeu que o método deveria sofrer adaptações aos limites de temperatura e umidade de países em desenvolvimento de climas quentes, como é o caso do Brasil, considerando, ainda, as diferenças de metabolismo dos indivíduos. Em termos práticos, são ampliados os limites inferiores - para frio - e superiores - para calor -- da zona de conforto, sendo sugeridos os intervalos de 18 a 25°C para inverno e de 20 a 27°C para verão. Tais limites de temperatura, associados à umidade

do ar, implicam na redução progressiva nos limites de temperatura de conforto. Givoni (idem, p. 20-22), considera, ainda, adequações aos limites de conforto devido a prováveis ganhos térmicos internos e à velocidade do ar adequado às atividades desenvolvidas no ambiente.

A metodologia de análise anteriormente mencionada (GIVONI, 1969) encontra-se em estudo pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual elaborou uma proposta de zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 1998c), contemplando as adaptações sugeridas por Givoni (1992, p.11-22). Essa proposta visa a instrumentalizar as decisões de projetos direcionados para as condições locais, dividindo o território brasileiro em oito zonas com características climáticas relativamente homogêneas, e estabelecendo diretrizes construtivas para cada zona bioclimática (FIG. 4.8). Tendo tal metodologia como referência, Passo Fundo é classificado como pertencente à zona bioclimática 2.

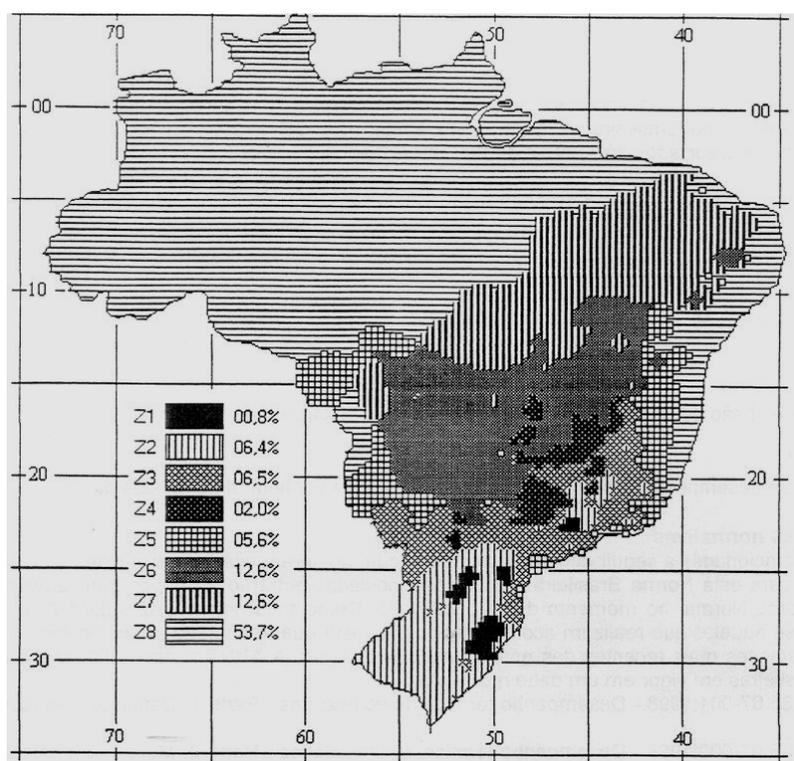


FIGURA 4.8 – Zoneamento climático brasileiro.

FONTE: ABNT, 1998c, p. 3.

Com base nessas considerações, a fim de ampliar os conceitos das zonas de estratégias de projeto, elaborou-se uma carta bioclimática (ABNT, 1998c, p. 18-21) específica para as variáveis locais de

temperaturas mensais mínimas e máximas e da umidade relativa média¹⁹, representadas por pontos situados ao longo das zonas de necessidade de aquecimento até as zonas onde a ventilação adicional é um fator de melhora das condições de conforto (GRAF. 4.7). No ANEXO C.2, são detalhamentos os resultados de aplicação da carta de Givoni para Passo Fundo.

LEGENDA

A) Zona de aquecimento artificial (calefação)	G e H) Zona de resfriamento evaporativo
B) Zona de aquecimento solar da edificação	H e I) Zona de massa térmica de refrigeração;
C) Zona de massa térmica para aquecimento	I e J) Zona de ventilação
D) Zona de conforto térmico (sob baixa umidade)	K) Zona de refrigeração artificial;
E) Zona de conforto térmico	L) Zona de umidificação do ar.
F) Zona de desumidificação (renovação do ar);	

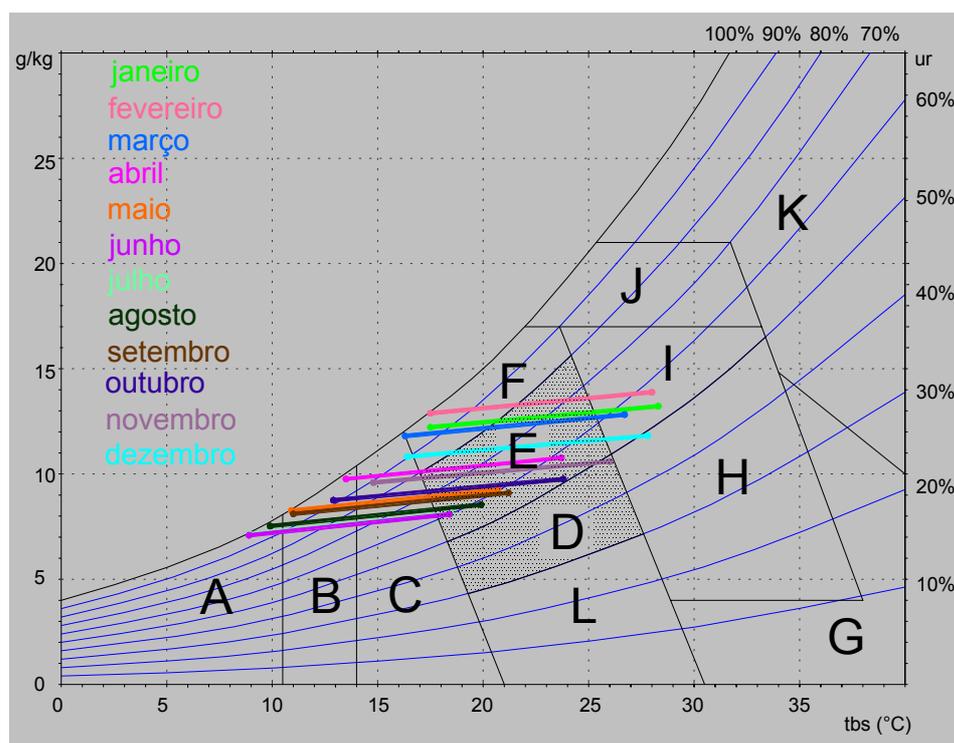


GRÁFICO 4.7 - Carta bioclimática de Givoni aplicada para Passo Fundo -RS.
 FONTE: elaborado pelo autor a partir da ABNT, 1998c, p. 18-21.

Quanto às temperaturas mínimas, observa-se, à esquerda do gráfico, que para os meses de maio a setembro são necessárias estratégias de aquecimento adicional contínuo, pois os limites estão abaixo dos considerados como mínimos para conforto; os meses de abril e outubro localizam-se na

¹⁹ Foram empregados apenas dados da umidade relativa média, em função de que as Normas Climáticas disponíveis não oferecem dados das máximas e mínimas, embora, ao final da tarde, elas normalmente aproximem-se da umidade relativa máxima.

zona onde a inércia térmica do edifício é requerida, o mesmo acontecendo nos meses de janeiro a março e de novembro a dezembro.

Por outro lado, correspondendo às temperaturas máximas, nos meses de dezembro a março, velocidades do ar mais elevadas são eficazes para produzir uma situação de conforto; o aquecimento por inércia térmica, por seu turno, é indicado para os meses de junho a agosto, pois mesmo as temperaturas máximas nesses meses de inverno apresentam *stress* térmico; já os meses de abril, setembro e outubro encontram-se na zona ideal de conforto, enquanto que maio e novembro apresentam condições admissíveis.

Assim, os resultados proporcionais para as situações de conforto e de desconforto ao frio e ao calor são as seguintes:

- a) situação de conforto em 41,3% do ano (zona E);
- b) situações de frio em 41,1% do ano (zonas A, B e C);
- c) situações de calor em 17,6% (zonas F e I).

Entretanto, ao ser considerado o regime de ocupação das escolas, ou seja, o ano letivo escolar, compreendido entre os meses de março e dezembro, os percentuais alteram-se para 42,1; 49,3 e 8,6%, respectivamente, indicando que as preocupações e soluções arquitetônicas a serem adotadas em resposta ao comportamento climático do ambiente externo basicamente devem se referir a situações de desconforto ao frio, com as respectivas estratégias de projeto correspondentes a cada uma das zonas que compõem a carta bioclimática.

As zonas de atuação para as características climáticas de Passo Fundo (*ABCFI*), como citado anteriormente, relacionam-se com a zona bioclimática 2. Assim, as estratégias de condicionamento térmico passivo são de aquecimento artificial (calefação), aquecimento solar da edificação, massa térmica para aquecimento, desumidificação (renovação do ar) e, ainda, ventilação de conforto. Essas estratégias são objeto de estudo específico, na seqüência desse trabalho, na qual se apresenta e se detalha a adequação das edificações, especialmente as escolares, às características climáticas locais.

Contudo, é oportuno salientar que, como se pode observar, segundo a caracterização climática utilizada por Givoni, Passo Fundo apresenta características de clima quente e úmido e de clima frio, ou seja: alguns meses necessitam de medidas tanto para aquecimento como para resfriamento. Isso implica uma complexidade climática, na qual a determinação dos princípios de desenho do edifício e a escolha dos materiais a serem empregados devem ser feitas de maneira a associar soluções para vários climas, soluções essas que devem ser utilizadas de forma cautelosa e com eventuais ajustes.

4.4 Avaliação das orientações

As considerações anteriores acerca da habitabilidade em edificações escolares e dos fatores climáticos que interferem nos requisitos de conforto dos usuários apontam a importância da orientação solar e de ventos com vistas, de fato, atingir os objetivos da arquitetura bioclimática.

Com referência à insolação, Olgyay (1998, p. 53) destaca que *“una parte muy importante de la labor arquitectónica consiste en la determinación de la posición del edificio para el aprovechamiento máximo de los beneficios térmicos, higiénicos y psicológicos que brinda la radiación solar”*.

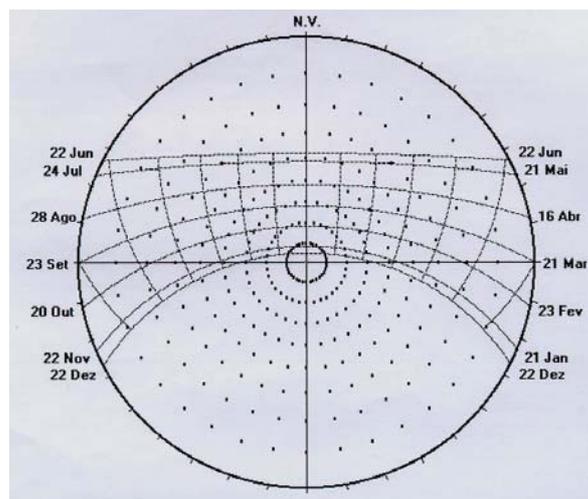


GRÁFICO 4.8 – Projeção estereográfica dos percursos aparentes do sol.
Passo Fundo – RS. Latitude 28°25' S.
FONTE: RORIZ, 1995.

Sendo a trajetória solar conhecida, a citada posição dos edifícios está condicionada diretamente à latitude do seu local de implantação, embora nas situações de baixas latitudes a orientação em

função da radiação solar perca importância, quando comparada com os locais de latitudes mais altas (MASCARÓ, L., 1985, p. 22). Para o clima subtropical, a melhor orientação solar, quanto ao conforto térmico, será aquela que proporcione a máxima radiação durante o período frio e a mínima durante o período quente (OLGYAY, 1998, p. 55).

A projeção geométrica da trajetória solar aparente (GRAF. 4.8) e da radiação incidente, tanto na forma de calor quanto de luz, que cada superfície recebe em função da orientação, permitem estabelecer alguns parâmetros a serem utilizados como critérios em projetos das diversas tipologias funcionais.

Os estudos de Gonçalves (1957) e de Aroztegui (1977) para a radiação solar na latitude de 30° 01' (Porto Alegre)²⁰ são apresentados no GRAF. 4.9 e no ANEXO D.1:

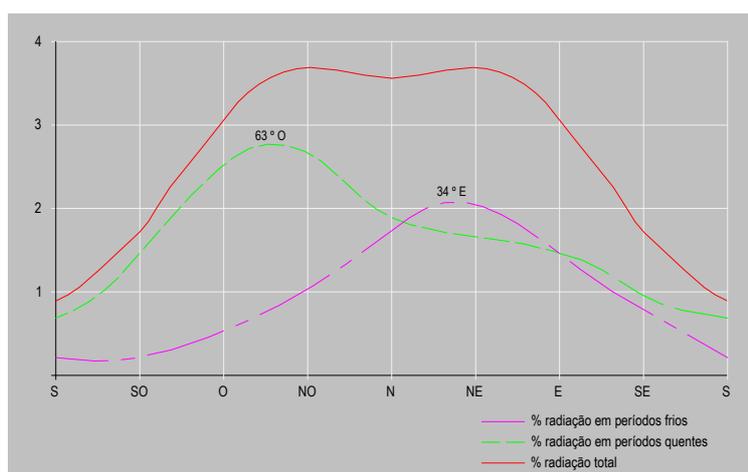


GRÁFICO 4.9 – Radiações recebidas nas superfícies verticais segundo orientação nos períodos quentes e frios. Latitude 30°. Coordenadas cartesianas. FONTE: adaptado de AROZTEGUI, 1977, p. 66.

A partir desses dados, é possível a análise do comportamento térmico das fachadas nos períodos quentes e frios. Segundo Olgay (1998, p. 54), sobre o comportamento térmico pode-se afirmar que:

a) para uma melhor condição de habitabilidade - exposição à radiação solar máxima no inverno e mínima no verão -, a fachada principal de um edifício deve estar orientada à linha do Equador (norte);

²⁰ Tendo em vista que as cartas solares são definidas para o intervalo de 2°, as diferenças de irradiância para a latitude 28°15'S (Passo Fundo) são relacionadas com as características da abóbada celeste quanto à nebulosidade local: para os meses de verão e no mês de agosto, o céu apresenta-se com maior nebulosidade em Passo Fundo, enquanto que nos demais a nebulosidade média tem pequena variação (UBER, 1992, p. 79-81; 117), conforme quadro comparativo do ANEXO D.1 (TAB. D.1).

- b) as fachadas orientadas para nordeste e noroeste oferecem a vantagem de uma insolação mais equilibrada durante todo o ano, tendo em vista a menor altura solar incidente. Porém, são mais frias no inverno e mais quentes no verão que as superfícies com orientação norte;
- c) as exposições para leste e oeste tornam os ambientes mais quentes no verão e mais frios no inverno, comparados com aqueles ambientes com exposição para norte, nordeste e noroeste.

A projeção da radiação solar recebida pelas superfícies verticais, em coordenadas polares (GRAF. 4.10), claramente mostra que a máxima radiação para o período quente está situada a 63° O, enquanto no período frio a 34° E.

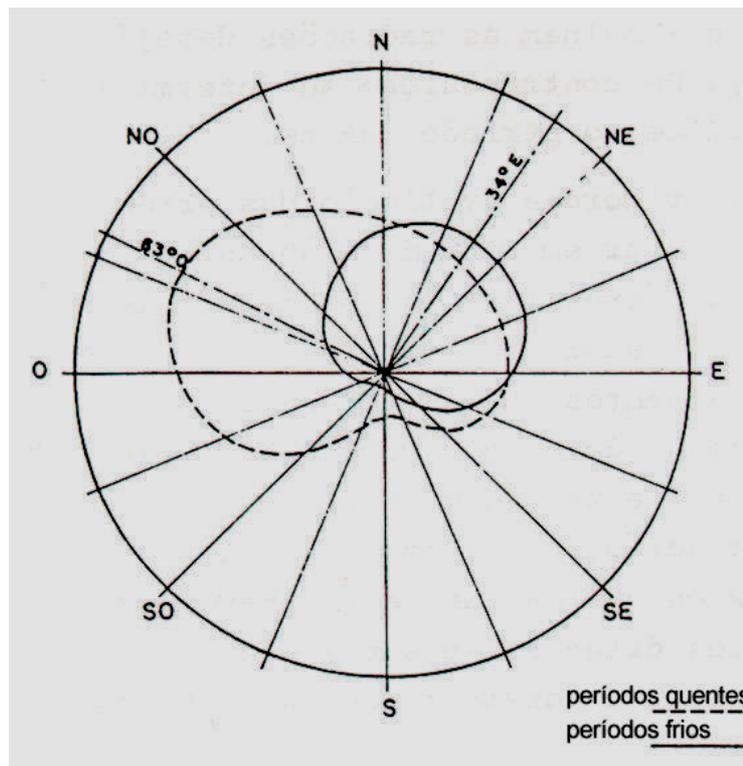


GRÁFICO 4.10 – Radições recebidas nas superfícies verticais segundo orientação nos períodos quentes e frios.
Latitude 30° . Coordenadas polares.
FONTE: AROZTEGUI, 1977, p. 66.

Dos dados fornecidos pelo gráfico anterior, pode-se concluir acerca das orientações solares favoráveis e desfavoráveis, no que tange ao aspecto térmico, conclusões essas apresentadas no GRAF. 4.11, que segue:

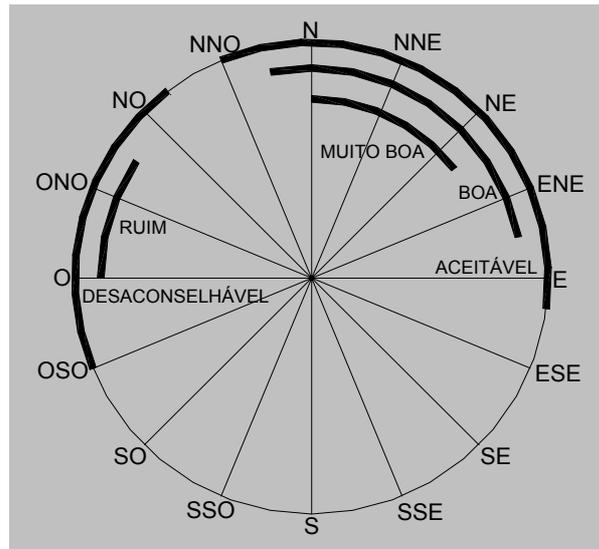


GRÁFICO 4.11 – Avaliação das orientações quanto aos aspectos térmicos.
 FONTE: Adaptado de AROZTEGUI, 1977, p. 67.

Conforme Aroztegui (1977, p. 65), a avaliação das orientações precisa considerar, também, “outros fatores, particularmente a facilidade para o controle natural das radiações e o aproveitamento dos ventos dominantes da região”, além de respeitar as exigências estéticas vigentes e psicológicas dos ocupantes - de privacidade, das perspectivas visuais, etc. Especificamente para salas de aula, o conceito *psicohigiênico* já citado estabelece (ARGENTINA, 1996, p. 55) a insolação mínima de 2 horas entre as 9 e 16 horas do dia mais desfavorável do ano.

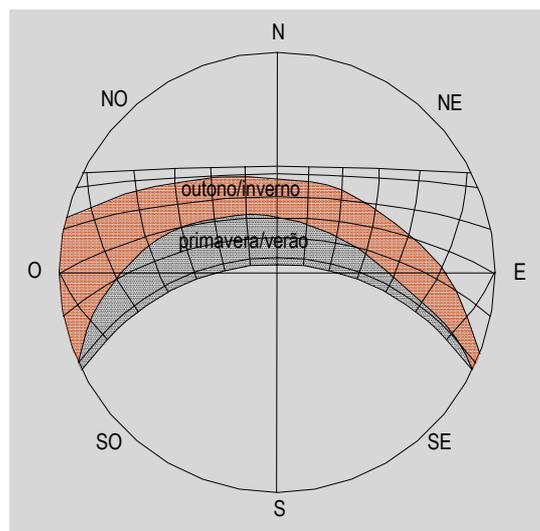


GRÁFICO 4.12 – Diagrama das sombras desejáveis. Linha de sombra aos 20°C. Latitude 28°25'S.
 FONTE: adaptado de AROZTEGUI, 1977, p. 64.

O GRAF. 4.12 mostra como é possível, a partir da determinação da insolação das fachadas, elaborar diagramas que indiquem as orientações e horários em que o sombreamento das

superfícies se faz necessário, dado esse a ser utilizado no projeto dos dispositivos de proteção solar, de acordo com as variações sazonais, de maneira a responder satisfatoriamente ao conjunto dos fatores do conforto higro-térmico e visual do ambiente em estudo.

A definição das orientações também depende da disponibilidade de luz natural, relacionada com as características de nebulosidade da abóbada celeste - de encoberta a céu claro²¹ -, devendo incluir, na avaliação, o componente das iluminâncias incidentes sobre as fachadas e tetos. Os resultados obtidos através da utilização do programa computacional *ISE* (STAHL, 1996) - o qual considera dados locais desde a latitude até as condições atmosféricas, para cada azimute solar específico (ANEXO D.2) -, permitem tal análise, sendo válidos para os estudos relativos ao comportamento lumínico dos ambientes internos.

Quanto aos ventos, o GRAF. 4.4 e o ANEXO B.4 mostram que em Passo Fundo durante todo o ano a direção dominante é a nordeste, tanto para os períodos frios quanto para os quentes, introduzindo um fator complicador na escolha da orientação favorável para a adoção exclusivamente da ventilação dinâmica, especialmente de inverno, por coincidir com a exposição ideal das fachadas à radiação. Tal fato determina a utilização cautelosa das esquadrias, devendo as mesmas apresentar boa estanqueidade ao ar (e à água), e de dimensões adequadas.

²¹ No caso específico de Passo Fundo, conforme dados do ANEXO B, a abóbada celeste apresenta-se com nebulosidade entre 47% e 59%, com média anual de 52%.

5 EXEMPLOS DE ESCOLAS SOLARES PASSIVAS

5.1 Considerações iniciais

Como reflexo do conhecimento acumulado das relações ambientais entre o homem e o entorno, advindas das aplicações - inicialmente experimentais - de inovadoras tecnologias capazes de resolver as novas pautas ambientais e de reavaliar simultaneamente os métodos tradicionais de projeto e construção, a partir da década de 1970 a prática arquitetônica criou situações reais de edifícios concebidos sob esta nova perspectiva, cujo tema foi abordado anteriormente, com a definição da arquitetura bioclimática e das formas de controle dos aspectos ambientais e energéticos, quer seja na escala da edificação isolada, quer seja na escala urbana: seletivo ou exclusivo, solar ou solarizado, ativo ou passivo.

Os conceitos do controle solar passivo foram aplicados no campo de estudo específico deste trabalho, caracterizando as chamadas escolas solares passivas, edificações que, por suas condições de exposição ao ambiente, interagem com as variáveis climáticas locais, objetivando maximizar os benefícios da energia do entorno.

Segundo essa concepção, a energia natural disponível pode ser empregada para ampliar as condições de habitabilidade dos edifícios - aquecimento/refrigeração, ventilação e iluminação -, respondendo às necessidades climáticas locais representadas pelas zonas de atuação propostas pelos métodos de análise bioclimática, produzindo, assim, níveis aceitáveis de conforto aos usuários. Como sugere o DFE - *Department for Education, Architects and Building Division* (GREAT BRITAIN, 1994, p. 9), a adequada aplicação dos princípios do desenho solar passivo resulta em um consumo energético menor quando comparado ao dos edifícios convencionais.

A fim de incrementar a utilização desses princípios, foram estabelecidas estratégias de projeto, segundo as quais a energia solar é otimizada com a tipologia formal do edifício e com os materiais utilizados, esquadrias, sistemas de serviços e de controles. Ou seja: todos os elementos devem ser considerados de maneira integrada, não apenas na própria edificação, mas também em relação ao sítio, à orientação solar e de ventos e, sobretudo em relação ao microclima local. As funções e padrões de uso dos edifícios tornam-se, igualmente, objetos de consideração, assim como os requisitos de conforto.

Inicialmente, apresentar-se-ão experiências de escolas solares passivas, nas quais algumas estratégias de desenho ficam implícitas, em linhas gerais. Na continuidade, essas estratégias serão abordadas de maneira específica, visando sua adequação às características do clima local de Passo Fundo: subtropical úmido de altitude, conforme diagnóstico climático elaborado a partir da respectiva carta bioclimática.

5.2 Experiências internacionais

5.2.1 Wallasey School

Antecipando-se às preocupações da chamada crise energética dos anos 70, foi construída, na Inglaterra, a primeira edificação aplicando os conceitos ora descritos, ou mais exatamente a primeira escola solar passiva: a ampliação da *St. George's County School*, de autoria de Emslie Morgan, em *Wallasey* – Cheshire, GB (FIG. 2.13). Este prédio representou, para Banham (1975, p. 310), “[...] algo de leyenda o cause célebre entre los ambientalistas británicos”, e, para Hawkes (1996, p.19, tradução do autor) “um significativo marco para o futuro [...]”, atingindo, inclusive “[...] um status icônico” para o meio educacional.

Banham (1975, p.312) descreve a estrutura da *Wallasey School* como

[...] una revaluación imaginativa de uno de los controles ambientales más antiguos conocidos por el hombre, la estructura maciza funciona para conservar el calor, más un intento de aprovechamiento avanzado de la fuente fundamental y más antigua de toda la energía ambiental: el sol.

A hipótese fundamental do projeto, conforme Hawkes (1996, p.121), foi de que caso o isolamento térmico e a disposição da massa térmica estivessem corretamente organizados, seria possível manter uma temperatura interna de conforto durante as estações frias bem marcantes, determinadas pelas características do clima local - do tipo *Cbf* na classificação de Trewartha (1954, p. 233-237) -, com a combinação dos ganhos solares, do calor metabólico produzido pelos ocupantes e do calor resultante dos equipamentos de iluminação.

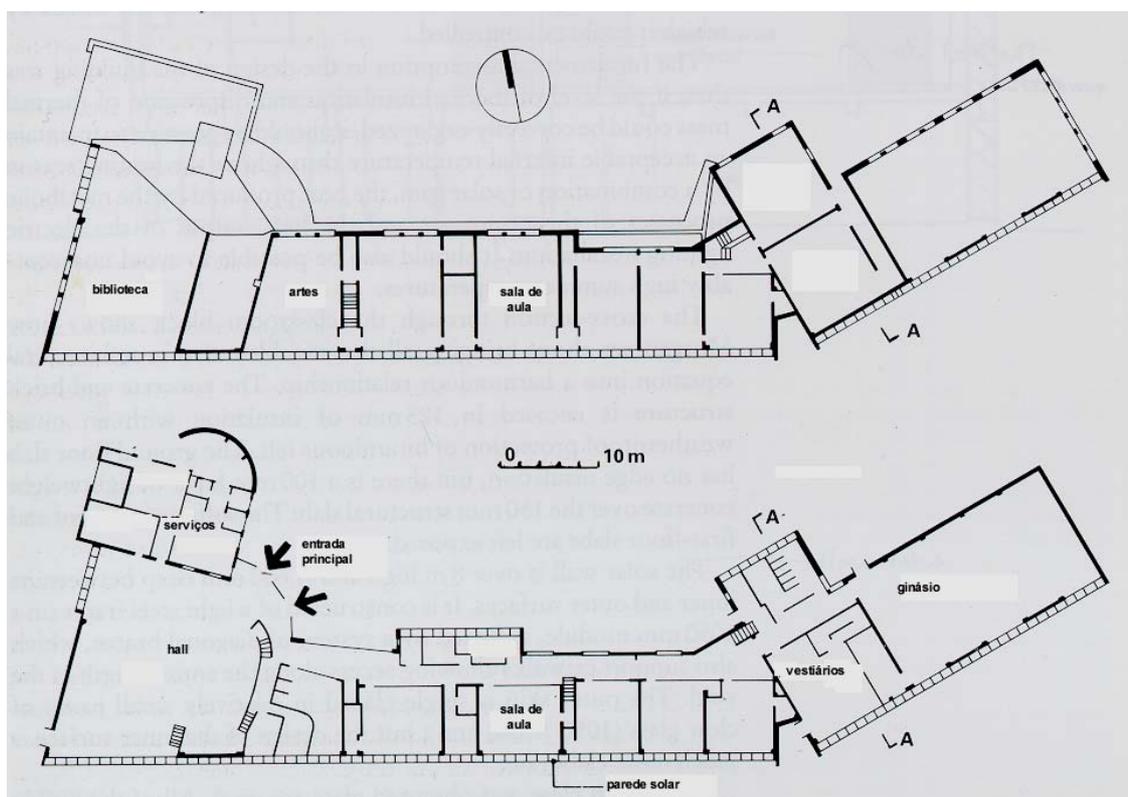


FIGURA 5.1 – E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
Plantas baixas dos pavimentos térreo e superior.
FONTE: adaptado de HAWKES, 1996, p. 122.

Para maximizar os ganhos solares, a escola parte de um partido arquitetônico linear (FIG. 5.1) com eixo longitudinal no sentido leste-oeste, orientando compartimentos como salas de aula, biblioteca e ginásio de esportes ao sul, fachada essa onde Morgan utilizou uma parede solar (FIG. 2.13 e 5.2), cuja altura e comprimento apresentam-se como uma solução que, na opinião de Fawcett (1999, p. 16, tradução do autor), “oferece um potencial novo para a criação da forma”.

A parede solar consiste em duas superfícies de vidro com altura de 8 metros e separadas por uma câmara de ar de 60cm - a exterior transparente e a interior translúcida, esta com a finalidade de

permitir a entrada de luz difusa nas salas, evitando ofuscamentos. Além disso, utiliza a massa térmica das paredes (em tijolos de 25 cm de espessura) e cobertura (concreto de 18 cm e isolamento de espuma de poliestireno com 12 cm de espessura), proporcionando o controle térmico pela absorção/reflexão do calor solar. Abaixo das janelas da fachada norte, foram instalados radiadores para um sistema adicional de aquecimento convencional. No entanto, os mesmos raramente precisavam ser utilizados, demonstrando, então, a eficiência do sistema proposto por Morgan. Venezianas móveis internas à parede solar foram instaladas para evitar a exposição da superfície de vidro interna à radiação excessiva de verão.

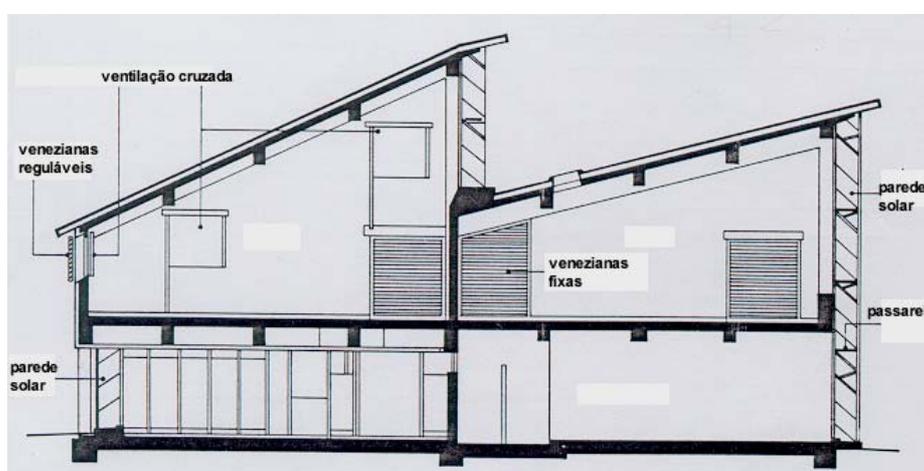


FIGURA 5.2 – E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
Corte transversal AA.

FONTE: adaptado de HAWKES, 1987, p. 56.

O GRAF. E.1 (ANEXO E.1) aponta as temperaturas externas e internas no período de janeiro de 1969 a julho de 1970, sendo que as temperaturas do ar no inverno situavam-se dentro dos limites de conforto, embora Morgan questione que as temperaturas das superfícies não tenham atingido o resultado desejado, ficando abaixo das temperaturas do ar. Para os períodos mais quentes, igualmente o edifício apresentou níveis de conforto, evitando o superaquecimento: temperatura externa de 23°C em julho de 1969, enquanto internamente permanecia em 22.4°C, com uma diferença de menos de 2°C dentro dos limites aceitáveis, segundo Hawkes (1996, p. 125).

O desenho de janelas pivotantes horizontalmente (FIG. 5.3) propiciam, de acordo com as necessidades, um isolamento completo, evitando perdas de calor; a renovação do ar é controlada por grelhas colocadas sob os peitoris, e/ou pela abertura completa, para uma ventilação mais eficiente em períodos mais amenos e quentes, através de ventilação cruzada permitida por esquadrias localizadas na fachada norte (FIG. 5.4). Entretanto, na prática, os níveis de ventilação

ficaram abaixo dos ideais, conforme avaliações pós-ocupação, indicando, assim, o ponto mais vulnerável de todo o sistema de controle ambiental.

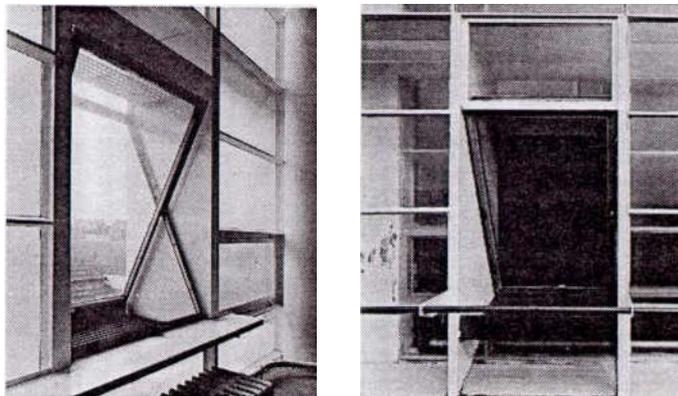


FIGURA 5.3 - E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
 Detalhe da parede solar e de janelas pivotantes.
 FONTE: HAWKES, 1987, p. 57.

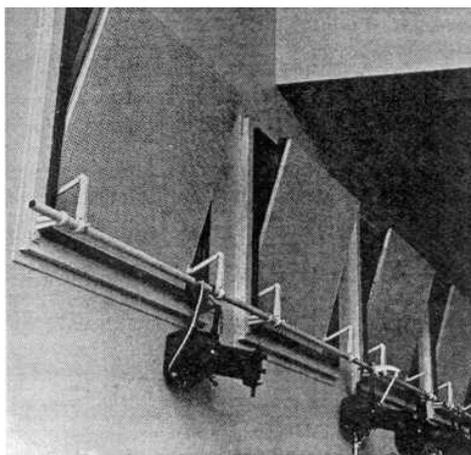


FIGURA 5.4 - E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
 Esquadrias da fachada norte.
 FONTE: HAWKES, 1987, p. 58.

Já a iluminância natural das salas (FIG. 5.5), apesar da grande superfície de vidro externa - mesmo para as características locais de abóbada celeste encoberta predominante -, do uso de material difusor e da obstrução por painéis internos, permanece em padrões, embora abaixo das especificações oficiais, plenamente aceitáveis²², já que, conforme o mesmo Hawkes (1987, p. 56), isoladamente a iluminância não é base para um bom projeto de iluminação. Segundo ele, um ambiente com distribuição relativamente uniforme de iluminância é preferível a outro com variações

²² A partir de medições de CARTER, citado por HAWKES, 1987, p. 56.

extremas. Nesses termos, o autor considera a *Wallasey School* como adequada às necessidades de conforto dos usuários.



FIGURA 5.5 - E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
Vista interna de sala de aula.
FONTE: HAWKES, 1996, p. 124.

Na opinião de Banham (1975, p. 315-316), embora tenham ocorrido alguns problemas de projeto relacionados à ventilação e à iluminação natural, a escola de Morgan teve êxito por redimensionar radicalmente os métodos de manejo ambiental, o qual, segundo o autor, só é possível com o conhecimento tecnológico quantificado, derivado da experiência e do experimento controlado, comprovando cientificamente as regras empíricas das culturas vernáculas para controle dos seus entornos ambientais.

5.2.2 Escola de Les Franqueses del Valles

O *Building 2000* consistiu em uma série de estudos promovidos pela Comissão das Comunidades Européias sobre o desenvolvimento de um programa de aplicação de energia solar em edificações. Visava, com isso, apresentar, aos arquitetos, o uso dos princípios solares passivos, possibilitando a construção de edificações energeticamente eficientes.

Foi nessa perspectiva que foi elaborado o projeto para uma escola elementar (SANMARTI; SERRA FLORENÇA. [199-]) no *Ayuntamiento de Les Franqueses del Valles*, situado ao norte de Barcelona, Espanha (latitude 41°38'N, longitude 2°51'E). A caracterização climática do local, imprescindível

para o desenvolvimento de uma proposta de adequação ao entorno, é de clima tipicamente mediterrâneo, ou Csa pela classificação de Trewartha (1954, p. 233-237): temperaturas moderadas, neblina no outono e inverno e verões secos.

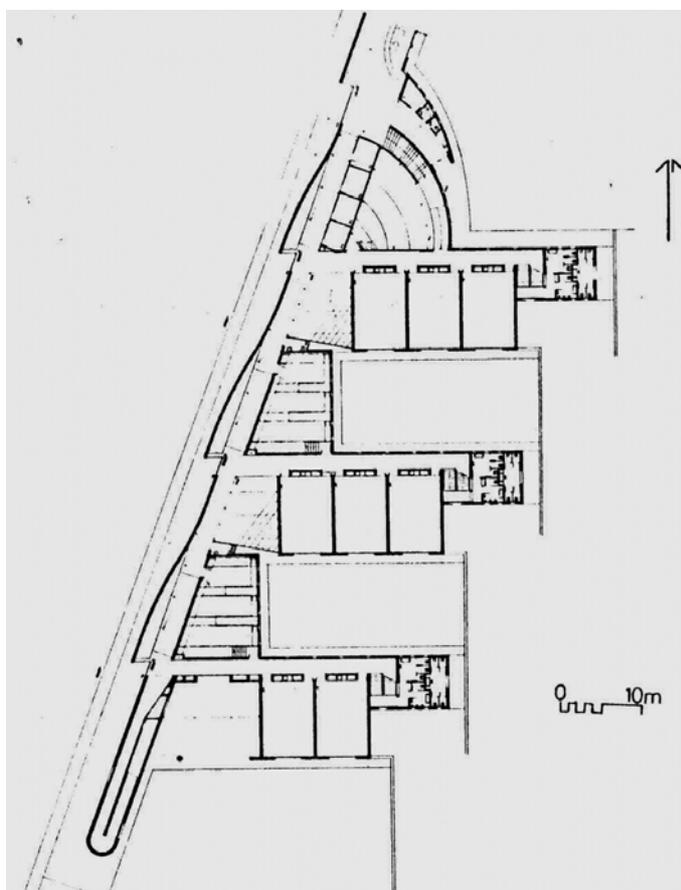


FIGURA 5.6 – J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Planta baixa do pavimento térreo.
FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 3.

O partido de implantação (FIG. 5.6) apresenta blocos de dois pavimentos, orientados na direção leste-oeste, de forma a garantir a exposição das salas de aula para o Equador. Ambos os blocos são articulados por uma circulação principal de eixo diagonal, o que confere movimentação ao conjunto da edificação.

O aquecimento das salas de aula no inverno é garantido por ganho solar direto através das janelas e ganho indireto por depósitos de água com alta inércia térmica, localizados abaixo dos peitoris das janelas. Nos períodos do ano com temperaturas mais altas, o conforto é atingido por alto nível de ventilação cruzada.

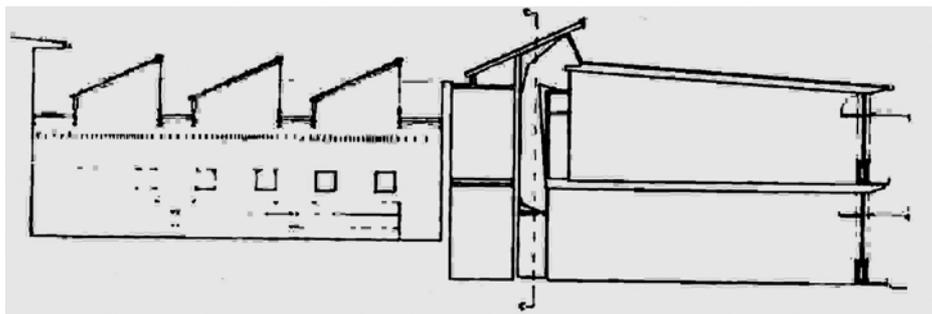


FIGURA 5.7 – J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Corte transversal em salas de aula e laboratório.
FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 3.

Entretanto, os principais elementos compositivos da escola estão relacionados com o aproveitamento da luz diurna. Para tanto, os arquitetos lançaram mão de um vasto repertório de soluções: clerestórios, difusores, estantes de luz e dutos de iluminação, aliando a concepção bioclimática à liberdade de variações na composição volumétrica do edifício (FIG. 5.7).

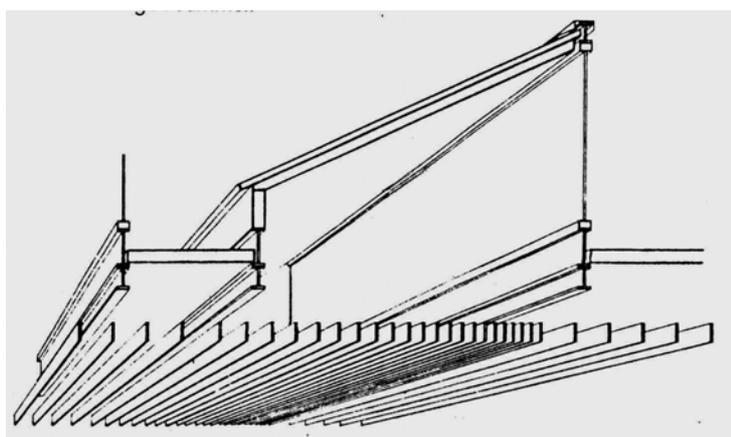


FIGURA 5.8 – J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Clerestórios nos laboratórios - perspectiva.
FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 4.

Nos laboratórios, foram utilizados clerestórios com orientação sul e difusores de luz dispostos verticalmente (FIG. 5.8), promovendo, assim, uma distribuição uniforme da luz diurna a partir de um correto dimensionamento do afastamento das lâminas do difusor, a fim de prevenir o indesejável ofuscamento e a penetração de radiação solar direta (FIG. E.1 - ANEXO E.2); a ventilação, por sua vez, foi utilizada para evitar o superaquecimento no verão. A iluminância medida (SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 7) indicou que para as condições de abóbada celeste encoberta, o fator de luz diurna (*daylight factor*) variava entre 4% e 7%. Levando em consideração a relação entre as condições externas de céu claro e a iluminância interna, percebe-se que o sistema utilizado

desempenhava com eficiência a seleção da radiação externa incidente nos ambientes internos (GRAF. E.2 – ANEXO E.2).

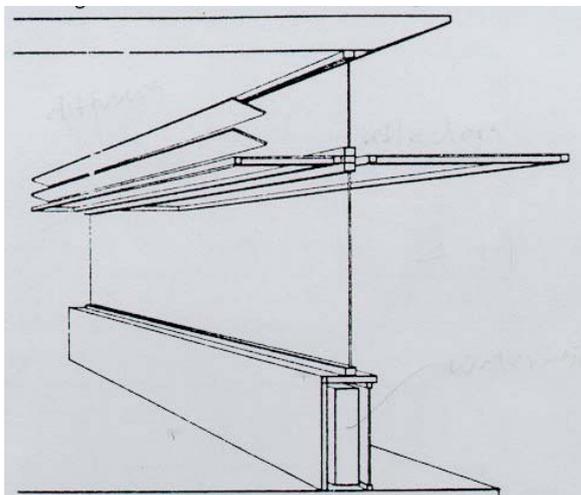


FIGURA 5.9 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Estantes de luz nas salas de aula - perspectiva.
FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 6.

Visto que a fachada sul recebia uma quantidade de luz muito acima dos requisitos para a ocupação dos ambientes, nas salas de aula esse problema foi resolvido com estantes de luz (*light-shelves*) constituídas por elementos refletores e difusores (FIG. 5.9) que controlam a incidência de radiação solar direta - espectro luminoso -, ampliam a qualidade da distribuição de iluminância nos ambientes e, simultaneamente, protegem as esquadrias e os ambientes da exposição à radiação solar direta – espectro térmico - nos períodos em que os ganhos térmicos excessivos podem causar situações de desconforto (GRAF. E.3 – ANEXO E.2).

Adicionalmente, o projeto desenvolvido analisou o arranjo das salas de aula sob o ponto de vista econômico, aspecto abordado previamente, sugerindo a disposição da menor dimensão das salas na face com exposição direta à luz diurna (FIG. 5.6), de maneira a diminuir custos através da redução das superfícies externas e de circulação, arranjo que resultou, por outro lado, em diminuição da iluminância nas zonas opostas às janelas. Com o objetivo de suplementar a iluminância das salas de aula, nas áreas mais afastadas da fonte de luz diurna utilizaram-se dutos de iluminação (FIG. 5.10) orientados para o sul, de forma a captar os raios solares e direcioná-los para as áreas problemáticas tanto no pavimento térreo quanto no superior; esses elementos apresentam, também, a função de dutos de ventilação, responsáveis pelo incremento da ventilação natural dos ambientes, ao comporem, com as janelas exteriores, um fluxo cruzado de ar.

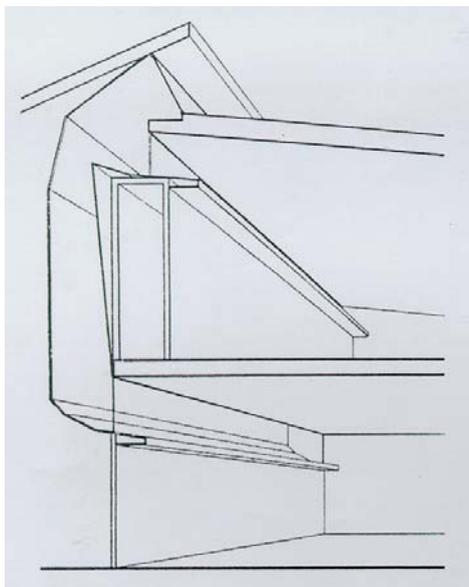


FIGURA 5.10 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Dutos de iluminação e ventilação nas salas de aula – perspectiva.
FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 5.

As simulações da iluminância nas salas de aulas (SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 8), apresentadas no GRÁFICO E.3 do ANEXO E.2 demonstraram a eficiência das estantes de luz. Entretanto, deve-se considerar que os dutos de iluminação contribuem com uma pequena parcela no fator de luz diurna - entre 5% em dezembro e 3% em março, devendo, sua eficiência, ser avaliada conjuntamente com todos os demais aspectos envolvidos.

Com relação ao desempenho térmico, identificando-se o mês de janeiro como mais frio, a análise mostrou que os ganhos térmicos resultaram em temperatura interna média um pouco abaixo do padrão local de conforto. Mesmo assim, essa temperatura representou redução nos custos de aquecimento em cerca de 75%, conforme simulações computacionais e avaliação dos projetistas (SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 9).

Ainda de acordo com as simulações desenvolvidas, o sistema de ventilação cumpre os objetivos propostos: velocidade do ar entre 0,2 e 0,4 m/s para ventilação cruzada nos períodos quentes; manutenção do resfriamento noturno da envoltória do edifício através da inércia térmica dos materiais construtivos; baixas taxas de renovação do ar nos período frios e intermediários, com ventilação higiênica para garantia da qualidade do ar.

5.2.3 Escola do Crato

Da mesma forma que nos casos citados anteriormente, tendo em vista a obtenção de situações de condições de conforto a partir da seleção dos elementos ambientais favoráveis, L. V. Cunha e R. B. Costa desenvolveram o projeto da *Escola do Crato*, em Portugal, situada em uma zona de clima muito quente no verão e muito frio no inverno - clima do tipo *Csb* -, com as condições ideais, portanto, segundo Gonçalves et al. (1998b, p. 229), para o aproveitamento das estratégias solares passivas, tanto pelas condições propícias da radiação solar no inverno, quanto pela grande amplitude térmica diária no verão, favorável ao uso de ventilação noturna.

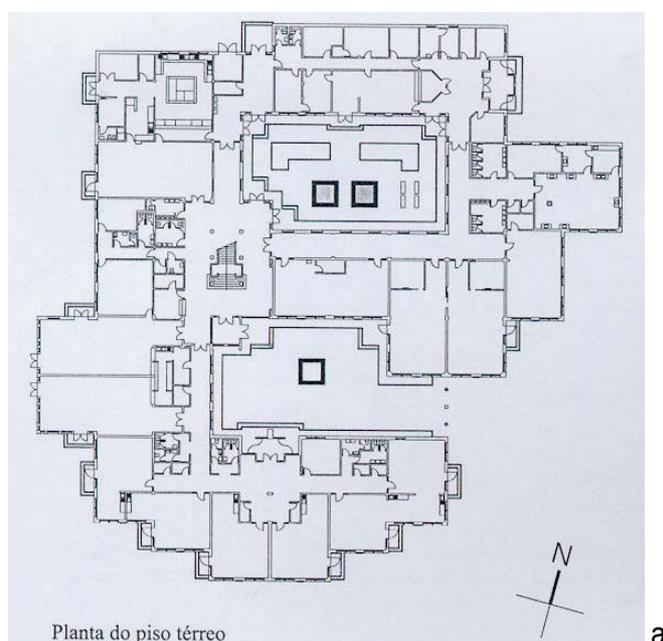


FIGURA 5.11 - L. V. Cunha; R. B. Costa, *Escola do Crato*, Portugal, 1988.

a. planta baixa do pavimento térreo;

b. vista externa da fachada leste;

FORTE: GONÇALVES et al., 1998a, p. 61; 63.

De acordo com a organização espacial (FIG. 5.11), distribuiu as salas de aula voltadas ao Equador - orientação sul -, com dois pavimentos desenvolvidos em torno de pátios dimensionados para permitir a exposição solar no inverno e o resfriamento evaporativo no verão, resgatando, pelas suas características, a arquitetura regional ibérica de origem mourisca.

A fachada sul apresenta amplas janelas de vidro simples e um sistema de coletores de ar que permitem a ventilação dos espaços interiores adjacentes durante todo o ano. Esses coletores são constituídos, externamente, por uma superfície de vidro e, internamente, por um material absorvente, sem qualquer capacidade de armazenamento térmico. Isso gera duas situações distintas de circulação de ar, desencadeadas através de um sistema manual de abertura/fechamento (FIG. 5.12): no inverno, o ar exterior é aquecido pelo coletor solar e pelo princípio de termosifão insuflado para o interior; no verão, o ar interior é extraído pela diferença de temperatura.

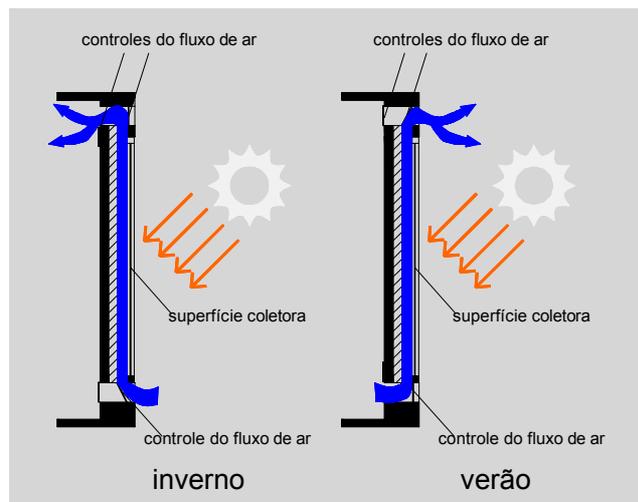


FIGURA 5.12 - L. V. Cunha; R. B. Costa, Escola do Crato, Portugal, 1988.
Esquema de funcionamento dos coletores de ar.
FONTE: adaptado de GONÇALVES et al., 1998a, p. 64.

Saraiva et al. (1993, p. 413) definem que a eficiência deste tipo de solução está diretamente relacionada às forças dinâmicas atuantes - distribuição da pressão sobre as paredes externas pela interferência no fluxo do vento -, bem como às características do movimento de ar - direção e velocidade - e dos efeitos termodinâmicos.

Como sistema de refrigeração, os autores adotaram o resfriamento evaporativo, a partir do emprego de espelhos d'água com chafarizes nos pátios internos (FIG. 5.13), capazes de promover a

umidificação do ar exterior. Através da ventilação cruzada feita pelos coletores citados anteriormente, o ar umidificado ingressa no interior do edifício, proporcionando um resfriamento do ar interior no verão. O sombreamento das janelas por persianas plásticas externas - inclusive pela caixa das mesmas - reduz a exposição à radiação solar, impedindo o superaquecimento interno nos períodos quentes.

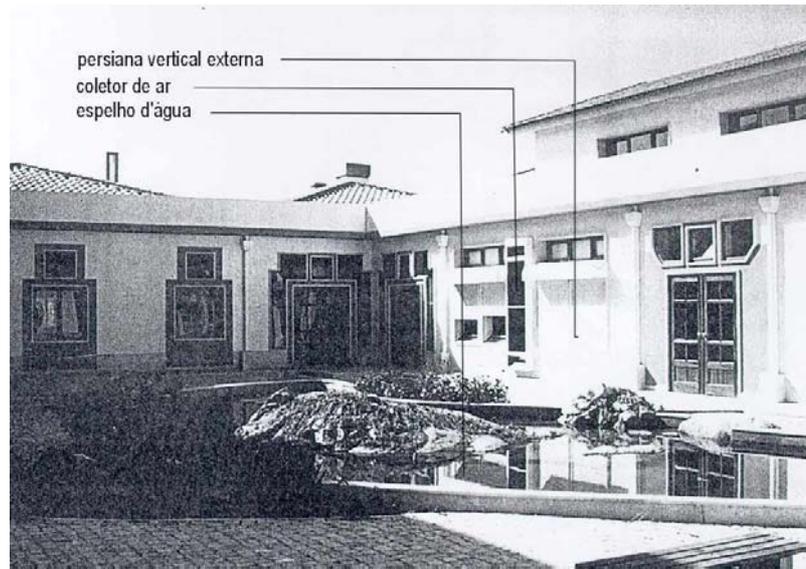


FIGURA 5.13 - L. V. Cunha; R. B. Costa, *Escola do Crato*, Portugal, 1988.
Vista pátio interno: espelho d'água, coletores de ar e persianas externas.
FONTE: adaptado de GONÇALVES et al., 1998a, p. 60.

5.2.4 Escola de Medrano

Tendo como proposta a pesquisa de soluções para os déficits da rede escolar na Argentina, bem como a aplicação de uma metodologia de projeto adotando tecnologias alternativas para o conforto ambiental, foram elaborados, pelo LAHV-INCIHUSA, vários projetos, dentre os quais o da *Escola de Medrano*, situada na Província de Mendoza (latitude 33°18'S, longitude 68°66'O), na planície árida ao leste da Cordilheira dos Andes, região de clima quente, do tipo *BW*, excessivamente seco no verão - 165 graus-dia de resfriamento, base 23°C - e frio no inverno - 1.384 graus-dia de aquecimento, base 18°C (DE ROSA et al., 1999).

O objetivo geral do projeto foi o de otimizar as condições ambientais, maximizando o uso de energia convencional para aquecimento, resfriamento e iluminação, objetivos alcançados através do uso de medidas alternativas de conservação de energia, aquecimento solar passivo, resfriamento convectivo noturno, ventilação natural higiênica e de conforto, e, ainda, iluminação natural.

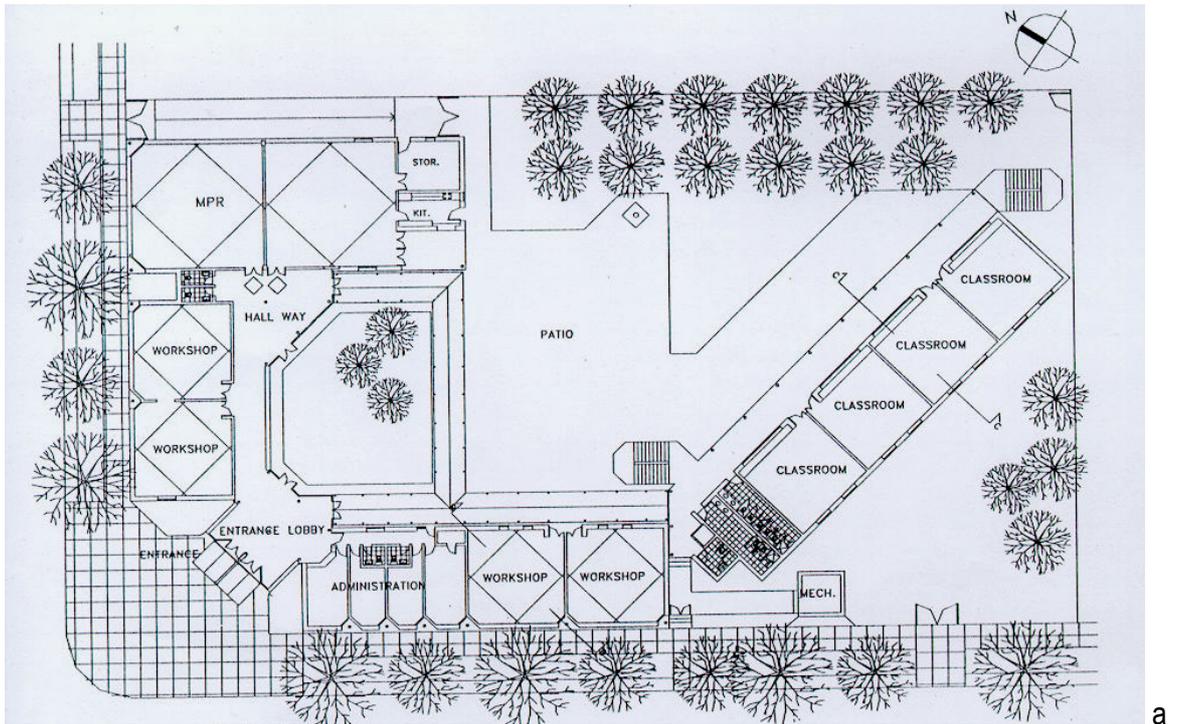


FIGURA 5. 14 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Medrano*, Mendoza, Argentina, 1999.

- a. planta baixa.
- b. vista da fachada norte -bloco de salas de aula;
- c. vista do acesso principal.

FONTE: DE ROSA et al., 1999; fotos do autor.

O partido arquitetônico foi estruturado (FIG. 5.14.a) com vistas a atender aos requisitos básicos de obtenção da melhor orientação solar possível a todos os espaços da escola, articulados a um espaço aberto principal. Para tanto, foram desenvolvidos linearmente, com o bloco de salas de aulas em dois pavimentos (FIG. 5.14.b) orientado no eixo leste-oeste e galerias abertas orientadas para o norte. O resultado compositivo interrelaciona os dispositivos bioclimáticos adotados com a exploração das texturas e cores dos materiais regionais utilizados (FIG. 5.14.c).

O aquecimento solar passivo parte da orientação para propiciar uma melhor exposição à radiação solar nas salas de aula, descritas anteriormente, com a utilização de clerestórios nos demais ambientes da escola. A massa térmica dos materiais empregados nas paredes e na cobertura foi também explorada para um melhor condicionamento ambiental.

Nas salas de aula do pavimento superior (FIG. 5.15), o ganho direto de calor ocorre através das janelas localizadas sobre a galeria coberta - clerestório. No nível inferior, a situação é menos favorável, tendo em vista a barreira à radiação direta pela mencionada galeria; de acordo com de Rosa et al. (1998, p. 03_3), esse aspecto constitui-se em objeto de pesquisa para alternativas de uso de aquecimento passivo: fechamento da galeria com superfície translúcida, convertendo-a em um solário para captação de radiação no inverno, e esquadrias reguláveis para ventilação no verão, e, ainda, a instalação de elementos convectores na metade inferior da parede entre as salas e a galeria, exposta à radiação direta para transferência do calor armazenado para o ambiente interno. A solução utilizada atualmente é a do aproveitamento do calor difuso e refletido pelo piso da galeria, através das janelas existentes.

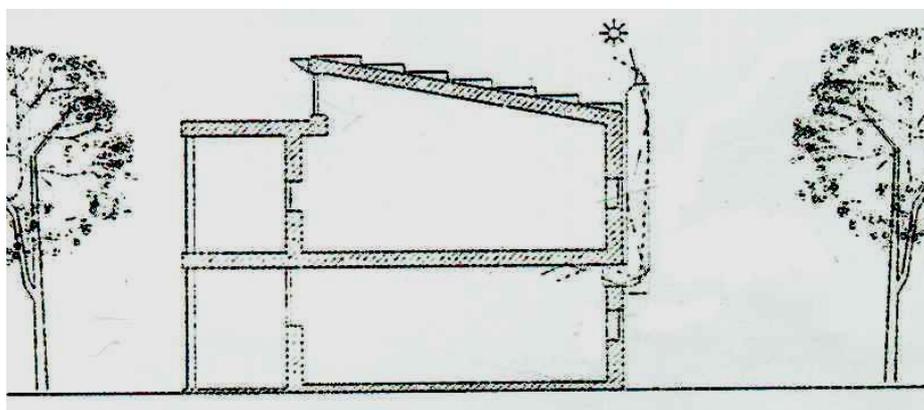


FIGURA 5.15 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Medrano*, Mendoza, Argentina, 1999.
Corte transversal no bloco de salas de aula.
FONTE: CANDIA et al., 1998.

Nos ambientes dotados de clerestórios - laboratórios, sala de uso múltiplo, etc -, o ganho de calor direto, assim como nos demais ambientes com orientação norte, é controlado através de *brises-soleil* horizontais (FIG. 5.16), de forma a obter plena insolação nos meses de maio a julho, período caracterizado pelo solstício de inverno, e pleno sombreamento do período entre novembro e janeiro.



FIGURA 5. 16 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Medrano*, Mendoza, Argentina, 1999.
Brises-soleil na orientação norte.
 FONTE: foto do autor.

Outro destaque do projeto é que ele permitiu uma eficiente ventilação natural cruzada: nas paredes a sotavento (ventos de direção predominante sul e sudeste) através de janelas localizadas à meia altura, e nas paredes opostas por duas opções de abertura: no caso de necessidade de ventilação de conforto, janelas baixas possibilitam o fluxo de ar na zona de ocupação, já o controle de abertura superior permite a ventilação higiênica e o resfriamento do ambiente por ventilação noturna.

A iluminação natural foi garantida pelas mesmas estratégias de condicionamento térmico passivo, incluindo-se, para a distribuição da iluminância necessária às tarefas específicas, a utilização de vidros difusores no nível superior das janelas, difusores verticais internos e cores reflexivas nos forros e paredes. Haja vista a redução da iluminância das salas de aula do pavimento inferior, o projeto previu, para esses ambientes, vãos de iluminação adicionais na fachada sul, bem como dutos de iluminação experimentais (CANDIA et al., 1998) que captam a luz solar direta e refletem-na até o forro das salas inferiores (FIG. 5.17).



FIGURA 5. 17 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Medrano*, Mendoza, Argentina, 1999.
 Vista da fachada sudeste, com destaque para os dutos de iluminação.
 FONTE: foto do autor.

Os resultados da simulação de temperaturas internas mostrados no ANEXO E.3, obtidos a partir da metodologia aplicada pelo LAHV-INCIHUSA (DE ROSA et al., 1999), indicaram que durante o período de ocupação da escola, em 89,9 % do tempo as temperaturas permaneceram dentro da zona de conforto. Quanto às iluminâncias, os valores ficaram acima do nível mínimo de 500 lux, definido pela legislação local sobre o assunto como adequado para os dias claros de junho a novembro. A economia de consumo de energia para aquecimento, através do uso de gás natural, chegou a 87,1% no período diurno, enquanto que para a energia elétrica de iluminação essa redução foi de 82,2%. Para os pesquisadores (DE ROSA et al., 1998, p. 03_4), esses resultados demonstram a validade da proposta, que fica “*entre lo optimo y lo posible*”, para escolas que apresentem eficiência energética, com viabilidade tecnológica e econômica, representando a perspectiva de um ambiente sustentável.

5.3 Experiências nacionais e locais

A arquitetura bioclimática no Brasil tem apresentado estudos que visam a atender particularmente necessidades climáticas dos climas equatorial e tropical, predominantes em grande parte do território nacional, sendo aplicada em edificações educacionais como as desenvolvidas por J. F. Lima para a cidade de Salvador – BA (escolas da Fábrica de Equipamentos Comunitários – FAEC) na década de 80, nas quais a racionalização construtiva, com a utilização de sistema modular, objetivava a redução de custos e de prazos para o atendimento à demanda de ensino, bem como oferecer “vantagens de um melhor controle do conforto ambiental, através de sistemas construtivos

mais elaborados, com recursos adicionais de ventilação e iluminação zenital” (FREIRE, 1996, p. 100).

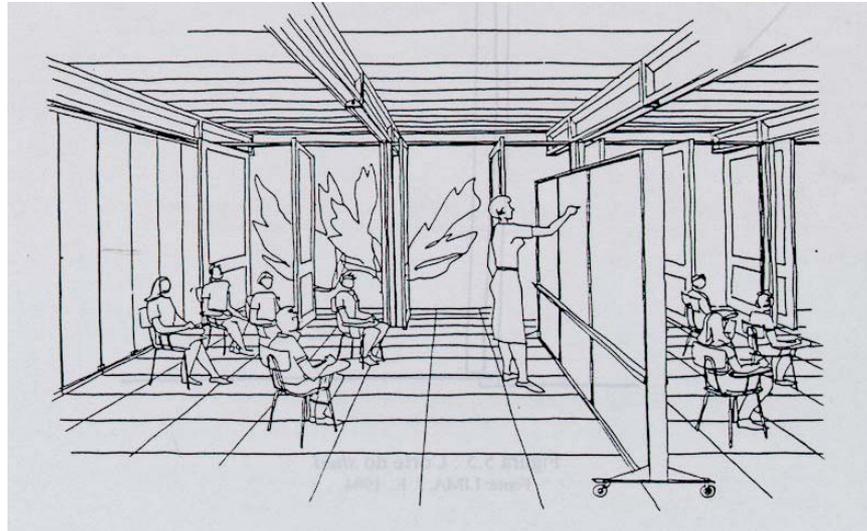


FIGURA 5.18 – J. F. Lima, Escola FAEC, Salvador – BA, 1984.
 Perspectiva interna e iluminação lateral em sala de aula.
 FONTE: LIMA²³ apud FREIRE, 1996, p. 103.

Amplios vãos de iluminação lateral e ventilação natural, através da abertura total das paredes externas (FIG. 5.18), atendem às demandas climáticas locais - altas temperaturas e umidade do ar, com baixa amplitude térmica ao longo do ano. Sobre isso, cabe ressaltar que apenas a implementação de uma eficiente ventilação e da proteção à radiação solar conseguem responder satisfatoriamente aos requisitos de conforto dos usuários durante o regime de ocupação.

Proposta similar foi desenvolvida nos Centros de Atendimento Integral à Criança - CAICs - implantados no início da década de 90 em todo o território nacional, a partir de projeto padrão, ou seja, a ser utilizado tanto para as situações de clima equatorial como subtropical.

A escola construída em Passo Fundo – RS (FIG. 5.19.a), contando com a utilização de elementos de composição diversificados - protetores solares, *sheds* e sistemas de esquadrias de desenho e tecnologia “avançados” (FIG. 5.19.b), mostrou-se deficiente no atendimento às questões locais de conforto térmico e iluminação natural, haja vista a utilização de alvenaria de blocos de concreto aparentes de baixa resistência térmica e reduzidos vãos de iluminação.

²³ LIMA, João Filgueiras. *Escola transitória*. Brasília: MEC/CEDATE, 1984.



FIGURA 5.19 – J. F. Lima, *Escola Municipal Cohab Secchi (CAIC)*, Passo Fundo - RS, 1984.

- a. vista geral do acesso;
- b. detalhe de esquadrias, proteção solar (toldo) e *shed*;
- c. Vista interna da janela.

FONTE: fotos do autor.

A iluminância das salas de aula, conforme medições *in-situ* apresentadas no ANEXO E.4, aponta baixos valores para as diversas condições da abóbada celeste, mesmo considerando que as salas analisadas situam-se no último pavimento e adotam a iluminação zenital nas zonas mais afastadas das janelas. Tal fato deve-se ao dimensionamento dos vão de iluminação efetivos e à utilização de

materiais de vedações e de estrutura – pré-moldada em concreto - sem revestimentos ou pintura, reduzindo a refletância das superfícies, o que interfere na qualidade e quantidade da iluminação, cujos critérios são abordados na seqüência do trabalho. A abertura total da janela que permite a ampliação da superfície de iluminação (FIG. 5.19.c), que, por um lado, proporciona uma ótima ventilação de conforto, por outro lado, torna-se inviável quando empregada nas condições de temperaturas baixas – características do clima local.

A orientação norte-sul adotada apresenta problemas adicionais com a exposição à radiação das fachadas leste e oeste, causando um superaquecimento nos períodos mais quentes e ofuscamentos, já que os elementos de proteção internos não possibilitam um controle gradual desses aspectos, adequando-se às diferentes condições locais ao longo do ano.

Isso demonstra os perigos da padronização de soluções de projeto, como denuncia J. H. de Mello Filho “[...] soluções padronizadas que [...] foram adotadas no País sem considerar as diferentes condições de cultura, clima e necessidades locais e regionais” (ENCONTRO, 1994, p. 90).

A Divisão de Edificações do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - desenvolveu uma metodologia para a avaliação dos aspectos climáticos e das exigências humanas para conforto em edificações escolares (AKUTSU et al, 1987), sem, entretanto, estabelecer critérios construtivos e tipológicos para a sua aplicação.

Exemplos de preocupação com a qualidade do ambiente construído, em especial no que tange ao desempenho térmico do prédio escolar, foram dados por arquitetos cariocas (ENCONTRO, 1994, p. 122-131), em estudos nos quais as condições ambientais foram consideradas como variáveis de projeto. A equipe desenvolveu uma base sistemática para escolas de ensino fundamental localizadas em áreas de transição entre as zonas urbana e rural, objetivando a expansão da rede de estabelecimentos de ensino. Quanto às questões referentes à habitabilidade, consideraram os requisitos térmicos, lumínicos e acústicos, avaliando aspectos como orientação da edificação e compartimentos, proteção solar, dimensionamento de vãos para ventilação e iluminação natural, bem como o desempenho dos materiais - inércia térmica, refletância, isolamento acústico, etc.

Como configuração espacial, foram adotados quatro blocos modulares de um pavimento - dois blocos de sala de aula, um de serviço e um administrativo, todos conectados por pátio coberto (FIG.

5.20) -, visando a aproveitar ao máximo os ventos dominantes, em resposta às exigências de ventilação permanente do clima quente e úmido do local com o uso de elementos fixos vazados em substituição às esquadrias. A proteção à radiação solar direta nos compartimentos é obtida por beirais na cobertura, juntamente com *brise-soleil*. Segundo a proposta (ENCONTRO, 1994, p. 131), a utilização de paredes de blocos de concreto de 25 cm de espessura no fechamento exterior retarda consideravelmente a transmissão de calor para o interior através da inércia térmica, gerando uma redução de temperatura interna nos dias mais quentes do ano de aproximadamente 2°C.

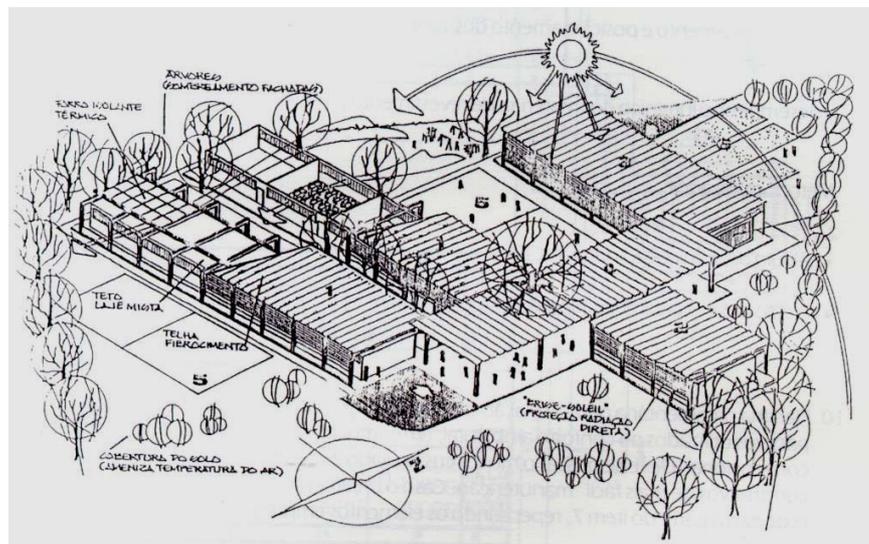


FIGURA 5.20 – A Q. Rego; M. B. Ribeiro; M. Senna, Escola bioclimática para Itaguaí – RJ, 1992.
Perspectiva aérea.

FONTE: ENCONTRO, 1994, p. 127.

Exemplificando os projetos para prédios escolares em Passo Fundo, pode-se citar a *Escola Municipal Guaracy B. Marinho* (FIG.5.21), construída em bairro popular da periferia da cidade, na qual as salas de aulas, de acordo com o projeto original, deveriam estar dispostas de forma simétrica, orientadas no eixo longitudinal noroeste-sudeste, com um pátio central para recreação infantil. Entretanto, uma alteração no terreno de implantação determinou a mudança da implantação do projeto, que passou a ter a orientação do eixo longitudinal para nordeste-sudoeste. Isso implicou um comportamento térmico e de iluminação diferenciado do previsto no projeto original. A escola, embora o projeto não adote os princípios solares passivos de forma intensiva, permite uma abordagem bioclimática através da avaliação pós-ocupação, utilizando-se, para tanto, simulações do desempenho termo-lumínico e medições *in-situ*, apresentadas nos ANEXOS E.5 e H.

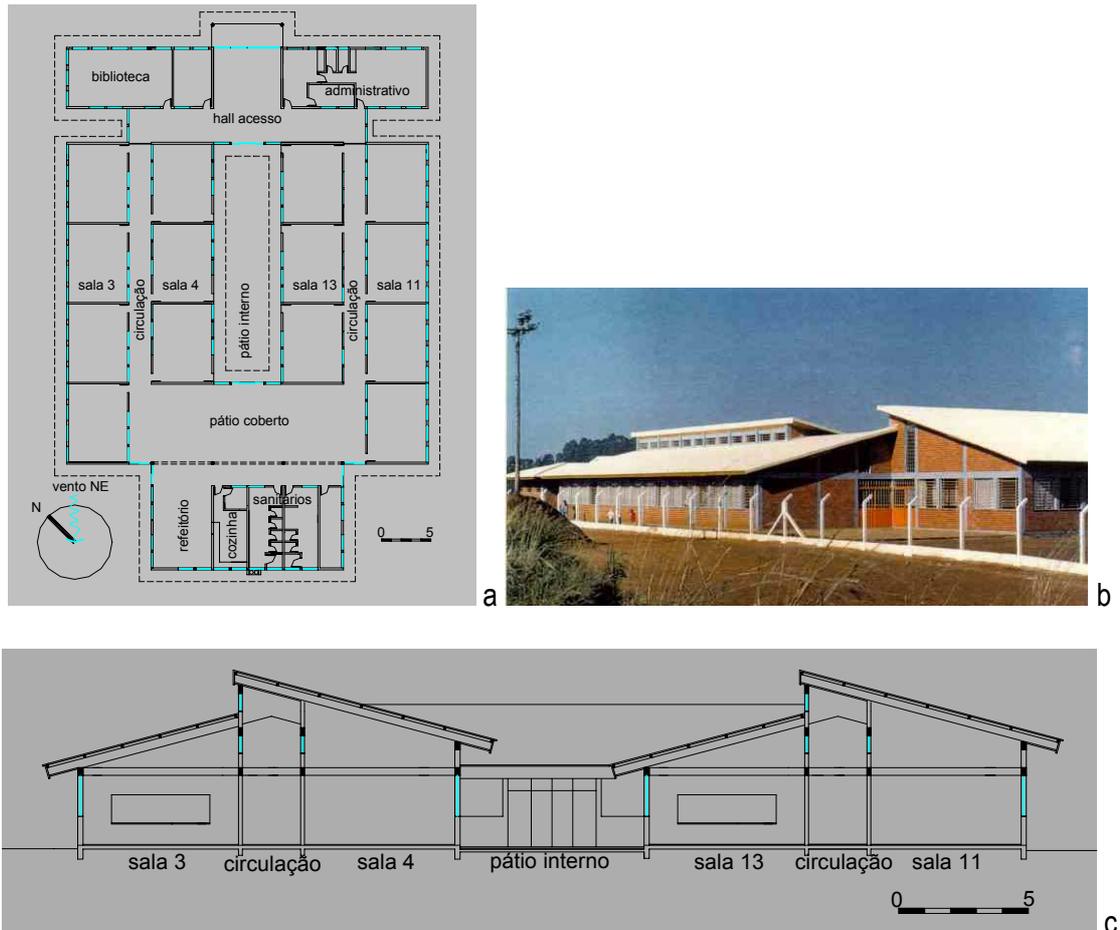


FIGURA 5.21 – SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo - RS, 1993.

- a. planta baixa;
- b. vista externa da fachada noroeste;
- c. corte transversal.

FONTE: desenhos e foto do autor.

Pelo partido arquitetônico adotado, as salas de aula estão expostas às orientações noroeste e sudeste, determinando uma distribuição de luz natural diferenciada. Tal desempenho lumínico serviu de objeto de estudo na abordagem do aproveitamento da luz diurna, analisado na seqüência deste trabalho.

Nas circulações (FIG. 5.22), a luz natural dispensa completamente o uso diurno de iluminação artificial nas condições de abóbada celeste parcialmente coberta - predominante no clima local. Além disso, as venezianas fixas colocadas nas paredes entre a circulação e as salas de aula permitiriam, segundo o projeto original, a ventilação higiênica das salas de aula, o que foi, porém, inviabilizado em função da mudança de orientação em relação aos ventos de direção nordeste, dominantes ao longo do ano.



FIGURA 5.22 – SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo - RS, 1993.
Vista interna das circulações.
FONTE: foto do autor.

O programa computacional *CLA* (SERRA FLORENSA, 1989), o qual interrelaciona os parâmetros climáticos, a permeabilidade energética da envolvente do edifício e de seu interior com a capacidade de acumulação de energia e de sua transmissão aos ambientes, possibilitou a elaboração de um diagnóstico do desempenho térmico da edificação (GRAF. E.6 do ANEXO E.5): em uma semana típica de verão, as temperaturas ficam acima da zona de conforto, devido aos altos ganhos térmicos oriundos das janelas – as superfícies transparentes equivalem cerca de 48% da parede externa das salas de aula - orientadas para noroeste, fachada essa que recebe grande quantidade de irradiância, sem, no entanto, possibilitar a redução desses ganhos através, por exemplo, da ventilação de conforto, caso orientadas para a direção dominante dos ventos, fato abordado acima; já na semana típica de inverno, as condições são mais favoráveis, com temperaturas dentro dos limites da zona de conforto ou bastante próximas à mesma, garantidas pelo ganho direto citado.

O fato de ter sido necessária a adequação financeira do projeto em análise às verbas governamentais acarretou a substituição do sistema construtivo das alvenarias, previsto originalmente como parede dupla de tijolos 21 furos, externamente, e tijolos maciços, na face interna, com câmara de ar intermediária, para alvenaria de tijolos 6 furos simples, assentados na maior dimensão. Isso, obviamente, alterou as características de transmitância térmica da edificação.

Embora breve, essa amostragem de escolas brasileiras indica que as experiências nacionais na área de projetos bioclimáticos, com aplicação dos princípios solares passivos, são restritas sob o ponto de vista quantitativo e de aprofundamento prático, ou melhor, de execução propriamente dita.

Contrariamente a essa constatação, o zoneamento bioclimático brasileiro, proposto pela ABNT (1998c, p. 3), aponta a adoção de estratégias passivas, quanto às estratégias de conforto para aquecimento, para 13,7% do território brasileiro, incluindo as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. Para as estratégias de resfriamento, indica, ainda, a aplicabilidade em 42,3% do território, excluindo apenas a zona bioclimática 8, que engloba a Amazônia e o litoral nordestino. Estes dados dão suporte à afirmação de L. Mascaró e J. L. Mascaró (1990, p. 250) de que o Brasil apresenta condições favoráveis ao aproveitamento dos recursos energéticos renováveis, visto que “as diferenças térmicas do ar nas cidades brasileiras - especialmente de Brasília ao sul, permitiriam o funcionamento confortável da maioria dos edifícios com um mínimo de consumo de energia [...]”, quando adequadamente concebidos, dispensando, inclusive, o “[...] uso de iluminação artificial durante a maior parte das horas do dia” (idem).

6 ESTRATÉGIAS DE PROJETO RECOMENDADAS PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO DE ALTITUDE

A caracterização do clima de Passo Fundo como composto resulta em dificuldades na solução dos problemas de conforto ambiental pelo fato de que as quatro estações são bem definidas, com períodos quentes e frios marcados – para resfriamento com base em 23°C são 112 graus-dia, e para aquecimento com base em 18°C são 857 graus-dia, tendo como consequência a adoção de, ao menos, dois tipos de estratégias de projeto. Da mesma forma são colocadas situações diferenciadas durante curtos períodos de tempo, devido à citada fronteira climática, com a possibilidade de ocorrência de alterações nas configurações momentâneas de tempo: ora incidem massas frias, ora massas quentes.

Baseando-se no diagnóstico da carta bioclimática para Passo Fundo, têm-se as diretrizes construtivas respectivas a cada uma das zonas de atuação, observando o zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 1998c, p.5). A partir disso, para a zona bioclimática 2, as estratégias de condicionamento térmico passivo referem-se à ventilação cruzada no verão, e, no inverno, ao aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas - inércia térmica -, ressaltando que o condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.

A partir destas recomendações gerais, podem ser detalhadas as estratégias para atingir os requisitos de conforto térmico e ventilação e conforto visual.

6.1 Conforto termo-higrométrico

As necessidades dos usuários em relação às condições climáticas locais segundo a concepção bioclimática sugerem várias estratégias de projeto, as quais permitem ampliar a utilização de elementos para a captação, armazenamento e distribuição da energia solar no edifício e, ainda, proporcionam o fluxo de ar através dos ambientes.

O DFE (GREAT BRITAIN, 1994, p. 9, tradução do autor), com relação à implementação desses princípios, afirma que

somente é possível ser obtida uma boa escola solar passiva através da aplicação de uma filosofia de projeto que respeite o clima e o ambiente externo circundante e permita ao projetista selecionar os elementos ambientais que melhor se adequem à natureza, ao uso e ocupação do edifício, filtrando aqueles menos convenientes.

Remetendo aos conceitos anteriormente mencionados, o conforto térmico ocorre quando um indivíduo encontra-se em um estado físico e mental de bem-estar, representado pela ausência de sensações de calor ou de frio. Os fatores que favorecem essa condição térmica dos ambientes internos dependem de questões pertinentes ao próprio usuário - como vestimenta e atividade física - e às variáveis climáticas que caracterizam o ambiente, tais como temperatura, velocidade e umidade do ar. É justamente quanto a esse último grupo de condicionantes que o projeto tem o papel de interferir de forma a promover a compatibilização das características ambientais naturais externas com aquelas desejáveis internamente, seja para o aquecimento ou para o resfriamento do ambiente.

Os aspectos de uso e controle de ganhos solares e de ventilação natural compreendem a seqüência deste trabalho, de maneira a analisar de que forma os requisitos gerais de habitabilidade para os edifícios escolares, abordados previamente, podem ser aplicados às condições climáticas de Passo Fundo, enquadrando-se, assim, às zonas de atuação recomendadas pela ABNT (1998c) específicas para zona bioclimática 2: para aquecimento, 41,1% e 49,3%, e resfriamento, 17,6% e 8,6%, respectivamente para o ano todo e apenas para o período letivo escolar.

6.1.1 Massa térmica para aquecimento

De acordo com a carta bioclimática aplicada às características climáticas locais, a massa térmica para aquecimento é apontada como suficiente para garantir os requisitos de conforto térmico dos usuários em 22,4% dos dias do ano, aumentando para 26,9% durante o período letivo (ANEXO C.2).

A massa térmica da envoltória e do interior da edificação contribui para o armazenamento da radiação solar diurna e para a transmissão do calor por condução ao interior durante os períodos mais frios, geralmente à noite. Essa constatação determina a adoção de fechamentos opacos de alta inércia térmica, bem como a prevenção da perda de calor pelas superfícies transparentes, através da diminuição da sua superfície e aumento da exposição à orientação favorável, protegendo as superfícies no período, conforme é demonstrado na FIG. 6.1:

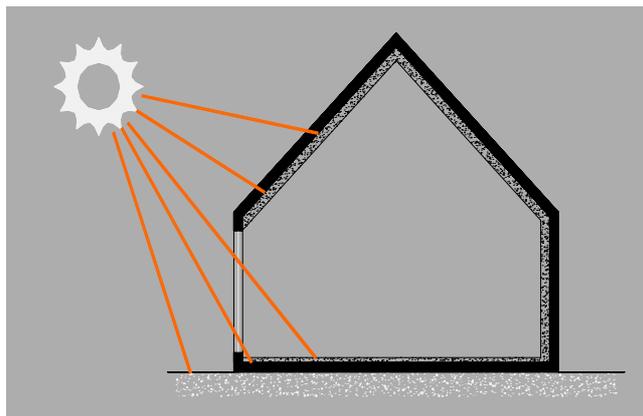


FIGURA 6.1 – Massa térmica para aquecimento.
 FONTE: adaptado de LYLE, 1994, p. 107.

A avaliação das orientações anteriormente mencionada aponta como maior radiação solar no período frio a direção ao azimute de 34° E, também sendo apresentado um diagrama (GRAF.4.11) no qual a orientação N-NE é tida como muito boa quanto aos aspectos térmicos. Considera-se, ainda, a orientação N-ENE como bastante favorável para a captação de energia solar. Em oposição, sugere-se que as orientações NO-OSO sejam evitadas por acarretarem superaquecimento nos meses de verão.

A massa térmica ideal para a prevenção das variações de temperaturas, segundo Lyle (1994, p. 107), é aquela que absorve uma grande quantidade de calor rapidamente e a libera lentamente. O

atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual, de acordo com Frota e Schiffer (1995, p. 48), é decorrente da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica da envoltória, ou seja, depende de cada tipo de material de construção.

Neste sentido, a ABNT (1998c, p. 4) apresenta valores das propriedades térmicas das vedações externas para a zona bioclimática 2, dados esses que aparecem na TAB. 6.1:

Vedações externas	Transmitância térmica U ($W/m^2.K$)	Atraso térmico φ (horas)	Fator de calor solar FCS (%)
Parede: leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	FCS $\leq 5,0$
Cobertura: leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	FCS $\leq 6,5$

TABELA 6.1 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedações externas para a zona bioclimática 2.

FONTE: ABNT, 1998c, p. 4.

Deve-se observar, no entanto, que essa mesma recomendação é dada, de forma indiferenciada, para todas as zonas bioclimáticas. Tais sugestões, inclusive, são opostas às recomendações argentinas (ARGENTINA, 1996, p. 54-55), que para a zona IIIb, por definição com condições climáticas similares às de Passo Fundo, indicam os valores máximos de transmitância térmica para paredes e coberturas, de acordo com o GRAF. 6.1, conforme o peso por metro quadrado de superfície. Para as paredes de orientação norte, a citada norma admite um aumento de $0,35W/m^2C$ ($0,3 \text{ kcal}/m^2h^{\circ}C$).

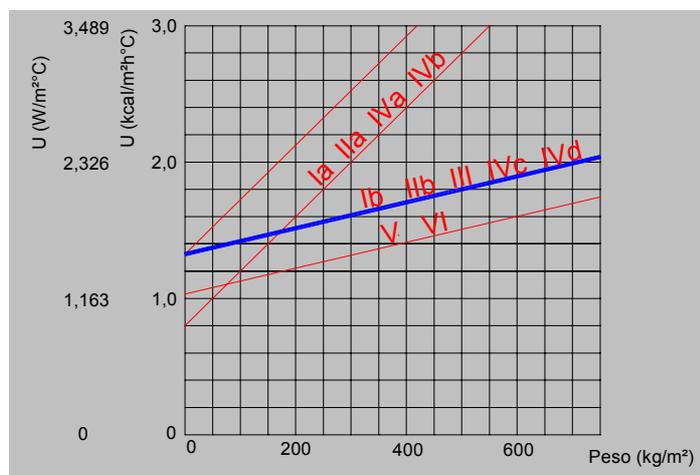


GRÁFICO 6.1 – Valores de transmitância térmica (U) máxima para paredes, segundo as zonas bioambientais argentinas.

FONTE: ARGENTINA, 1996, p. 54.

Givoni (1969) lembra que, para climas frios e úmidos, além da capacidade de manutenção de temperatura interna confortável, os requisitos térmicos para as condições de inverno devem incluir a prevenção à penetração de chuvas e à formação de condensação. As paredes sob ação de chuvas são resfriadas por evaporação, e assim, com a temperatura externa menor que a interna, o fluxo de calor do interior para o exterior é ampliado, a menos que a resistência térmica seja suficiente para evitá-la.

A eficiência da massa térmica também depende dos vãos transparentes, que devem apresentar uma perfeita vedação das esquadrias e permitir o isolamento noturno a fim de prevenir possíveis perdas de calor, mantendo, assim, as propriedades térmicas requeridas pelo rigor climático local, aspectos a serem abordados na continuidade.



FIGURA 6.2 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Avellaneda*, Mendoza, Argentina, 1999.
 Detalhe construtivo de paredes externas para a aplicação regional mendocina.
 FONTE: foto do autor.

Como exemplo de aplicação dessa estratégia de aquecimento, pode-se citar a *Escola de Avellaneda*, na Província de Mendoza, Argentina, cujos componentes construtivos cumprem a função de condicionamento passivo: paredes internas em alvenaria (tijolos de 28x18x8 cm), isolamento térmico intermediário de poliestireno expandido de 5cm de espessura, e parede externa de tijolos de 12,5cm de espessura, como pode ser observado na FIG. 6.2. O conjunto desses materiais resulta em transmitância térmica de 0,5W/m²°C (DE ROSA, 1998, p. 03_3). Para a cobertura da edificação, foram adotadas telhas em chapa metálica trapezoidal pré-pintada em branco, espuma de poliuretano como isolamento térmico, câmara de ar estanque e forro em placas de gesso comprimido, elementos que dão ao sistema construtivo cerca de 0,48W/m²°C de transmitância

térmica. Os vidros duplos de 4mm de espessura e com caixilhos metálicos asseguram uma boa estanqueidade das esquadrias, características que complementam o condicionamento da edificação.

Já na *Escola de Les Franqueses del Valles* (FIG. 6.3), depósitos de água nas paredes, sob os peitoris das janelas, promovem o aquecimento interno, seguindo os princípios descritos anteriormente, através do aproveitamento da inércia térmica da água. Conforme simulação efetuada em período de inverno (SANMARTIN; SERRA FLORENSA, [199-], p. 9), para uma temperatura externa diurna de 6°C, o sistema apresenta um ganho térmico de 3W/m³ [sic]²⁴, resultando em temperatura interna de 15°C - entre 3 a 4°C abaixo da temperatura de conforto. Esse ganho térmico representa em torno de 75% na redução dos custos de aquecimento convencional.

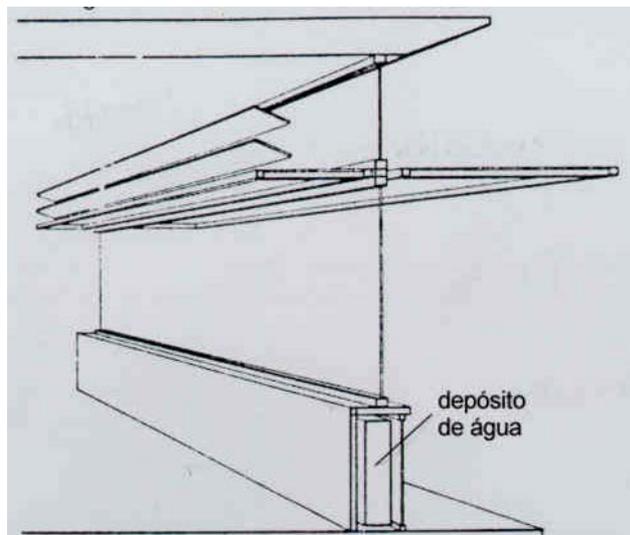


FIGURA 6.3 – J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola em Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Aquecimento passivo por inércia térmica de depósitos de água.
FONTE: adaptado de SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 6.

6.1.2 Aquecimento solar passivo

Como anteriormente comentado, as características tipológicas tanto das edificações educacionais quanto as condições climáticas locais contribuem para a implementação de estratégias de condicionamento térmico solar passivo com vistas a atender aos requisitos de conforto ambiental. Segundo o diagnóstico da carta bioclimática, essas estratégias de aquecimento correspondem a 15,4% do total dos dias do ano e a 18,4% dos dias letivos (ANEXO C.2).

²⁴ Os autores empregam a unidade em W/m³, embora a normatização catalã (ITeC, 1999) apresente a densidade de fluxo energético como unidade corrente em W/m², tal como no Brasil, seguindo o sistema internacional de medidas.

O sistema de aquecimento solar cumpre três funções principais: captar e converter a radiação solar em calor, armazenar o calor e distribuí-lo nos ambientes e momentos necessários. Os sistemas passivos são, assim, definidos como sistemas em que as três atividades ocorrem de forma espontânea, sem a utilização de fontes de energia externa, somente explorando a própria energia solar.

Szokolay (1983, p. 23) apresenta cinco técnicas básicas de aquecimento solar passivo: a) ganho direto; b) coletor ou armazenamento de parede maciça; c) coletor ou armazenamento de parede de água; d) cobertura de água e e) termosifão. A FIG. 6.4 apresenta essas técnicas, ilustrando desde os sistemas básicos até as variações possíveis, com uso de equipamentos simples, como ventiladores e bombas, sem, no entanto, caracterizar um sistema de aquecimento ativo, mas potencializando o aproveitamento da energia solar.

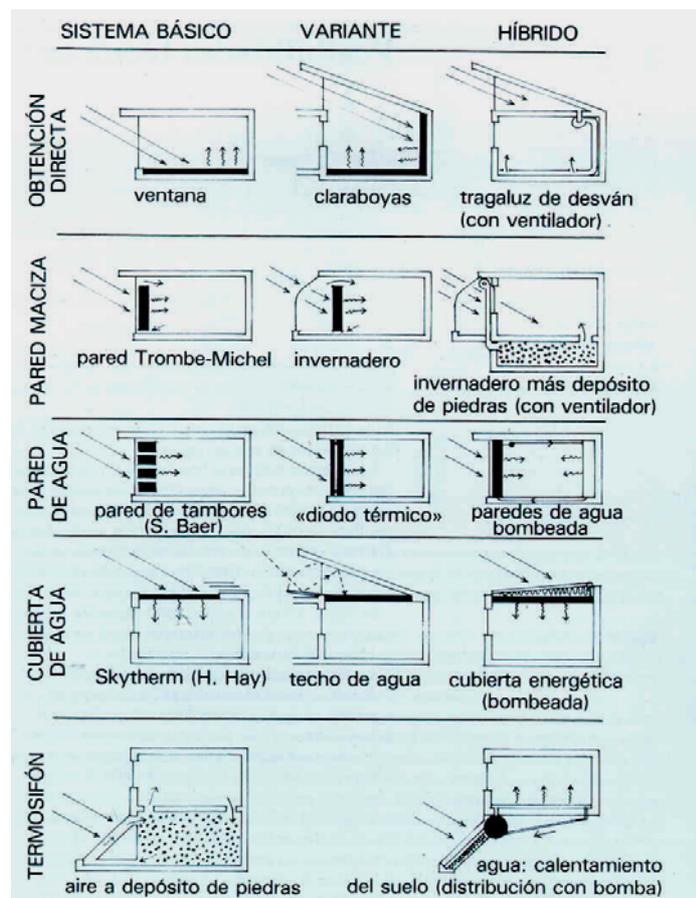


FIGURA 6.4 – Sistemas de aquecimento solar passivo.
 FONTE: SZOKOLAY, 1983, p. 24.

A caracterização de um sistema solar passivo é variável de acordo com a bibliografia consultada, diferindo nas denominações e em alguns aspectos construtivos. Qualquer bibliografia, no entanto, salienta de que um projeto solar passivo não pode ser encarado como tendo apenas uma solução correta: “as soluções corretas são variáveis segundo a imaginação do projetista” (HABITAT, 1990, p. 46, tradução do autor).

Utilizando a sistematização de Szokolay com relação ao objeto de estudo presente, o trabalho apresenta, na seqüência, os sistemas relacionados com os ganhos diretos e indiretos.

6.1.2.1 Ganho direto

O sistema de aquecimento por ganho direto é definido por Szokolay (1983, p. 25) como baseado em uma janela ou superfície transparente de grande tamanho, orientada ao Equador, através da qual a radiação solar penetra no ambiente habitável para, posteriormente, ser dissipada quando a temperatura interna encontrar-se abaixo da externa (FIG. 6.5).

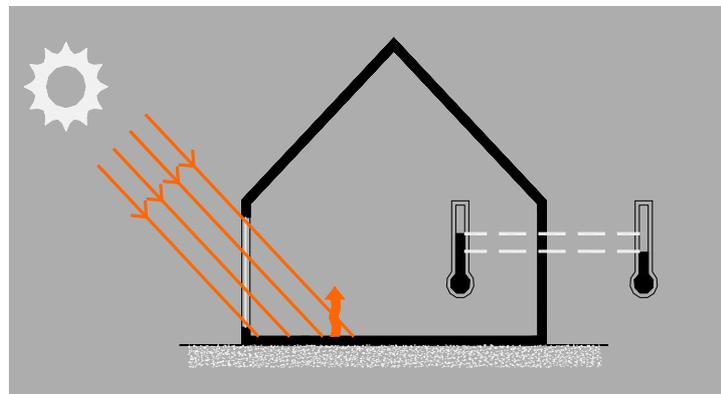


FIGURA 6.5 – Sistema de aquecimento solar passivo por ganho direto.
FONTE: adaptado de YANNAS, 1994, p. 12.

Esse é um sistema bastante empregado e, em termos de projeto, o mais flexível (HABITAT, 1990, p. 46), visto que as janelas promovem o contato visual entre os espaços interno e externo, constituindo-se, portanto, em elemento de composição do ambiente escolar, assim como de recurso principal para o aproveitamento da luz diurna.

A utilização desse sistema requer considerações prévias em relação à disponibilidade local de radiação solar, a qual depende das condições atmosféricas e de tempo. Assim, tanto a orientação solar como o tamanho e as características térmicas das superfícies coletoras representam as

principais variáveis para o projeto. Obviamente o uso, a ocupação e o volume dos ambientes complementam os aspectos a serem observados.

Para o caso específico de Passo Fundo, pelos dados já apresentados, a abóbada celeste apresenta-se parcialmente encoberta ao longo do ano, porém com grande potencial para o aproveitamento energético da radiação solar. Conforme cálculo efetuado através do programa computacional *calcdif.bas* (ESTEVES, 1990), a irradiância solar direta²⁵ durante o período letivo varia entre 9,3MJ/dia (junho) e 22,3MJ/dia (dezembro), com média anual de 15,7MJ/dia. Quanto à irradiância difusa, os dados passam a ser de 3,6MJ/dia e 10,1MJ/dia para os citados meses, e de 6,8MJ/dia como média anual.

Empiricamente, Szokolay (1983, p. 215) afirma que os sistemas de aquecimento solar são viáveis nas regiões em que a irradiância horizontal total/ano é superior a 3.600MJ/m², condicionada à exposição das superfícies coletoras sem obstruções no período entre 8 horas e 16 horas, ou, no mínimo, das 9 horas às 15 horas. Tais requisitos são plenamente contemplados em Passo Fundo, cuja irradiância global anual é de 8.070MJ/m², podendo-se seguir, portanto, as recomendações anteriores para o aproveitamento das orientações mais favoráveis.



FIGURA 6.6 – Variáveis para desempenho de superfícies translúcidas.
FONTE: elaborado pelo autor.

²⁵ A ABNT (1998a, p. 9) conceitua a irradiância solar direta como o “fluxo de radiação solar direta incidente sobre uma superfície por unidade de área”, enquanto que como irradiância solar difusa, considera o “fluxo (...) no conjunto de todas as direções, exceto a de incidência direta”, já a irradiância global é o somatório dos fluxos diretos e difusos..

A eficiência dos ganhos térmicos nas superfícies coletoras transparentes, denominados, por ora, como janelas, está diretamente relacionada a questões geométricas - orientação, inclinação e dimensões -, que irão determinar a exposição à radiação solar, bem como com as propriedades de transmitância e de refletância do material translúcido empregado, com os componentes da esquadria, e, ainda, com as obstruções externas e internas desta superfície, variáveis essas mostradas na FIG. 6.6.

Desenvolvendo o conceito elaborado por Szokolay (1983), já mencionado, pode-se afirmar que o princípio de funcionamento do sistema de aquecimento solar por ganho direto é o da conversão térmica da radiação externa - direta e difusa - que incide sobre uma superfície translúcida, a qual, embora refletindo e absorvendo uma parte dessa radiação, permite a sua transmissão, ao interior do ambiente, em uma parcela considerável, diretamente proporcional à transmitância e refletância do material, bem como do ângulo de incidência. As trocas de calor através das superfícies transparentes aparecem esquematizadas na FIG. 6.7:

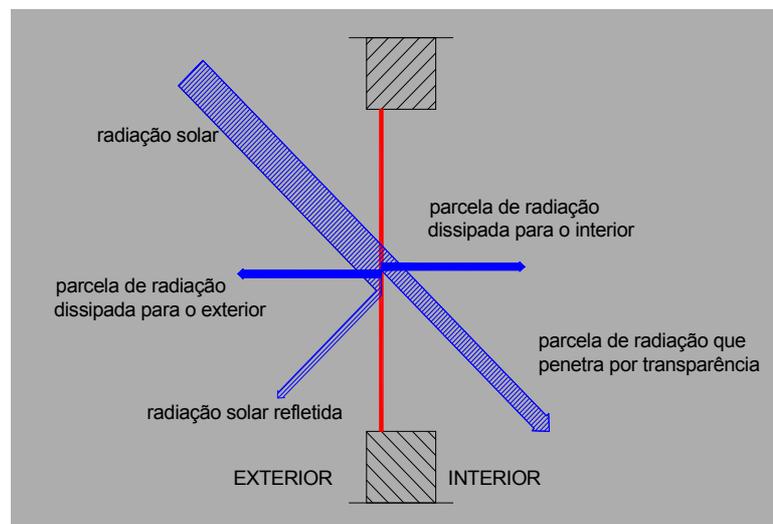


FIGURA 6.7 – Trocas térmicas através de superfícies translúcidas.
 FONTE: adaptado de FROTA; SCHIFFER, 1995, p. 43.

As múltiplas possibilidades comerciais de materiais disponíveis, como vidros simples ou duplos, de espessuras e composições variadas, com películas refletoras, etc, permitem a aplicação do sistema segundo as exigências locais de conforto, a partir da carga térmica de aquecimento necessária (ANEXO G.1), expressa pelo índice de graus-dia característico de cada situação climática. Para Passo Fundo, com base em 18°C, são 857 graus-dia.

Yannas (1994, p. 35), descrevendo o efeito da radiação na ampliação da temperatura interna (FIG. 6.8), demonstra que o fluxo de calor transmitido pelo coletor (1) atinge uma superfície do ambiente a qual, por condução, transmite calor às camadas internas do material (2), bem como para outras superfícies da envoltória (3) e para o ar, respectivamente por radiação e convecção. A condução é acompanhada pelo armazenamento térmico na envoltória, enquanto a transmissão radiante e convectiva ampliam a temperatura do ar e das superfícies de contato (4), cumprindo, assim, o objetivo de aquecimento do ambiente. O armazenamento térmico no edifício tem um papel importante como moderador da temperatura do ar interno, prevenindo as flutuações de ganho térmico e também assegurando uma melhor distribuição de calor durante o período de ocupação.

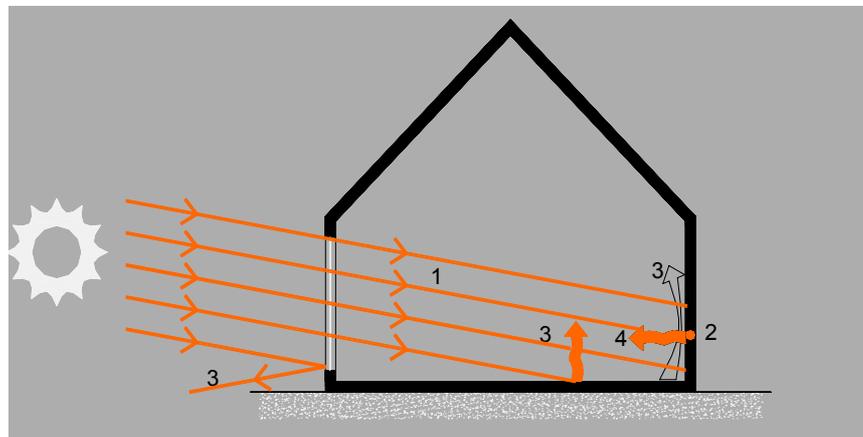


FIGURA 6.8 – Processo de aquecimento solar passivo.

1. transmissão da radiação solar, 2. absorção e armazenamento, 3. reflexão, 4. aquecimento por convecção e radiação.
- FONTE: adaptado de YANNAS, 1994, p. 14.

Caso as superfícies internas nas quais a radiação incide apresentem baixa massa térmica, ou seja, utilizem materiais isolantes, a obtenção de calor é praticamente imediata, porém o ganho sofrerá redução tão logo cesse a fonte térmica. Para minimizar essas variações, Szokolay (1983, p. 25) recomenda o uso de materiais com maior inércia térmica, para que a radiação transmitida ao interior possa ser armazenada e, posteriormente, retransmitida ao ambiente. Segundo o HABITAT (1990, p.47), a massa de armazenamento térmico deve garantir a manutenção da temperatura diurna interna entre 5 e 6°C – em relação à temperatura externa - para um conforto satisfatório, de forma a prevenir o superaquecimento inclusive nos períodos mais quentes de inverno. Para o mesmo autor, em climas temperados esse sistema é capaz de promover um alto nível de conforto térmico, mesmo sem a utilização de energia convencional para aquecimento auxiliar.

Um dos maiores problemas das grandes janelas é a perda de calor por condução. Isso autoriza dizer que a proporção entre a área da janela e a das superfícies opacas da parede externa é importante para que seja determinado o rendimento do sistema de aquecimento. À medida que a área de janela aumenta, ampliam-se os coeficientes de perda térmica, em oposição aumentando o ganho solar e a iluminância para aproveitamento da luz diurna. Por isso, os limites desses percentuais conflitantes devem ser cuidadosamente considerados.

O zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 1998c, p.5), como contribuição ao assunto, limita-se a recomendar proporções para ventilação, sugerindo que as aberturas possam “permitir sol durante o inverno”, sem mencionar proporções para condicionamento térmico ou iluminação natural. Apenas como elemento básico de dimensionamento, o LAHV-INCIHUSA (informação verbal²⁶) recomenda, para a sua condição local, o percentual da área da janela como sendo equivalente a 12% da área de piso do ambiente. Entretanto, para cada caso específico, a combinação das variáveis do conjunto da envoltória apresenta resultados diferenciados na carga térmica do ambiente considerado, o que é demonstrado pelo Cálculo da Fração de Ganho Solar, constante no ANEXO G.1, uma vez que é preciso considerar as perdas decorrentes da taxa de renovação do ar e, ainda, a possibilidade de adoção de isolamento noturno - postigos ou outro elemento - para otimizar os ganhos térmicos diurnos e reduzir as perdas noturnas.

Além das considerações relativas ao condicionamento térmico para aquecimento passivo, as janelas, em escolas, apresentam desafios particulares a serem solucionados pelos arquitetos:

- a) superaquecimento nos períodos quentes;
- b) insolação direta (sendo o termo direto usado em oposição à luz difusa) em grande superfície da zona de ocupação;
- c) desabilitação visual e desconforto devido aos problemas de ofuscamento;
- d) deterioração dos materiais e acabamentos pela exposição à radiação ultra-violeta do espectro solar.

²⁶ Informação fornecida ao autor pela Des. Industrial Andrea Pattini, em 02 mar. 2000, em Mendoza, Argentina.

Tais questões serão abordadas em seções específicas na continuidade do presente trabalho, da mesma forma que as considerações sobre a ventilação natural dos ambientes, aspectos esses que compõem a fenestração, ou seja, a concepção global das aberturas, visando à interação entre todos os fatores envolvidos e a eficiência dos sistemas de abertura e de proteção solar.

Neste trabalho, a aplicação de aquecimento passivo por ganho direto já foi exemplificada através da citação das escolas de *Wallasey* e *Medrano*: na primeira, os ganhos térmicos foram garantidos pela parede solar utilizada em toda a extensão da fachada sul, constituída de superfície dupla de vidro; em *Medrano*, pelas janelas de vidro duplo dos clerestórios nas salas do segundo pavimento. Também na escola espanhola de *Les Franqueses del Valles* os arquitetos utilizaram sistemas mistos de aquecimento solar passivo, incluindo o ganho direto através das janelas e clerestórios, além da massa térmica dos depósitos de água descritos anteriormente.

O máximo de conforto térmico e lumínico, com um consumo mínimo de energia convencional, foi atingido na *Escola de Lavalle*, Mendoza, Argentina, através de um partido arquitetônico com fachadas orientadas ao norte (FIG. 6.9.a), possibilitando a plena insolação nas janelas ou aberturas superiores mesmo nos ambientes localizados ao sul, por diferenças de cobertura – clerestórios (FIG.6.9.b e c). Essas superfícies transparentes, de vidro duplo, permitem o ganho térmico direto, aumentando a temperatura interna. O necessário controle da radiação solar direta na estação quente foi obtido por *brises-soleil* horizontais fixos, responsáveis, segundo os projetistas (BASSO et al., [s.d.]), pela insolação nas superfícies coletoras no período de 06/maio a 06/agosto, e sombreamento pleno de 06/novembro a 06/fevereiro (FIG. 6.9.d). Simultaneamente, nas salas de aula, foram atingidas iluminâncias médias superiores à 500 lux, valor esse acima dos mínimos recomendáveis para o desenvolvimento das tarefas visuais requeridas.

Por fim, cabe lembrar que as variações do sistema de aquecimento por ganho direto relacionam-se com as opções de tipologia arquitetônica, como o emprego, por exemplo, de clerestórios, de átrios ou de solários. Amplia-se, dessa maneira, o repertório formal disponível para o arquiteto, no sentido de permitir a ele alcançar os requisitos de conforto ambiental, alternativas as quais serão melhor analisadas na continuidade desta pesquisa.

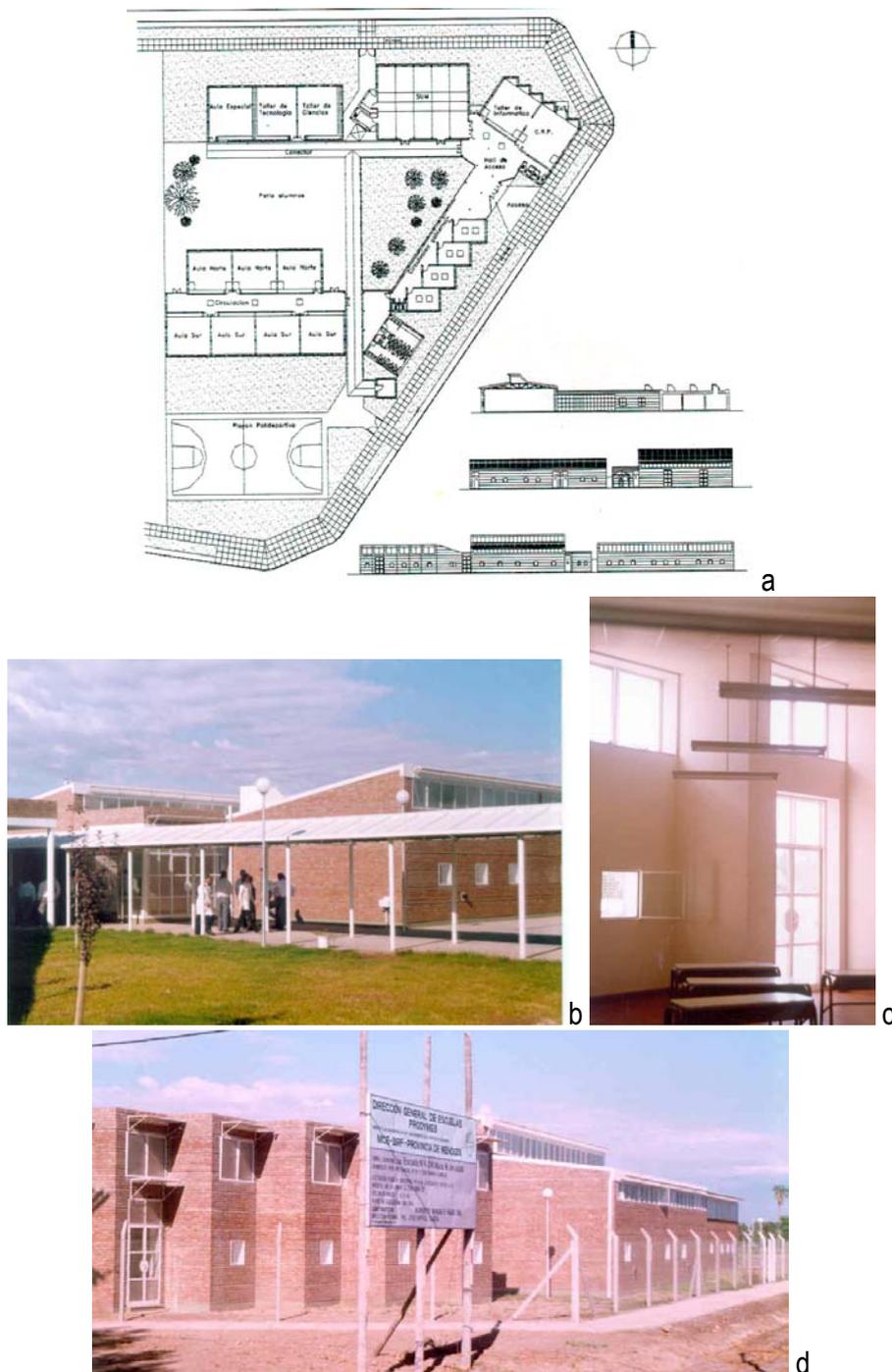


FIGURA 6.9 – LAHV-INCIHUSA, Escola de Lavalle, Mendoza, Argentina, 1999.

- a. planta baixa, cortes e fachadas.
- b. vista da fachada norte - bloco de salas de aula.
- c. vista interna das superfícies coletoras.
- d. vista fachada norte - bloco de laboratórios.

FONTE: BASSO et al., [s.d.]; fotos do autor.

6.1.2.2 Átrios

O átrio tem sido um elemento de composição de largo uso na arquitetura, servindo como elemento organizador de espaços e funções. Citado por Canani (2000, p. 29) como “[...] aspecto fundamental

da arquitetura contemporânea”, é, hoje, empregado tanto em novos edifícios como também na reciclagem de antigos.

O espaço do átrio pode se tornar uma parte integrada ao restante do edifício escolar, ou mesmo o elemento principal de integração, permitindo o desenvolvimento de atividades pedagógicas, de lazer e leitura, dentre outras, representando não apenas o espaço para atividades educativas, como também de sociabilização dos alunos. Além disso, constitui-se num ambiente protegido das intempéries, sendo, assim, especialmente válido para climas com alta pluviosidade e invernos frios, como é o caso do clima subtropical úmido de altitude.

Sendo o átrio caracterizado por uma cobertura translúcida, o DFE (GREAT BRITAIN, 1994, p. 21) salienta que quando corretamente projetado, ele promove, ainda: a) iluminação natural para os espaços adjacentes; b) ventilação para os espaços adjacentes nas estações quentes e frias (FIG.6.10); c) espaço útil de condições ambientais agradáveis aos usuários; d) uma zona de transição entre os espaços internos e externos; e) economia de gastos com energia para aquecimento pela captação de radiação solar, conforme os princípios de ganho térmico direto.

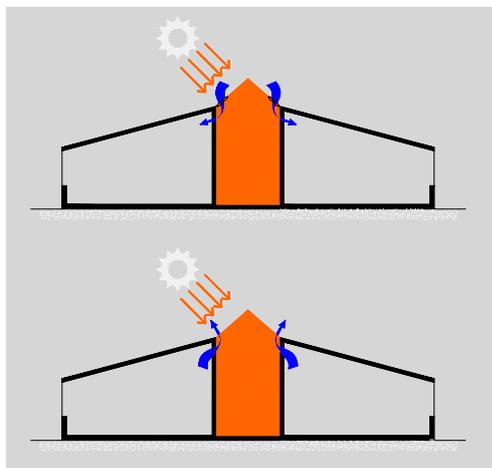


FIGURA 6.10 – Esquema genérico de ganho solar e ventilação em átrios e espaços adjacentes.
FONTE: adaptado de GREAT BRITAIN, 1994, p. 21.

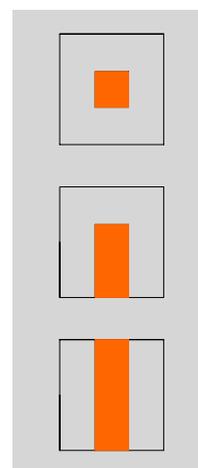


FIGURA 6.11 – Tipos de átrios comumente aplicados em escolas britânicas.
FONTE: adaptado de GREAT BRITAIN, 1994, p. 21.

Ainda segundo o DFE (idem, p. 21), existem dois tipos comuns de átrios encontrados em escolas: o átrio fechado, com a variação de abertura para um dos lados, e o átrio linear (FIG. 6.11).

Nas regiões de climas temperados, o átrio fechado constitui-se em um elemento de transição entre os espaços internos e externos. Deve-se salientar que a cobertura, dependendo de sua

constituição, pode resultar em um balanço térmico desfavorável: na estação fria, uma perda noturna muito maior que os ganhos durante o dia; na estação quente, o superaquecimento. Assim, valem para a cobertura dos átrios as mesmas considerações para as características da superfície coletora mencionadas anteriormente. Para climas quentes, esse recurso representa um aumento considerável na carga térmica, sendo provável acarretar custos adicionais na refrigeração.

Além das vantagens citadas anteriormente, a utilização de átrios pode reduzir o perímetro da edificação exposta ao meio exterior, o que acarreta a diminuição das perdas de calor para o meio externo. Além do impacto térmico, o átrio pode apresentar interferência na inter-relação entre a geometria - representada pelo índice de compacidade - e os custos da edificação, tratados anteriormente.

Simultaneamente aos aspectos térmicos, a ventilação desses espaços, deverá ter como finalidade a eliminação da formação de bolsões de monóxido de carbono – inflamáveis ao atingirem uma temperatura elevada. Igualmente, as condições acústicas dos átrios merecem atenção, com a utilização de superfícies e materiais absorvedores, de forma a minimizar os efeitos sonoros, conforme abordagem prévia.

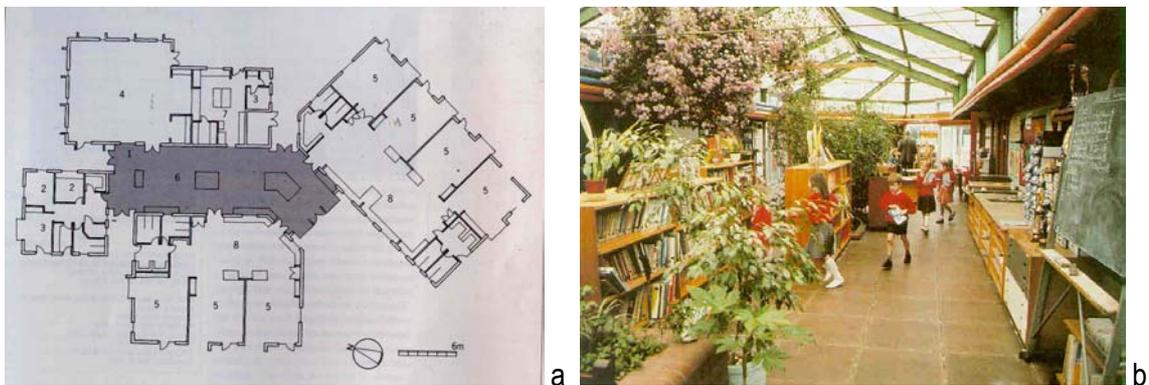


FIGURA 6.12 – J. Buxton; E. Williams, *Aspull Church School*, Wigan, GB, 1984.

a. planta baixa.

b. vista interna do átrio.

FONTE: GREAT BRITAIN, 1994, p. 39; 41.

O átrio aberto ao exterior por um dos lados da *Aspull Church School* (FIG. 6.12) funciona, efetivamente, como o coração da escola, interligando os ambientes sem o emprego da circulação convencional. No caso, a cobertura em policarbonato promove os ganhos térmicos diretos, que contribuem, também, para o aquecimento das salas contíguas, reduzindo, assim, os custos com o aquecimento artificial adicional. A ventilação do espaço ocorre não apenas no perímetro superior da

estrutura de cobertura acima das paredes dos compartimentos adjacentes, como também através da cumeeira.

Já nos átrios lineares, por apresentarem um perímetro maior exposto ao exterior, as perdas térmicas são maiores. Entretanto, ampliam-se as opções de ventilação, reduzindo as chances de um provável superaquecimento em climas com períodos quentes, não apenas no verão, mas também naqueles curtos períodos com presença de massas de ar quentes (veranicos), característicos do clima de Passo Fundo.

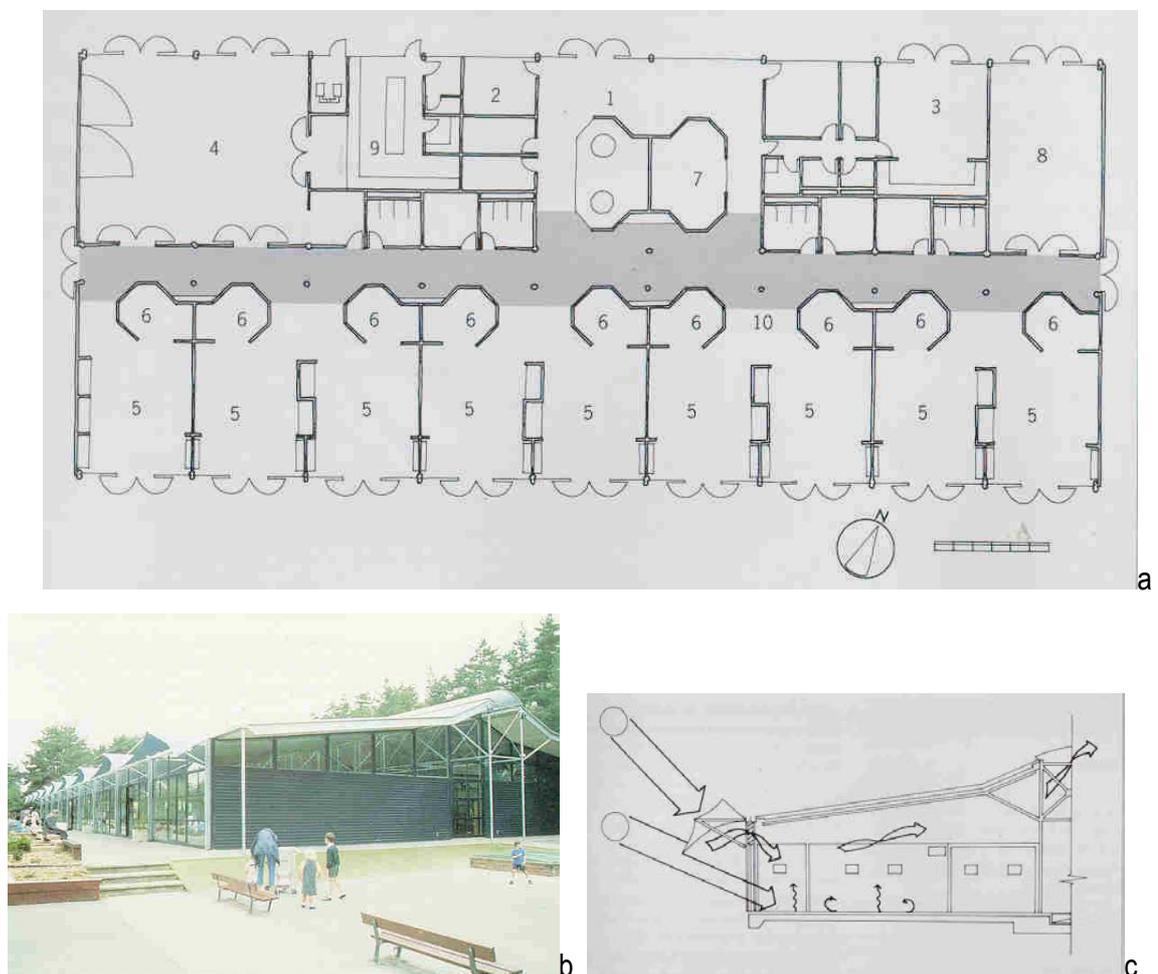


FIGURA 6.13 – M. Hopkins Arch., *Velmead Infant School*, Fleet, GB, 1986.

- a. planta baixa;
 - b. vista da fachada leste;
 - c. esquema de ganho térmico e ventilação.
- FONTE: GREAT BRITAIN, 1994, p. 51; 53.

A *Velmead Infant School* (FIG. 6.13.a e b) exemplifica a tipologia de átrio linear, com uma ala de salas ao norte e outra ao sul. O ganho direto aparece tanto em relação às salas de aula como

também através do átrio central, o qual permite a ventilação cruzada, conforme demonstra o esquema da FIG. 6.13.c. Dispositivos externos de proteção à radiação direta executados com material têxtil tensionado complementam as estratégias utilizadas para adequação às necessidades de conforto, embora sistemas adicionais de aquecimento artificial sejam requeridos devido ao rigor climático local.

6.1.2.3 Solários

Outras opções arquitetônicas para o aproveitamento da radiação solar para aquecimento são os solários, caracterizados genericamente como um espaço fechado com cobertura translúcida e, eventualmente, uma ou mais paredes também translúcidas, embora possam apresentar-se com configurações mais variadas, como mostra a FIG. 6.14. Para o HABITAT (1990, p. 49), o solário é definido como um espaço orientado ao Equador com uma superfície translúcida cuja relação com a superfície de piso resulta em uma proporção maior que um. Usualmente denominado estufa, o termo *conservatory*, na língua inglesa, representa de forma mais completa a definição do solário para o campo da Arquitetura.

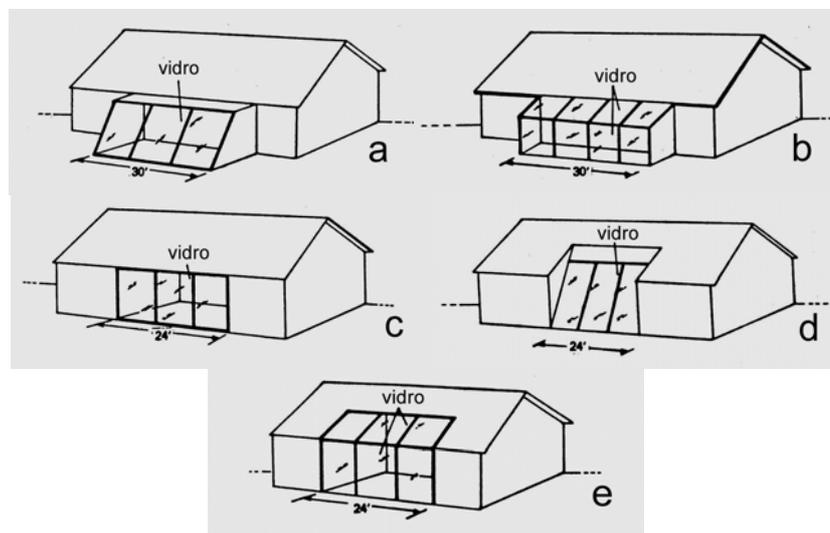


FIGURA 6.14 – Solários: variações geométricas.
a e b. anexados; c, d e e. semi-incorporados.
FONTE: adaptado de BALCOMB et al., [1978?], p. 31.

Conforme Yannas (1994, p. 106), os solários não são apenas mais uma opção estrutural, ou tipológica, mas, especialmente, um tipo particular de espaço, cuja envoltória transparente permite que o interior seja sensível às flutuações térmicas e da luz natural. Por extensão, as condições ambientais do solário podem produzir efeitos de temperatura, ventilação, ganho solar e iluminação

natural nos espaços adjacentes. O DFE (GREAT BRITAIN, 1994, p. 27) complementa as vantagens do emprego de solários, lembrando que criam uma zona de transição física e visual entre os ambientes externos e internos, como ilustra a FIG. 6.15.

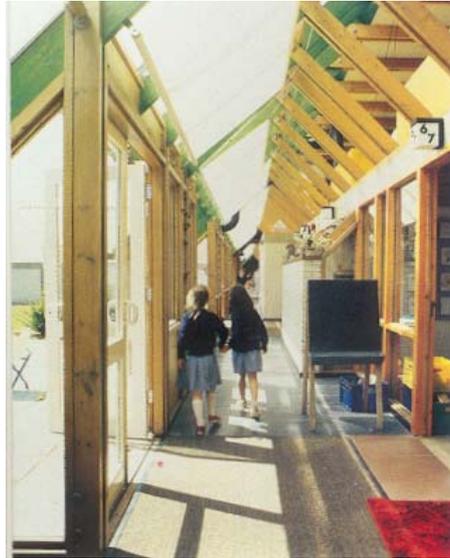


FIGURA 6.15 – Hampshire County Concil Arch. Dept., *Netley Abbey Infants' School*, Netley, GB, 1984.
Vista interna do solário, com proteção solar móvel.
FONTE: WESTON, 1991, p. 68.

Os solários, assim como os átrios, são capazes de ampliar a resistência térmica das salas contíguas, de forma a reduzir as perdas de calor, consistindo, ainda, em uma área de circulação com condicionamento natural, ou mesmo em áreas adicionais para atividades de ensino.

Especificamente para escolas, o DFE (idem, p. 27-28) classifica os solários em três tipos:

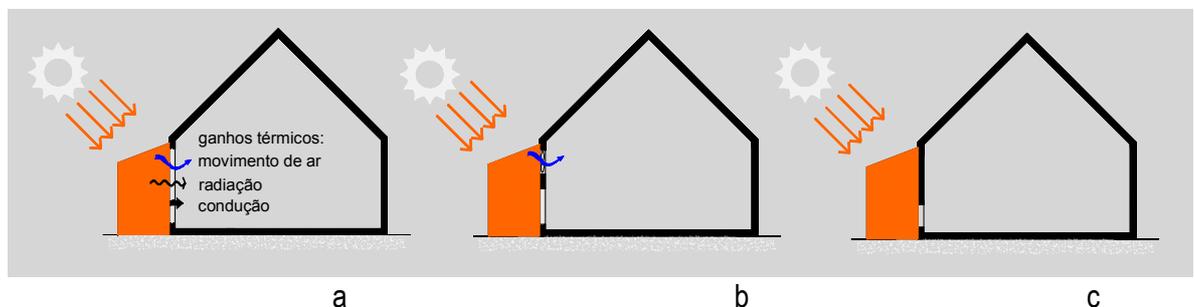


FIGURA 6.16 – Tipos de solários.
a. integrado direto; b. integrado indireto; c. anexo isolado.
FONTE: adaptado de GREAT BRITAIN, 1994, p. 27.

- a. integrado direto: o solário está separado das salas de aula através, por exemplo, de um elemento translúcido, ou mesmo constituindo um ambiente único, que permite o fluxo de ar. Os

ganhos térmicos são promovidos pelo movimento de ar decorrente dos princípios termodinâmicos – originado pelas diferenças de temperaturas dos ambientes –, pelo ganho solar direto, ou através de transferência de calor por condução e/ou convecção (FIG. 6.16.a);

- b. integrado indireto: a separação entre o solário e a sala anexa ocorre por um elemento de maior superfície que no tipo direto, com a redução da contribuição de ganho térmico direto. O elemento separador é menos suscetível à infiltração de ar, com a eventual necessidade de uso de um sistema de ventilação mecânica. Esse tipo de solário permite um isolamento maior em relação ao restante do edifício (FIG. 6.16.b);
- c. anexo isolado: o solário constitui-se em um anexo ao edifício, separado pela parede externa do mesmo, com a área translúcida de superfície bastante reduzida, com os ganhos térmicos reduzidos proporcionalmente (FIG. 6.16.c).

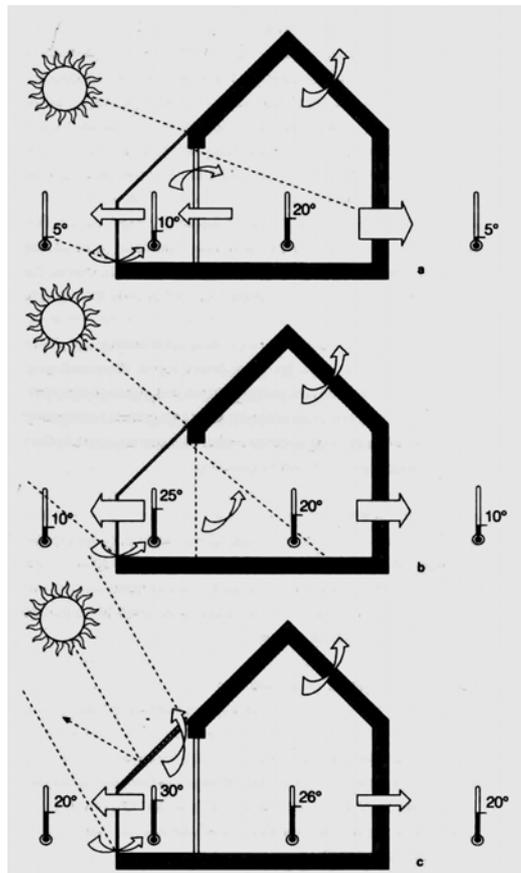


FIGURA 6.17 – Comportamento térmico de solários de acordo com as variações sazonais.

- a. período frio com céu encoberto;
- b. período de temperatura amenas e céu claro ou parcialmente coberto;
- c. períodos quentes.

FONTE: YANNAS, 1994, p. 107.

O desempenho térmico dos solários, da mesma forma que as soluções anteriores, está diretamente relacionado à radiação solar recebida e a absorvida, às trocas térmicas entre os espaços adjacentes, às perdas para o exterior e à capacidade de armazenamento térmico, aspectos esses que se relacionam com as características formais, volumétricas e dimensionais, assim como com as propriedades térmicas dos materiais empregados.

Para os climas com estações bem definidas, como o subtropical, a aplicação requer especial atenção, tendo em vista o comportamento térmico diferenciado no decorrer do ano. Conforme Yannas (1994, p. 107), nas condições de frio extremo e com céu encoberto os ganhos térmicos dos solários ocorrem através do contato com as dependências adjacentes dotadas de aquecimento artificial, recomendado para os períodos de inverno com temperaturas abaixo dos limites de conforto através do condicionamento passivo (FIG. 6.17.a). Para os períodos de temperaturas externas mais amenas, a contribuição para o aquecimento passivo por ganho térmico direto, no solário, e indireto, nos espaços adjacentes, torna-se suficiente para suprir os requisitos de conforto dos usuários, resultando em um sistema eficiente e adequado às características climáticas locais (FIG. 6.17.b). Já no verão, a habitabilidade desses espaços depende do controle da incidência da radiação solar de forma a evitar um superaquecimento (FIG. 6.17.c), bem como da abertura ao exterior para que ocorra a ventilação de conforto, além, obviamente, da ventilação higiênica recomendada para todos os períodos do ano.

A *Escola de Alto Verde*, na Província de Mendoza, Argentina, (DE ROSA et al., 1996) serve como exemplo na aplicação do solário como elemento não apenas de condicionamento térmico, mas também como estufa propriamente dita, destinada ao plantio de flores e hortaliças, atendendo, dessa maneira, às especificidades funcionais de uma escola técnica agrária, como é o caso. O partido arquitetônico compacto e linear em dois pavimentos (FIG. 6.18.a) distribui as salas de uso principal - salas de aula, laboratórios, etc - orientadas para a estufa/solário, de orientação norte (FIG. 6.18.b), promovendo o condicionamento térmico no inverno através dos ganhos indiretos pelo solário, ganhos esses transmitidos por convecção natural aos ambientes a ele integrados, bem como por janela diretamente aberta para o exterior nas salas superiores. Um sistema de abertura de esquadrias garante o condicionamento para o resfriamento, quando exigido, e para a proteção solar através de *brise-soleil* e esteiras externas móveis, conforme mostra a FIG. 6.18.c.

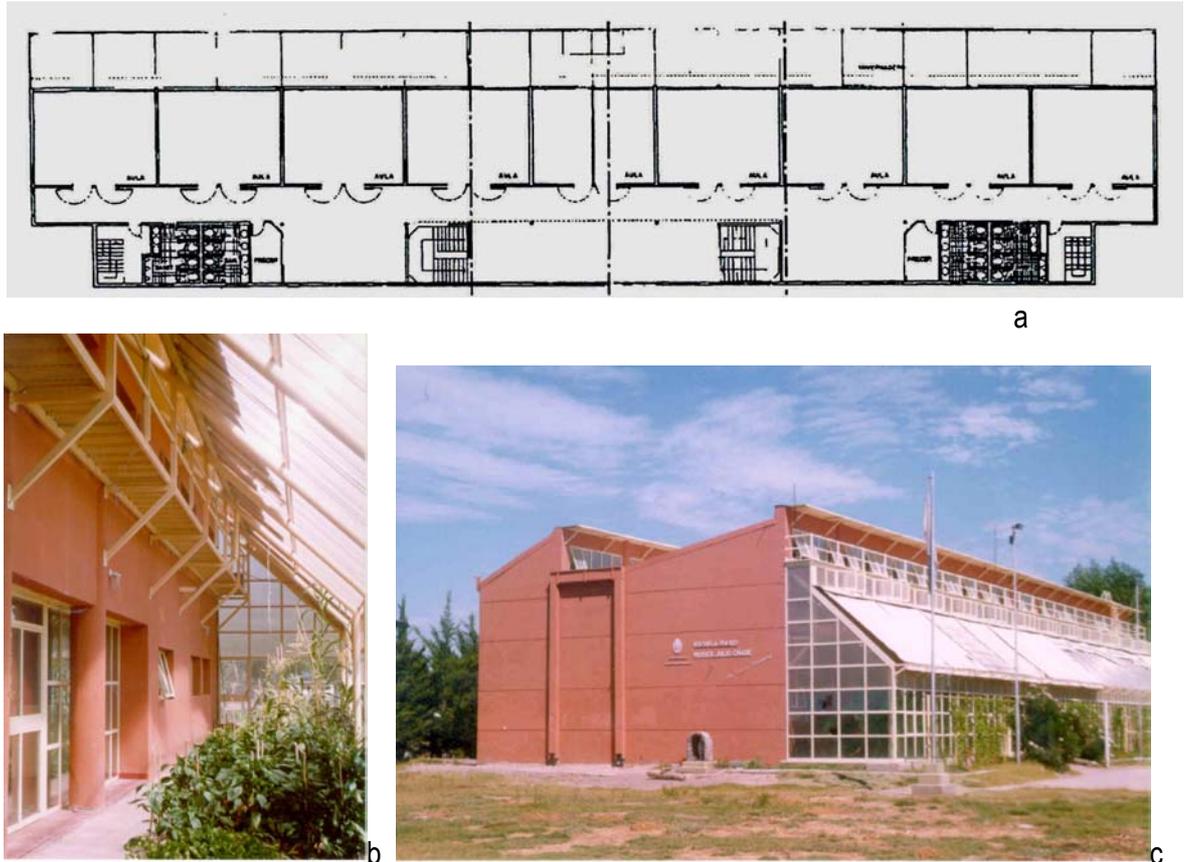


FIGURA 6.18 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Alto Verde*, Mendoza, Argentina, 1995.
 a. planta baixa do pavimento superior;
 b. vista interna da estufa;
 c. vista externa da fachada leste, com sistema de proteção solar.
 FONTE: DE ROSA et al., 1996, p. 13; fotos do autor.

6.1.2.4 Outros sistemas de aquecimento passivo

A bibliografia existente sobre a temática em questão apresenta, ainda, outras formas passivas de aquecimento solar, dentre as quais se destacam as paredes maciças e os painéis coletores de ar.

Os coletores solares que incorporam a massa térmica da parede externa, orientada ao Equador para promover o condicionamento térmico, seguem o arquétipo da parede *Trombe-Michel* (FIG. 6.19): a radiação solar é coletada por uma superfície translúcida e absorvida pela massa térmica (tema abordado previamente neste trabalho) da parede, a qual, por convecção, transmite o ganho térmico para o interior do ambiente. No entanto, ocorre um considerável atraso nessa transmissão pela alta resistência térmica da superfície absorvente. A fim de promover um aquecimento mais rápido, são utilizadas aberturas inferiores e superiores, permitindo que se desenvolva uma corrente

de ar pelo princípio de termossifão. Dessa forma, é fornecido ar aquecido ao interior pela abertura superior. As precauções para evitar o superaquecimento de verão são válidas, da mesma forma que para os sistemas anteriores.

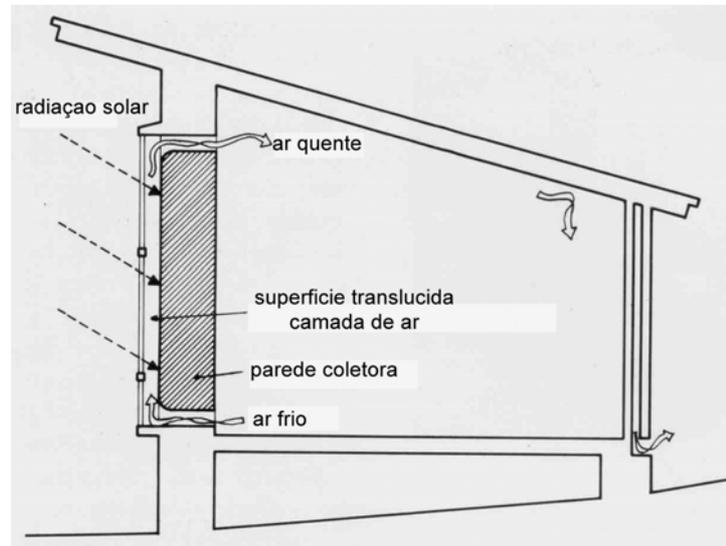


FIGURA 6.19 – Esquema da parede *Trombe-Michel*, 1967.
 FONTE: adaptado de HAWKES, 1996, p. 93.

É preciso admitir, porém, que as paredes *Trombe-Michel*, na concepção original, tal como apresenta a FIG. 6.19, têm uma aplicação reduzida para o uso em escolas, já que o ganho direto pelas janelas revela-se mais adequado, visto promover adicionalmente o aproveitamento da luz diurna e o contato visual com o ambiente externo. Sistemas alternativos, no entanto, mostram-se mais eficientes, como no caso da citada *Escola Wallasey*, na qual foi adotado um sistema tecnicamente similar à parede coletora maciça.

Essas alternativas foram utilizadas no *Centro Infantil de Mértola*, com a inclusão de parede coletora abaixo dos peitoris das janelas (FIG. 6.20.a), o que auxilia o condicionamento para inverno e verão, como sistema de pré-aquecimento do ar ou de extração do ar quente, conforme esquema de saída do ar apresentado na FIG. 6.20.b. Segundo Gonçalves et al. (1998a, p. 53), essa foi a solução mais correta para o tipo de ocupação do edifício, pois tendo a edificação um uso diurno, o objetivo era o de potencializar os ganhos térmicos o mais rápido possível, com a abertura para o controle do fluxo de ar, para o interior das salas de aula, em oposição à circulação de ar permitida no verão pela abertura ao exterior. Gonçalves et al. (idem), entretanto, colocam uma ressalva quanto à execução da obra. Para os autores, ao não corresponderem às especificações do projeto original, os

dispositivos executados não permitiram a mobilidade da abertura para ventilação, inviabilizando o adequado funcionamento do sistema.

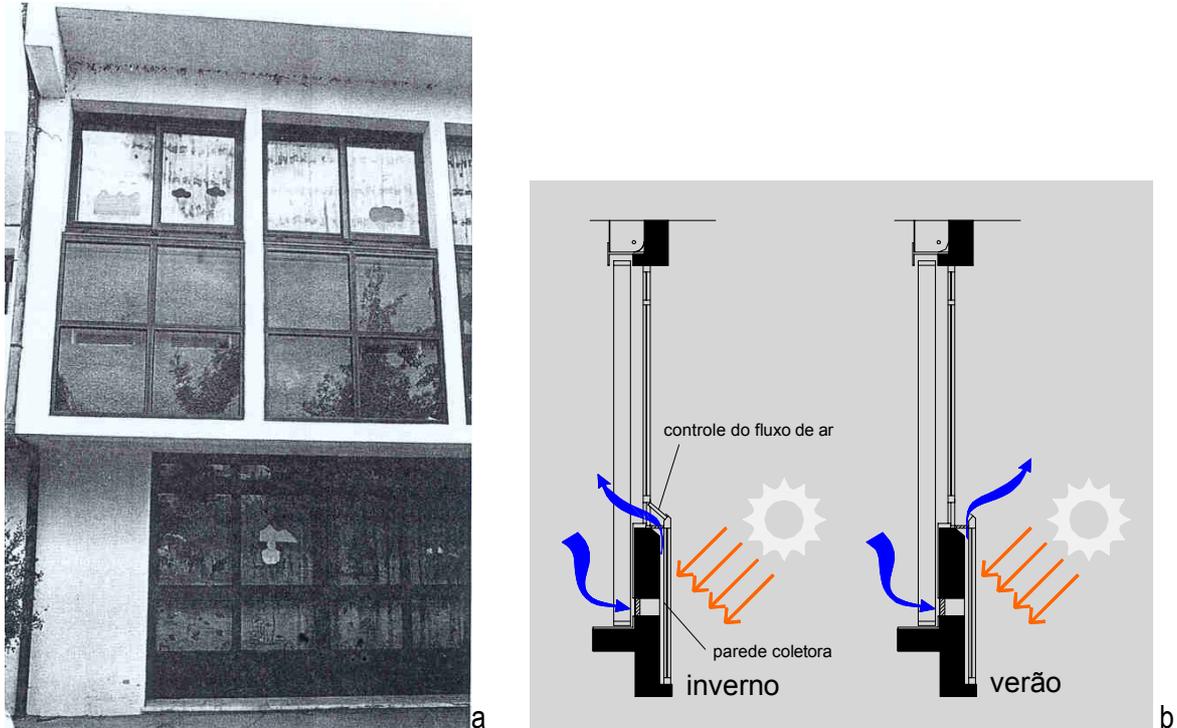


FIGURA 6.20 – F. Varanda, *Centro Infantil de Mértola*, Portugal, 1982.

Parede Trombe-Michel.

a. vista externa;

b. esquema de funcionamento.

FONTE: adaptado de GONÇALVES et al., 1998a, p. 50;54.

O mesmo recurso - empregando o princípio de termossifão - é adotado para painéis coletores de ar, constituídos de uma superfície coletora translúcida externa e, internamente, de uma superfície absorvente, com resistência térmica reduzida, diferentemente da parede coletora maciça. Na *Nazeing County Primary School* (FIG. 6.21.a e b), esse sistema foi empregado em substituição às esquadrias convencionais para redução da excessiva superfície de vidro original, o que determinou a redução das perdas térmicas de inverno, promovendo o aquecimento e a ventilação, como mostram os esquemas de funcionamento da FIG. 6.21.c, d e f, simultaneamente proporcionando isolamento térmico através da câmara de ar, quando fora de funcionamento.

No entanto, sempre é necessário lembrar que a adoção desse tipo de estratégia de projeto para o clima local deve receber os ajustes às necessidades visuais, como no caso da escola de Mértola, e, obviamente, ao conjunto dos aspectos que são abordados neste trabalho.

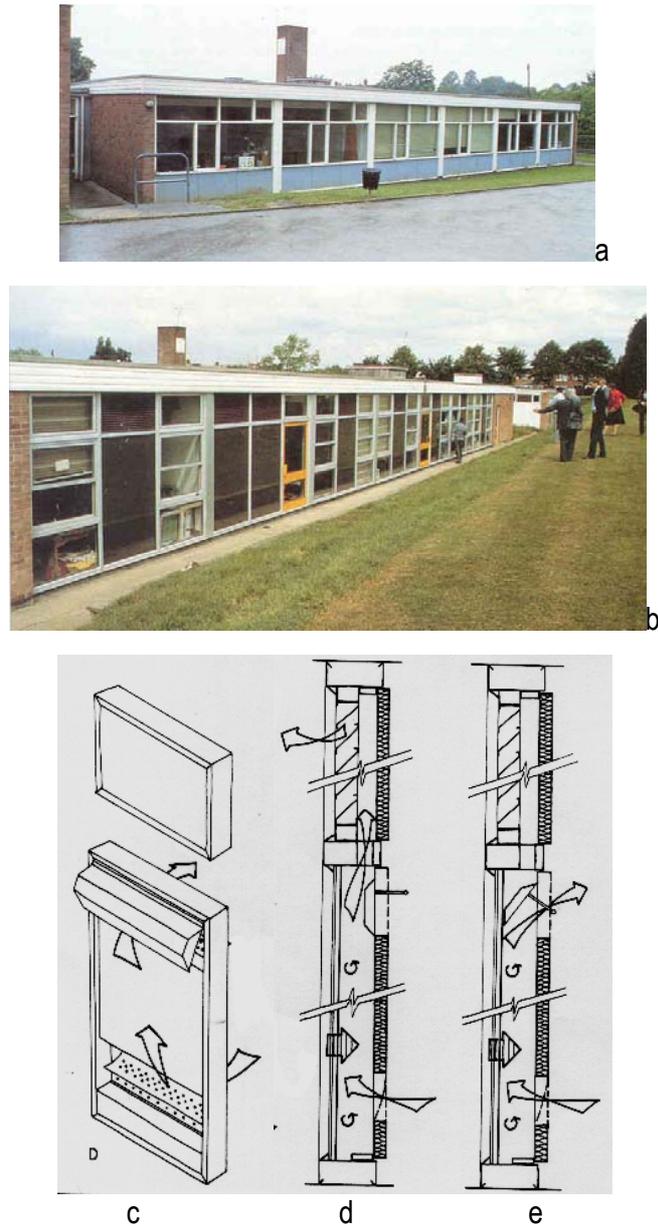


FIGURA 6.21 – R. Harrison, *Nazeing County Primary School*, Essex, GB, 1988.

Painel de condicionamento térmico por termossifão.

a. Vista externa original; b. vista externa da fachada sul.

c. vista geral do painel;

d. esquema de funcionamento de verão;

e. esquema de funcionamento de inverno;

FONTE: GREAT BRITAIN, 1994, p. 70-71.

6.1.2.6 Sombreamento

A ocorrência de períodos quentes, tanto no verão quanto nos chamados *veranicos*, característicos do clima da região de Passo Fundo, determina a tomada de precauções com vistas a evitar o superaquecimento dos ambientes internos, considerando que, por outro lado, os ganhos térmicos

através das superfícies translúcidas, nos períodos frios, promovem o condicionamento passivo, respondendo eficientemente às exigências de conforto nessas situações.

A prevenção dos efeitos de uma superexposição à radiação solar compreende o uso de dispositivos externos ou internos. Porém, conforme demonstram os diagramas da FIG. 6.22, a proteção externa normalmente tende a ser mais eficiente, pois, segundo Olgyay (1998, p. 63, tradução do autor), “a interceptação da energia ocorre no lugar correto, ou seja, antes de incidir no edifício”. Assim, a radiação inconveniente é refletida e dissipada para o exterior.

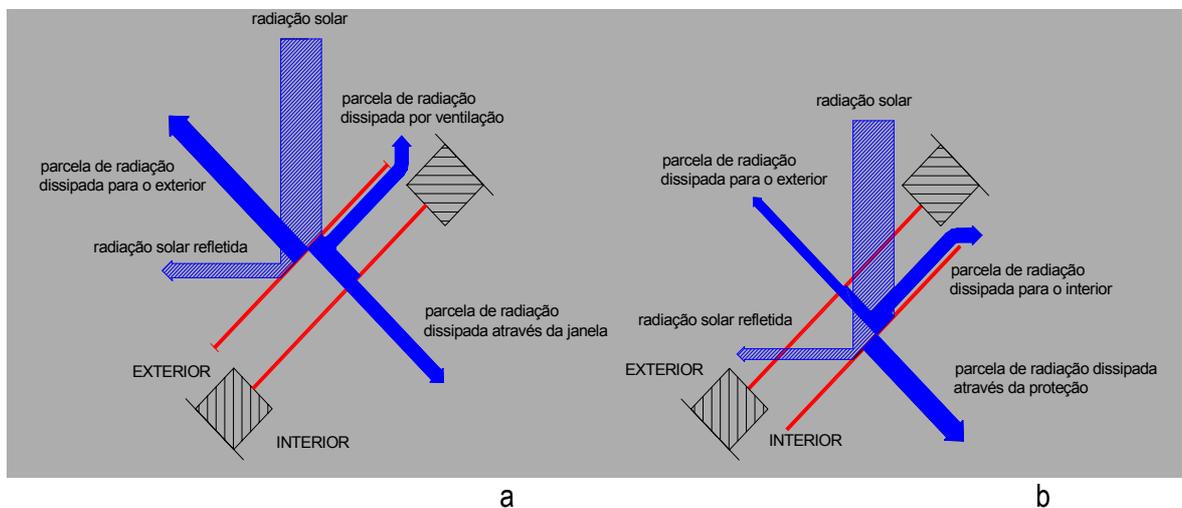


FIGURA 6.22 – Trocas térmicas através de superfícies translúcidas.

a. proteção externa; b. proteção interna.

FONTE: adaptado de FROTA; SCHIFFER, 1995, p. 47.

Olgyay (idem) ainda sugere que os mecanismos móveis são os que apresentam melhores resultados, por permitirem a adaptação dos dispositivos ao movimento solar, que, como se sabe, é variável ao longo do ano, de maneira a possibilitar o sombreamento de verão e obter os benefícios térmicos de inverno. No entanto, também os fatores de latitude e orientação são determinantes na definição dos mecanismos mais eficientes para cada caso específico. Para o caso de Passo Fundo, a FIG. 6.23 e a TAB. 6.2 apontam a altura do sol para os solstícios e equinócios, nos horários de 9h/15h e 12h; dados adicionais foram incluídos no ANEXO F.

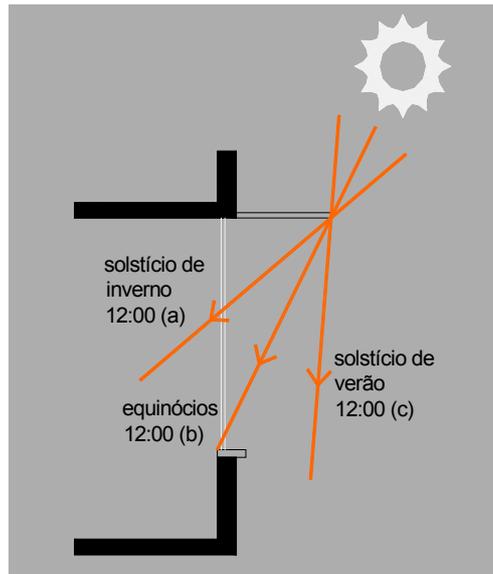


FIGURA 6.23 – Altura do sol em Passo Fundo – RS, latitude 28°15'S.
 FONTE: dados a partir de *altsol.bas* (ESTEVEES, 1990); desenho do autor.

Hora	Solstício de inverno	Equinócios	Solstício de verão
9:00/15:00	22,53	38,77	49,44
12:00	38,30	62,15	85,19

TABELA 6.2 – Altura do sol em Passo Fundo - RS, latitude 28°15'S.

FONTE: *altsol.bas* (ESTEVEES, 1999). Elaborado pelo autor.

A eficiência dos sistemas de proteção solar ou, de forma mais genérica, de seleção da radiação, está relacionada, ainda, a outros fatores, como a cor e o material dos dispositivos, que resultam em diferentes fatores de sombra. Tais elementos, aliados às possibilidades volumétricas, permitem ao arquiteto “criar um forte caráter espacial e incluir novos elementos na linguagem arquitetônica, expressando uma autêntica consciência regional” (OLGYAY, 1998, p. 65, tradução do autor). A FIG. 6.24 ilustra as múltiplas opções de projeto, pois é possível encontrarem-se várias soluções tecnicamente corretas para a mesma situação, sendo que a criatividade e o conhecimento técnico devem somar-se para que o edifício responda não apenas aos requisitos funcionais e de habitabilidade, mas, também, aos aspectos plásticos - ritmo, luz, cor e textura -, ou seja, aos temas pertinentes à Arquitetura de maneira global. A respeito disso, Banham (1975, p. 173), considera a exploração de Le Corbusier dos *brises-soleil* consiste em “*uno de los inventos más magistrales, una de las pocas innovaciones estructurales que hemos presenciado últimamente [1969] en el campo del manejo ambiental*”.

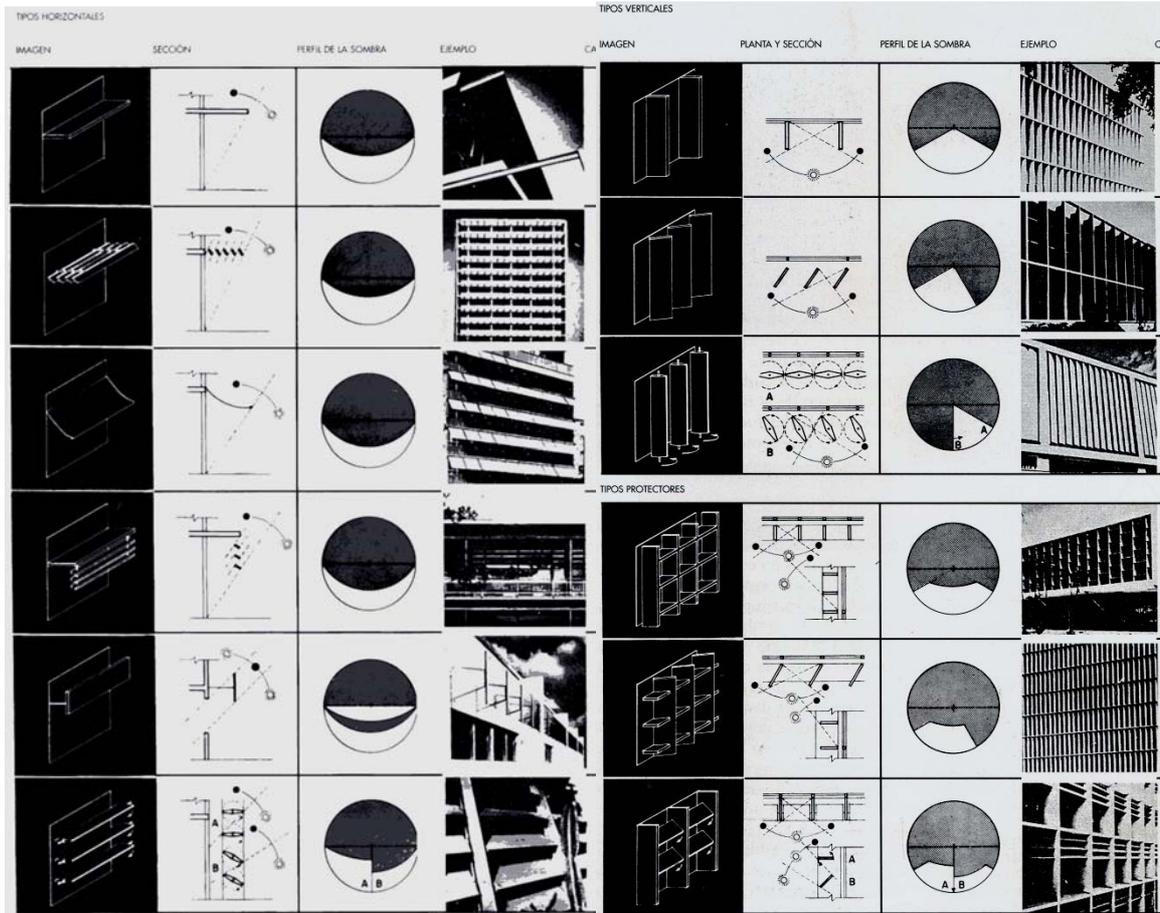


FIGURA 6.24 – Tipos de protetores solares.
 FONTE: OLGAY, 1998, p. 82-83.

Embora Olgay (1998, p. 63) recomende a utilização de mecanismos móveis, Rivero (1985, p. 103), ao colocar outras variáveis de projeto, observa que apesar da versatilidade desse tipo de proteção, os sistemas fixos apresentam um menor custo de manutenção, a dispensa da intervenção do usuário quanto ao posicionamento correto dos elementos componentes e, ainda, a possibilidade de o mesmo ser utilizado como elemento de proteção à chuva, outro dado a ser considerado para o clima subtropical. Já L. Mascaró (1985, p. 124), de forma genérica, recomenda elementos verticais para proteção das fachadas leste e oeste, e de horizontais para a fachada norte.

Quanto à adequação ao clima local, ganha, igualmente, relevância o desempenho do sistema de sombreamento relativo à promoção da ventilação natural recomendada para cada situação de conforto determinada pelo rigor climático.

Todos esses aspectos apresentam, ao arquiteto, as variáveis de projeto para os dispositivos de sombreamento. A bibliografia consultada (BITTENCOURT, 1990; FROTA; SCHIFER, 1987;

OLGYAY, 1998 e outras obras afins) e o programa de computador – *Luz do sol* (RORIZ, 1995) -, utilizados neste trabalho, apresentaram-se satisfatórios quanto à determinação das máscaras de sombras, cabendo à presente pesquisa estabelecer as necessidades locais de sombreamento, através da análise dos gráficos anteriormente apresentados quando da avaliação das orientações, e, especialmente, pela observação do diagrama das sombras desejáveis (GRAF. 6.5), determinando, assim, os horários de insolação convenientes e inconvenientes, conforme os critérios já mencionados.



FIGURA 6.24 – Exemplos de protetores solares em edificações educacionais.

- a. F. Clegg, *Jonh Cabot City Technology College*, Bristol, GB, 1993;
FONTE: GREAT BRITAIN, 1994, p. 47.
- b. D. Morris; A. Upton, *Queen's Inclosure First School*, Cowplain, GB, 1988;
FONTE: WESTON, 1991, p. 84.
- c. N. R. Machado; M. A. Porto Nobre, *Faculdade de Odontologia*, Passo Fundo – RS, 1998.
FONTE: foto do autor, 2001.

Assim como os protetores solares estruturais, a vegetação é capaz de exercer semelhante finalidade, visto que uma massa vegetal próxima às edificações permite o controle da insolação das

fachadas, compondo um microclima diferenciado, especialmente através de árvores caducifólias, que, pela sua flexibilidade característica e facilidade de adaptação ao clima subtropical, proporcionam as condições necessárias para o ideal sombreamento no verão, com interferência reduzida durante o inverno. Cabe ao projetista determinar quais as espécies de árvores ou arbustos devem ser utilizadas, de acordo com sua forma, porte, pigmentação e tipo de folhagem, aspectos esses que determinam o seu nível de absorção da radiação solar, e conseqüentemente, da radiação incidente no ambiente construído (PIETROBON, 1999, p. 35-75).

Além dos exemplos anteriores, a FIG. 6.25 ilustra a utilização dos sistemas de sombreamento em edificações escolares. Na *John Cabot City Technology College* (FIG. 6.25.a), o controle da radiação solar foi obtido através de elementos fixos horizontais e de cortinas externas multicoloridas; na *Queen's Inclosure First School* (FIG. 6.25.b), foram empregados igualmente elementos horizontais com aletas de alumínio, indicados para o bloqueio da incidência direta de raios nos horários próximos ao meio-dia. A FIG. 6.25.c mostra dispositivos de sombreamento utilizados em Passo Fundo – RS, em fachada noroeste, executados em policarbonato translúcido.

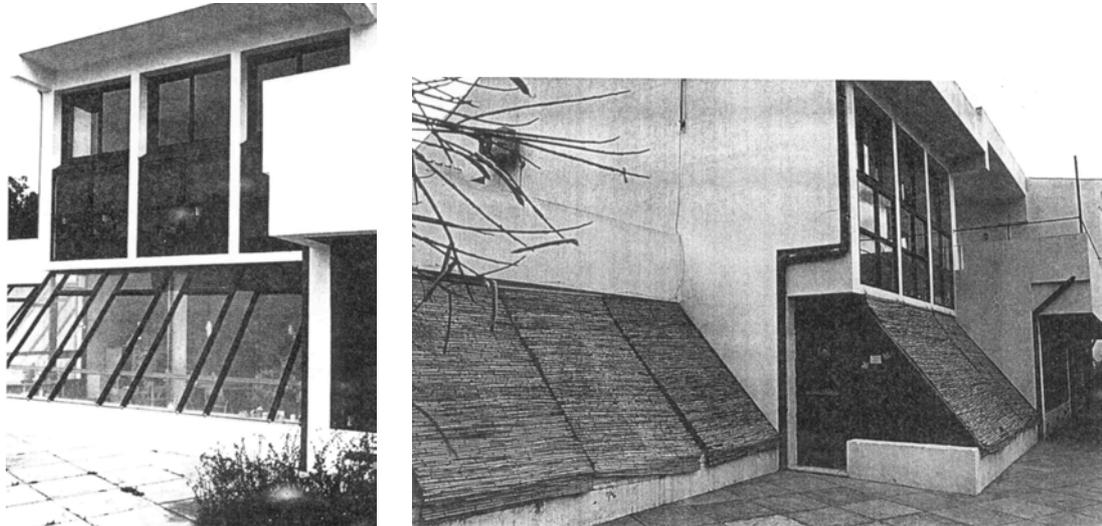


FIGURA 6.26 – Exemplos de protetores solares em edificações educacionais.
F. Varanda, *Centro Infantil de Mértola*, Portugal, 1982.
FONTE: GONÇALVES et al., 1998a, p. 53.

O projeto do *Centro Infantil de Mértola* (FIG. 6.26), por sua vez, quanto ao sombreamento, previa a proteção à radiação solar excessiva dos solários através de cortinas isolantes internas e do plantio de árvores de folhas caducas junto aos mesmos. Entretanto, tendo em vista que essa solução não foi implementada, levou à utilização de um sistema alternativo com esteiras de cana, tradicionais na região, incorporando elementos da arquitetura vernacular.

6.1.3 Aquecimento artificial

Conforme a recomendação do zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 1998c) para a zona bioclimática 2, que compreende a situação em estudo, o rigor térmico determina a utilização de sistema adicional de aquecimento artificial em 3,3% dos períodos do ano, equivalente, para o período letivo, a 4,0%. Segundo a normatização para arquitetura escolar argentina (ARGENTINA, 1996, p. 53), essa mesma recomendação é válida para localidades onde superem-se os 900 graus-dia. Assim, sob essa orientação, Passo Fundo - 857 graus-dia para aquecimento com base em 18°C -, encontra-se em uma faixa bastante próxima ao parâmetro mencionado, levantando a discussão para a inclusão desses sistemas de condicionamento térmico nas edificações.

Outro aspecto a ser considerado para a proposição de sistema auxiliar de aquecimento artificial diz respeito à ocorrência de baixas temperaturas de inverno, especialmente no período da manhã, quando tanto o ambiente externo como o interno geralmente apresentam temperaturas abaixo de 10°C, de acordo com os dados das Normais Climatológicas (ANEXO B.3) e medições *in-situ* da temperatura do ar (ANEXO E.5).

Nas situações de rigor climático de inverno, nos momentos em que o aquecimento solar passivo não é capaz de promover, isoladamente, o conforto dos usuários a partir das estratégias comentadas anteriormente, quer seja pelas baixas temperaturas, quer seja pelas características de abóbada celeste encoberta, as decisões relativas à escolha e ao projeto de um sistema de aquecimento artificial determinam a consideração de alguns aspectos, apontados por Yannas (1994, p. 114):

- a) a escolha da fonte de energia e do tipo de dispositivos a serem empregados, de maneira a definir a eficiência energética e o impacto do sistema no ambiente;
- b) a rapidez da resposta de atendimento às variações das demandas térmicas;
- c) o controle da temperatura efetiva, tendo em vista a economia de energia, potencializando os ganhos térmicos internos a partir da energia solar;
- d) a interação entre o edifício, os ocupantes e o sistema.

Na análise desses aspectos sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável, a definição de sistemas de aquecimento auxiliar deve estabelecer como princípio básico a utilização de fontes energéticas renováveis, minimizando o impacto no entorno imediato ou no ambiente como um todo. Deve-se, também, proceder a uma análise operacional e de custos de implantação e de manutenção do sistema, incluindo-se, aí, dados relacionados à disponibilidade energética.

Na opinião de Lyle (1994), essa sustentabilidade requer a implementação de pesquisas quanto a tecnologias regenerativas, termo que na acepção do autor (idem, p. 10-11) significa uma tecnologia baseada em um sistema que promova uma contínua reposição da energia e dos materiais usados em sua operação, realimentados através de seu próprio funcionamento. Para tanto, o mesmo autor (idem, p. 51-97) propõe a conversão de energias alternativas, como fotovoltaica, biomassa, eólica, além, é claro, da energia solar, assunto esse que poderá vir a ser desenvolvido em estudos complementares específicos.

Como aplicação prática dos estudos nesta área, pode-se citar Esteves (s.d.), cuja análise contribui para a determinação da carga térmica para aquecimento. O ANEXO G.1 apresenta a sua aplicação para a *Escola Guaracy B. Marinho*, em Passo Fundo - RS, considerando o coeficiente de perdas térmicas pela envoltória e o ganho direto (Fração de Ganho Solar) pelas janelas. Nas condições de 857 graus-dia, a quantidade de calor necessária para o aquecimento adicional, segundo o estudo, foi de 1.962 kWh/ano. O calor auxiliar, segundo essa metodologia de cálculo, pode ser definido em “unidades de combustível”, representando o consumo de 3,35 botijões de 45kg de G.L.P. ou 181,33m³ de gás natural.

Em Costa (1982, p. 137), tem-se um estudo comparativo referente ao poder calorífico e ao rendimento de algumas fontes energéticas (TAB. 6.3), sem, no entanto, serem abordadas as mencionadas tecnologias regenerativas.

Fonte	Poder calorífico (Kcal/kWh)	Rendimento (%)
Eletricidade	860kcal/kWh	100
G.L.P.	12.000kcal/kWh	90
Carvão	4.400kcal/kWh	50 a 70
Sol	4.000kcal/m ² dia	~50

TABELA 6.3 – Comparativo de poder calorífico e rendimento de fontes energéticas.

FONTE: adaptado de COSTA, 1982, p. 137.

Os processos de aquecimento podem ser de dois tipos (COSTA, 1982, p. 138): por aquecimento direto, obtido pelo contato direto entre a fonte de calor - lareiras, estufas de combustão e elétricas, dentre outros - e o ar do ambiente; ou indireto, no qual o aquecimento do ar resulta de um fluido intermediário - água ou vapor d'água - colocado previamente em contato com a fonte de calor, fluido esse que é distribuído para que, através de um dispositivo intercambiador, o calor gerado possa ser transmitido ao ambiente. Esse tipo de processo pode ser exemplificado pelos radiadores de água quente (FIG. 6.27) ou vapor.



FIGURA 6.27 - *Collège Henry Wallon*, Martigues, França.

Aquecimento por radiadores.

a. sala de aulas;

b. circulação.

FONTE: fotos do autor.

Costa (*idem*) ainda classifica a forma de distribuição do calor: por calefação local ou individual, quando é feita através da produção de calor por meio de fontes localizadas no próprio ambiente ou por calefação central ou coletiva, quando há uma fonte de calor única, distribuída por um sistema de tubulações.

Quanto aos aspectos mencionados, o aquecimento artificial deve, na concepção bioclimática, ser considerado como um sistema integrado ao aquecimento solar passivo. Seu uso apropriado é, inclusive, capaz de maximizar as estratégias passivas, reduzindo o consumo de energia para o

condicionamento artificial, não apenas quanto ao aquecimento, como, também, quanto ao resfriamento.

6.1.4 Desumidificação e ventilação

O fato de o clima local caracterizar-se como subtropical úmido de altitude exige medidas para o controle da umidade do ar. Sobre esse aspecto, o zoneamento bioclimático aplicado neste trabalho recomenda a adoção de estratégias de condicionamento através da desumidificação do ar para uma parcela anual de 10,4%, o que representa 5,6% do ano letivo, ou seja: tendo em vista a especificidade do regime de ocupação das edificações escolares, o impacto dos períodos quentes no conforto dos usuários é menor; entretanto, conforme já mencionado, existe a probabilidade de ocorrerem períodos quentes ocasionais ao longo de todo o ano. Embora a estratégia recomendada refira-se a situações de combinação de temperatura e umidade do ar elevadas, nos períodos mais frios a alta umidade relativa do ar apresenta-se de maneira que esse recurso de projeto possa ser, também, adotado para a minimização dos efeitos da umidade do ar na sensação de conforto dos ocupantes.

Para Koenigsberger et al. (1977, p. 112; 143), a desumidificação - tendo como parâmetros de conforto as condições de temperatura de bulbo seco de 18°C e umidade relativa de 60%²⁷ -, somente é possível através de meios mecânicos. Entretanto, os autores admitem que nos climas temperado-úmidos pode ser obtida uma minimização dos efeitos da elevada umidade por meios passivos, mediante o movimento do ar. Conforme o detalhamento apresentado no zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 1998c, p. 12), essa “[...] estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes”.

Ainda segundo o mencionado zoneamento, a ventilação consiste em estratégia de condicionamento para resfriamento passivo, correspondente a 7,0% do ano, com uma redução significativa quando considerado o período letivo, quando esse índice passa para 2,7%, de acordo com as observações anteriores relativas à desumidificação.

Sendo ambas as estratégias – desumidificação e ventilação - relacionadas com o movimento do ar, através da ventilação de conforto e a ventilação higiênica, as mesmas foram abordadas em

²⁷ Serra (1999, p. 22) ressalva que a fixação de limites restritos para o conforto resulta em “algo ingenuo”, tendo em vista dependerem de várias condições, podendo-se falar de temperaturas do ar entre 15° e 30°C, com umidades relativas entre 40 e 80%.

conjunto, correspondendo, em termos percentuais a 17,4% e a 8,3% das necessidades de conforto, respectivamente para todo o período do ano e apenas para o ano letivo. Tais recomendações suprem, praticamente, a totalidade das necessidades locais para conforto térmico nas situações de calor, promovendo melhorias nas condições termo-higrométricas dos espaços internos, sem o consumo de energia convencional. L. Mascaró (1985, p. 68) indica a aplicação da ventilação natural permanente, pois “nos climas quente-úmidos e nos compostos por estação fria, mas com permanente e alta umidade relativa do ar, a ventilação deve ser constante”.

Como já comentado previamente, e segundo Frota e Schiffer (1995, p. 124), a obtenção dos efeitos da ventilação natural ocorre de duas maneiras, as quais permitem atender às especificidades funcionais e climáticas locais: pela diferença de pressões entre o interior e o exterior, chamada de ação dos ventos, ou pela diferença de densidade do ar - determinada pelos gradientes de temperaturas internas - denominada efeito chaminé. Quanto a esse assunto, o ANEXO G.2 apresenta uma metodologia de cálculo de ventilação natural, assunto que também é apropriadamente abordado por Toledo (1999).

Como parâmetro para dimensionamento para salas de aula, a NBR 6401 (ABNT, 1980, p. 5) apresenta como recomendação uma taxa de renovação de ar de 50m³/h por ocupante, sendo o valor mínimo de 40m³/h. Rivero (1985, p. 111-112) também relaciona a ventilação higiênica com o volume disponível para cada pessoa. Os dados apresentados pelo autor constam na TAB. 6.4, abaixo:

Volume disponível por pessoa (m ³)	Renovação de ar mínimo (m ³ /h)	Renovação de ar recomendado (m ³ /h) não-fumante
3	40,7	61,2
6	25,6	38,5
9	18,7	28,1
12	14,4	21,6

TABELA 6.4 – Ventilação mínima necessária por pessoa.
FONTE: adaptado de RIVERO, 1985, p. 111.

A constante ventilação higiênica dos ambientes merece especial atenção nas edificações escolares, de forma a assegurar a qualidade do ar através do controle do nível de dióxido de carbono e da remoção dos odores corporais, tendo em vista a densidade de ocupação que, de acordo com os critérios para projeto de escolas para o ensino fundamental (CEED, 1984; RIO GRANDE DO SUL, 2000), varia entre 30 e 35 alunos/sala. Isso representa, para o clima subtropical úmido, um fator

complicador para os períodos frios, momentos nos quais, por uma tendência dos usuários em fechar todas as aberturas, com vistas a evitar o resfriamento do ambiente, essa renovação não ocorre, resultando em um ambiente com ar parado e viciado. Tal fato aponta a necessidade de medidas para solução desse problema, simultaneamente, reduzindo a incompatibilidade com a prevenção das perdas térmicas, a serem consideradas no cálculo da carga térmica necessária para aquecimento (ANEXO G.1).

Nos períodos quentes, a característica local de predominância de elevada umidade relativa do ar implica na necessidade de correspondente alta velocidade do ar – resguardados os limites de sensação agradável -, imprescindível para acelerar a evaporação do suor, evitando um previsível *stress* causado pela umidade cutânea e da vestimenta, e, ainda, aumentando a perda de calor pela superfície da pele, por convecção.

Já para os períodos frios, a ventilação ideal deverá permitir a eliminação de uma eventual condensação produzida nas superfícies internas. Nos locais de produção de vapor d'água, como vestiários e cozinhas, de acordo com Toledo (1999, p. 23-25), a exaustão do ar é necessária para retirar o vapor antes do mesmo se dispersar pelo edifício.

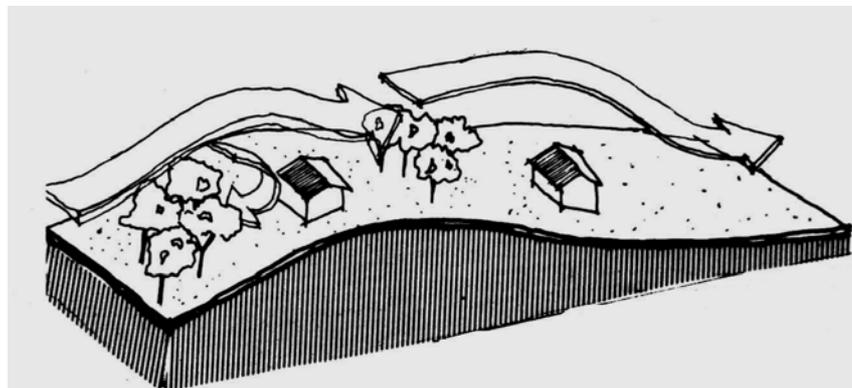


FIGURA 6.28 – Influência do entorno na ventilação dos edifícios: topografia e vegetação.
 FONTE: MASCARÓ, 1985, p. 41.

A ação dos ventos na edificação é um fator que está interligado a aspectos específicos do sítio de implantação, tais como topografia, vegetação e massa edificada, elementos esses capazes de proporcionar alterações no fluxo de ar incidente no edifício, exemplificadas na FIG. 6.28, fluxo o qual varia de acordo com as condições meteorológicas.

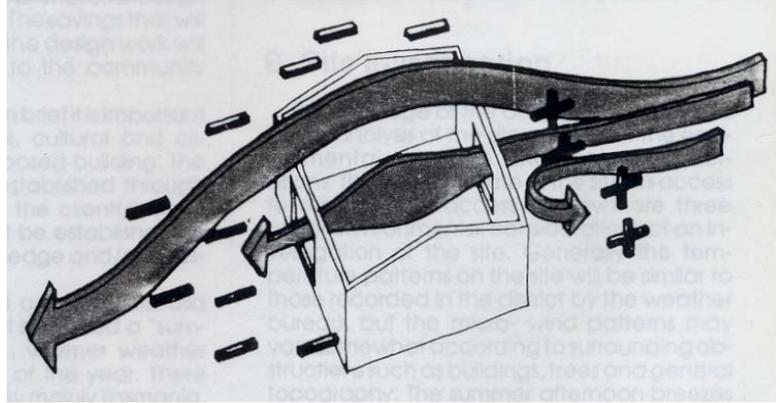


FIGURA 6.29 – Fluxo de ar na edificação: entrada e saída de ar.
 FONTE: HABITAT, 1990, capa.

A partir do conhecimento das características do vento incidente, cujos dados relativos a Passo Fundo foram descritos e analisados em seções anteriores, e das variáveis definidas pelo entorno - afastamento da edificação dos obstáculos externos naturais e construídos - e pelo ambiente interno - volume, geometria, obstruções internas, ocupação e atividade -, deve-se prever que o sistema de ventilação natural deverá apresentar, necessariamente, as aberturas para a entrada do ar na zona de alta pressão, na qual ocorre a incidência do vento (barlavento), e saídas na zona de baixa pressão (sotavento), permitindo, assim, a ventilação cruzada, de acordo com o esquema da FIG. 6.29. Conforme L. Mascaró (1985, p. 89), a orientação das aberturas deve ser o mais frontal possível, podendo ser obtida uma ventilação satisfatória com ângulo de até 50° em relação à perpendicular da direção do vento.

Complementando as considerações anteriores, quanto ao posicionamento das aberturas, recomenda-se que a entrada esteja localizada na porção inferior, enquanto que a saída na porção superior do ambiente, permitindo, assim, que ocorra a ventilação de conforto, atingindo a zona de ocupação. No entanto, para promover apenas a ventilação higiênica, no inverno, esse fluxo de ar torna-se desagradável, sendo ideal que a renovação do ar ocorra longe do usuário, preferencialmente junto ao forro, de maneira a retirar o ar saturado, procedimento esse recomendado para as situações de calor.

Visto que os ventos em Passo Fundo se apresentam com direção nordeste dominante durante todo o ano, tanto para os períodos frios como quentes, a eficiência da ventilação natural dependerá, como já mencionado, do controle do direcionamento e velocidade do fluxo de ar no ambiente, aspectos esses que, imprescindivelmente, devem ser considerados para uma adequada escolha da tipologia de esquadrias e dos dispositivos a elas relacionados.

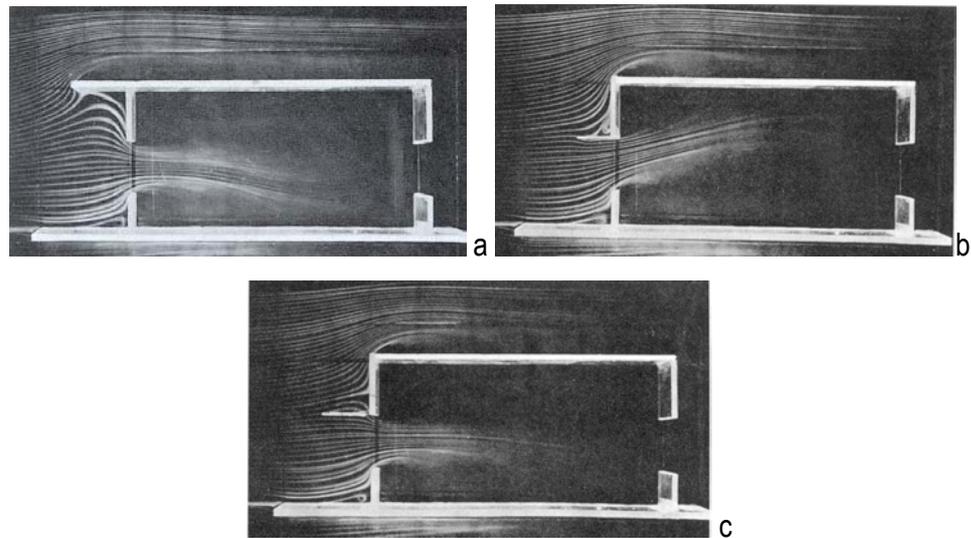


FIGURA 6.30 – Interferência de elementos externos no fluxo de ar na edificação.

- a. beiral;
 - b. proteção maciça;
 - c. proteção afastada na parede.
- FONTE: OLGAY, 1998, p. 110-111.

Segundo Olgay (1998, p. 110-111, tradução do autor), “os fatores externos situados próximos das aberturas podem influenciar os modelos de fluxo de ar de forma muito acentuada”: um beiral na altura da cobertura, por exemplo, intercepta e desvia as massas de ar para a abertura, incrementando o efeito do fluxo interno (FIG. 6.30.a); uma proteção situada imediatamente acima da janela produz um efeito desfavorável, desviando o fluxo para acima da zona de ocupação (FIG. 6.30.b); em situação similar, porém com um afastamento entre a proteção e a parede (FIG. 6.30.c), as pressões são equilibradas, permitindo o direcionamento do fluxo para a zona de ocupação.

Igualmente, a tipologia de abertura da janela influencia na distribuição diferenciada do ar no ambiente. A janela pivotante horizontal permite o direcionamento do fluxo segundo a necessidade dos ocupantes, quer seja para ventilação higiênica (FIG. 6.31.a) ou para a ventilação de conforto (FIG. 6.31.b). Para L. Mascaró (1985, p.94), essa tipologia – que inclui as janelas basculantes e maxim-ar - apresenta um desempenho eficiente, desde que condicionada à abertura com inclinação superior a 30°, possibilitando uma separação entre o fluxo de ar quente do ar frio. Especialmente no clima subtropical, os aspectos de estanqueidade e isolamento do ar e da água colocam-se como requisitos importantes para um desempenho satisfatório das aberturas e da caixilharia, exigindo, portanto, um tratamento qualificado na sua execução.

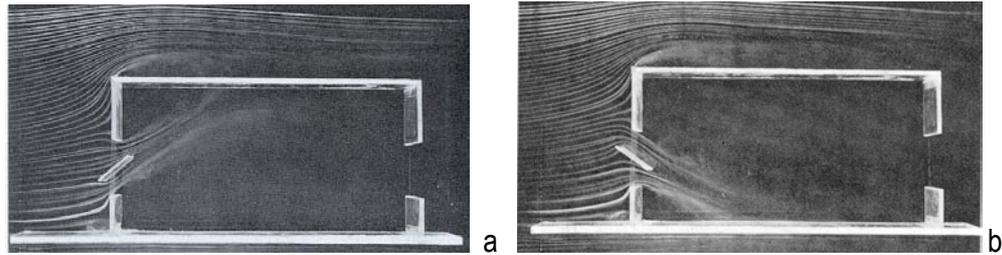


FIGURA 6.31 – Tipologias de aberturas e fluxo de ar.
 a. ventilação higiênica;
 b. ventilação de conforto.
 FONTE: OLGAY, 1998, p.110-111.

A FIG. 6.32 mostra diferentes aplicações de tipologias de esquadrias, com variações da abertura: a FIG. 6.32.a demonstra a aplicação das recomendações anteriores, incluindo, para a eficiência na situação de clima composto, comando para a abertura, diferenciando as zonas para a ventilação de conforto e ventilação higiênica; a FIG. 6.32.b demonstra a preocupação com a ventilação do ambiente escolar no início do século passado, evidenciada pelas múltiplas possibilidades de abertura das janelas localizadas em paredes opostas, o que contribui para um fluxo de ar cruzado.



FIGURA 6.32 – Tipologias de aberturas em salas de aula.
 a. D. Tozzi, *EEPG Chapada Grande*, Itapetininga - SP, [199-].
 FONTE: SÃO PAULO, 1998, p. 70.
 b. M. Sabater, *EEPG Dr. Cesário Bastos*, Santos - SP, 1911.
 FONTE: FERREIRA et al., 1998, p.167.

A eficiência das aberturas para a ventilação natural, ainda, está condicionada ao dimensionamento das superfícies de entrada e de saída do ar: para a zona bioclimática 2 (ABNT, 1998c, p. 4),

recomendam-se aberturas de tamanho médio, com superfície equivalente de 15% a 25 % da área de piso. Tal recomendação, no entanto, é insuficiente para uma concepção global, que envolva todos os condicionantes existentes.

Para a situação de verão, Olgay (1998, p. 106) afirma que a velocidade do ar é mais importante que a quantidade de ar renovado, lembrando que a maior velocidade do ar ocorre quando forem combinadas uma pequena entrada de ar e uma saída com maior proporção, dimensões essas que, obviamente, deverão também considerar todos os aspectos envolvidos, como demonstra o cálculo da área das aberturas para ventilação apresentado no ANEXO G.2.

A ventilação dos áticos, na estação quente, funciona como um recurso para a redução da quantidade de calor transmitida pela cobertura, aspecto para o qual também contribuem as características de resistência térmica da envolvente do edifício. Em oposição, o mesmo sistema mostra-se incompatível com os requisitos de conforto na estação fria: quando adotado, implica no uso de dispositivos para controle de abertura, segundo as necessidades sazonais de conforto.

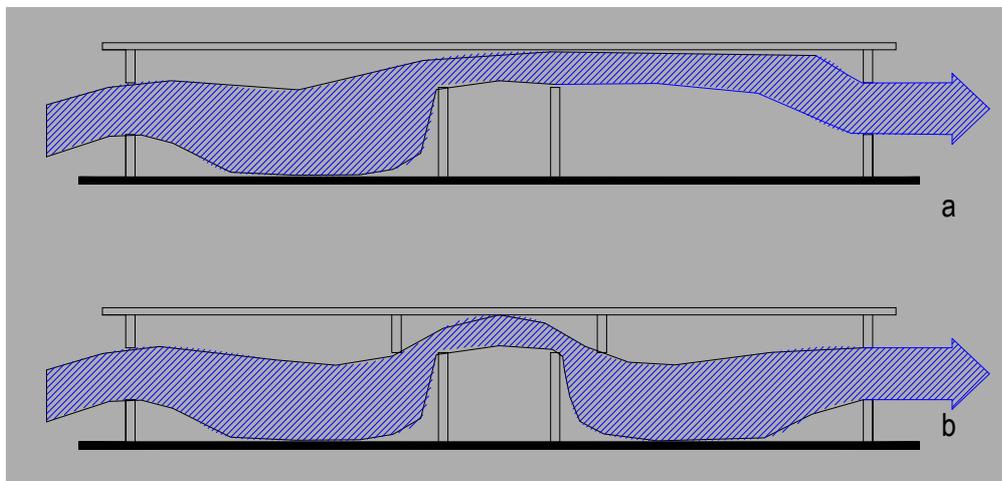


FIGURA 6.33 – Fluxo de ar em escolas com dupla orientação.
 FONTE: adaptado de RIVERO, 1985, p. 121.

No caso específico de escolas, Rivero (1985 p. 120-121) comenta que, pelo partido comumente adotado de salas com orientações opostas, a disposição da entrada de ar inferior e da saída de ar superior “não permite que o fluxo de ar se comporte igual nos dois ambientes para um regime de verão” (FIG. 6.33.a), sugerindo a disposição de placas defletoras (FIG. 6.33.b) a fim de corrigir a trajetória do ar. Entretanto, o autor ressalva, nesse esquema, a interferência sonora, a ser objeto de estudo específico.

Já quanto ao efeito chaminé, a ventilação ocorre através da diferença de temperatura entre o ar externo e ar do interior do edifício, pois o efeito gravitacional da diferença de peso entre o ar quente e frio origina uma coluna de ar quente ascendente. Assim, a eficiência deste tipo de ventilação, depende, dentre outras variáveis, da maior diferença de temperatura e do maior distanciamento entre a entrada e a saída do ar.

Nesse sentido, nas salas de aulas, os usuários naturalmente constituem-se em fonte de calor, ocasionando temperaturas superiores às do ar externo. Assim, Frota e Schiffer (1995, p.135) sugerem que com a localização de aberturas próximas ao piso e próximas ao forro, ou mesmo no próprio forro, o ar interno mais aquecido tenderá a sair pelas aberturas superiores e o ar externo, de temperatura inferior, encontrará condições de penetrar pelas aberturas inferiores. Ressalva-se, entretanto, que nas condições climáticas das estações frias, o fluxo de ar frio pela zona de ocupação, deve ser evitado, conforme já mencionado.

Porém, como observa Olgyay (1998, p. 112, tradução do autor), “a lentidão do processo normal de ascensão do ar não é adequada para aliviar os efeitos das altas temperaturas ou diminuir os incômodos produzidos pelas condições de alta pressão de vapor”. Por outro lado, “em tempo calmo, sem vento, é o efeito de chaminé o único responsável pela renovação do ar nos edifícios não dotados de sistemas mecânicos de ventilação” (TOLEDO, 1999, p. 70).

Considerando tais afirmações, em Passo Fundo, a frequência de calmarias - 210 vezes em 5.479 observações (3,8%) - aponta, a princípio, que na maior parte das situações a ventilação pela ação dos ventos será eficiente, constituindo a ventilação por efeito chaminé, um princípio a ser adotado de maneira complementar ou naquelas situações de orientação desfavoráveis quanto à direção dominante do vento. Nesse sentido, cabe a observação de Frota e Schiffer (1995, p. 125): “quando a ventilação natural de um edifício é criteriosamente estudada, verifica-se a conjunção dos dois processos”, cuja simultaneidade “[...] pode resultar na soma das forças, ou pode agir em contraposição e prejudicar a ventilação dos ambientes”.

Praticamente todas as escolas citadas neste trabalho apresentam soluções de ventilação natural adequadas às particularidades climáticas dos respectivos locais de implantação, como é o caso da *Escola de Alto Verde*, na Província de Mendoza, Argentina, dotada de um sistema que promove a ventilação cruzada dos ambientes de dois pavimentos utilizando as brisas dominantes de direção

sul, através da extração do ar aquecido do solário na situação de verão (FIG. 6.34.a). A estratégia favorece, ainda, o condicionamento para aquecimento solar passivo (FIG. 6.34.b), graças a um conjunto de dispositivos de controle manual de abertura, adaptado às exigências situacionais.

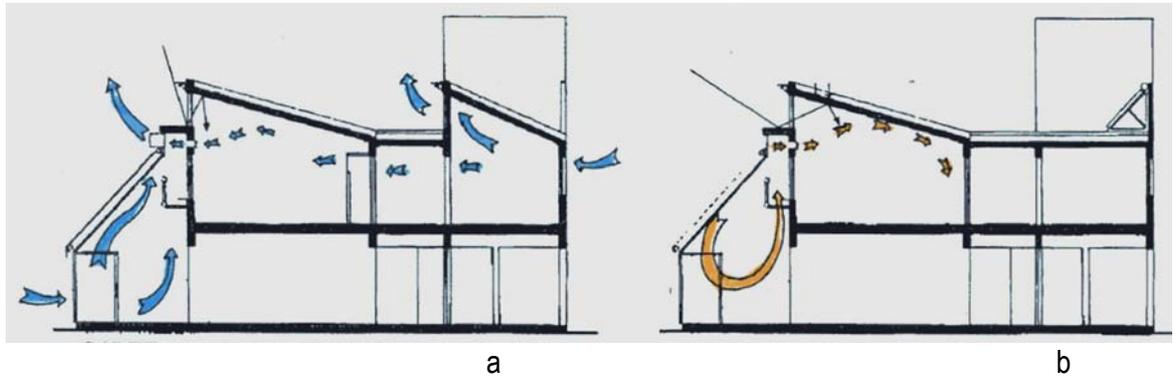


FIGURA 6.34 – LAHV – CRICYT, *Escola de Alto Verde*, Mendoza, Argentina, 1995.
 a. esquema de ventilação de verão;
 b. esquema de ventilação de inverno.
 FONTE: DE ROSA et al., 1996, p. 13.

A concepção global de todos os aspectos do condicionamento solar passivo está demonstrada no projeto da *D'Hautree School*, em Mont l'Abbé, Jersey Island - localizada no Canal da Mancha. Nesse projeto, Evans (1995, p. 42, tradução do autor) ressalta tanto os aspectos da qualidade obtida no manejo ambiental como o resultado da criatividade e diversidade das soluções arquitetônicas adotadas, obedecendo a "um senso de luz, espaço e estímulo visual imediato, desde o exterior até o interior [...], promovendo mudanças de experiências em cor e forma". Para o autor, a escola em questão apresenta um eficiente sistema de ventilação, apropriado para os condicionantes climáticos, interagindo, simultaneamente, com os demais sistemas de aquecimento, refrigeração e iluminação natural, através da própria edificação e do entorno imediato. No tema específico da ventilação natural, tem como base os critérios e recursos de projeto comentados anteriormente, incluindo uma chaminé para exaustão do ar aquecido no verão, com abertura parcial no inverno, conforme mostra a FIG. 6.35.a e b, respectivamente para a situação de verão e de inverno.

Os princípios termo-dinâmicos do efeito chaminé foram adotados na concepção dos painéis coletores de ar, já apresentados quando da análise das *Escolas de Crato e Mértola*, em Portugal, e *Nazeing County*, na Grã-Bretanha.

Além da ventilação dos ambientes internos, outro aspecto a ser considerado é quanto aos ambientes externos, pois devem ser minimizados os efeitos das brisas frias sobre as áreas externas de recreação e desporto, através de, por exemplo, barreiras vegetais corretamente posicionadas de

forma a permitir a recomendada exposição à radiação solar, atingindo o condicionamento térmico passivo.

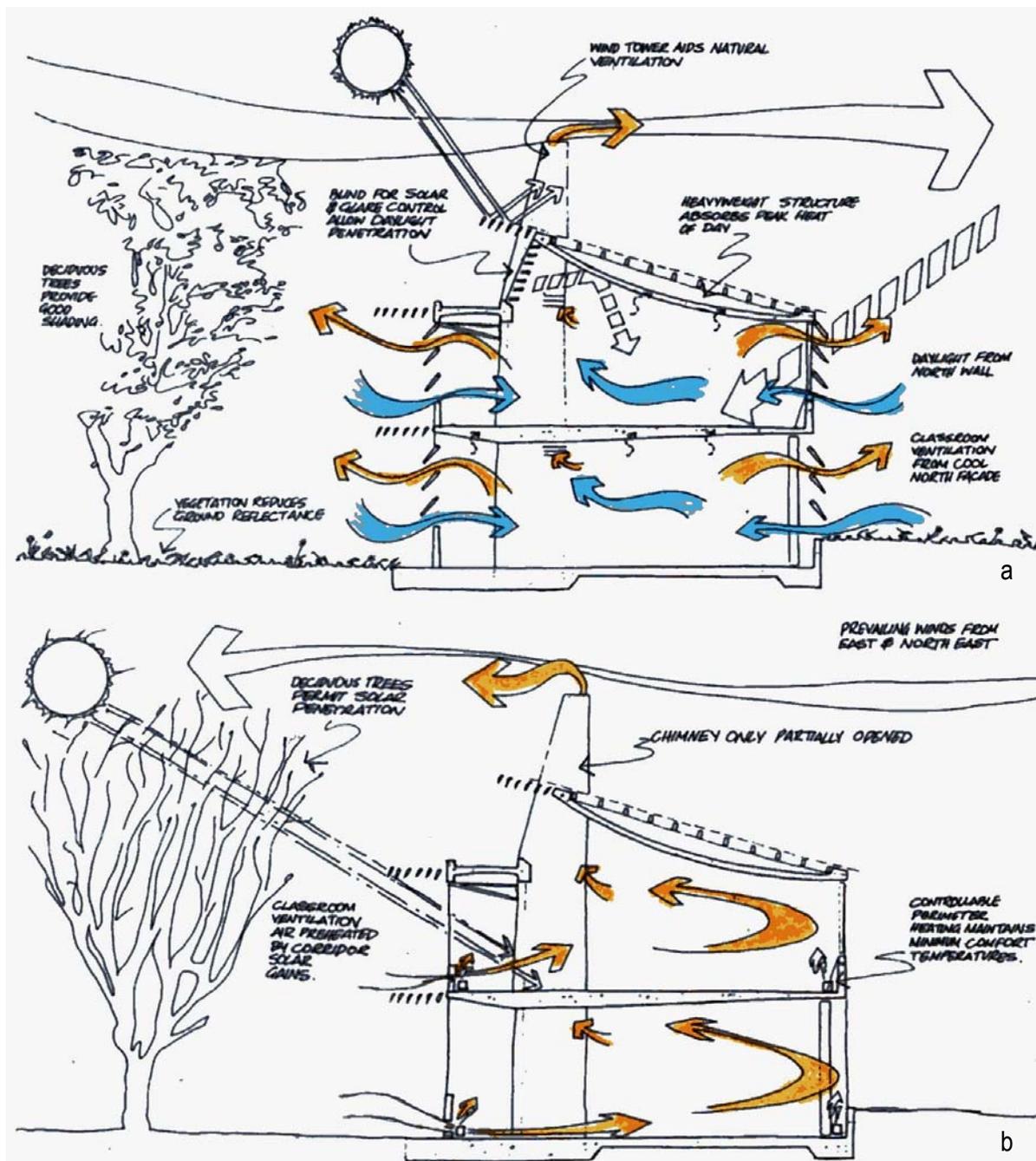


FIGURA 6.35 – Plincke; Leaman and Browning Arch., *D'Hautree School*, Mont l'Abbé, Jersey Island [199.].

- esquema de condicionamento passivo para verão;
- esquema de condicionamento passivo para inverno.

FONTE: EVANS, 1995, p. 43.

6.2 Conforto visual

Tendo em vista as considerações iniciais relativas às exigências de conforto visual para as edificações escolares, abordando os conceitos gerais sobre a disponibilidade da luz natural e seu aproveitamento para a iluminação natural dos edifícios, bem como sobre a iluminação artificial suplementar, faz-se oportuno apontar alguns aspectos complementares, a fim de que seja possível apresentar soluções adequadas às condições ambientais locais.

O conforto visual nas edificações escolares revela-se de grande importância, visto que as tarefas visuais a serem desenvolvidas são freqüentes no processo de aprendizagem: a leitura e a escrita, por exemplo. O conjunto de métodos de sociabilização e construção do conhecimento da criança exige que o desempenho visual em escolas seja eficiente; para atingir esse objetivo, vários aspectos contribuem, tanto em termos quantitativos, como qualitativos, interferindo no ambiente visual da sala de aula e demais compartimentos nos quais a acuidade e a precisão visual se fazem necessários. Os requisitos lumínicos, nesses casos, como apresenta Freire (1996, p. 61), são capazes de afetar a visibilidade tanto dos elementos distantes do aluno, como quadro-negro, quanto de outros, mais próximos, como o caderno, por exemplo.

Com o intuito de proporcionar o desenvolvimento das tarefas com o máximo rendimento, devem ser considerados os fatores relativos à habilidade do olho na distinção de detalhes e constrates, ou seja, de acuidade visual, diretamente relacionada com a luminância do objeto observado e do campo visual (FREIRE, 1996, p.61-62), envolvendo, também, aspectos fisiológicos individuais.

A melhoria do desempenho visual depende, da determinação da iluminância adequada para cada atividade específica, observando os aspectos relativos ao tamanho do objeto e aos contrastes e refletâncias entre as superfícies do campo visual dos planos de trabalho. A NBR 5413 (ABNT, 1992), sobre o assunto, de maneira sintética estabelece, para salas de aula, uma iluminância de 300 lux, enquanto que para os quadros-negros recomenda 500 lux.

Entretanto, isoladamente, a quantidade de luz é insuficiente para a promoção de um ambiente visual confortável, uma vez que há outros fatores qualitativos complementares. Para Koenigsberger et al. (1977, p. 153), o projeto de iluminação deve assegurar que a luz seja adequada e satisfatória para a visão, devendo ser ponderados os seguintes aspectos:

- a. cor da luz;
- b. fonte de calor;
- c. distribuição de luz (direta ou difusa, modeladora);
- d. isenção de ofuscamento;
- e. distribuição de iluminância, considerando as características das superfícies em conjunto com o iluminamento destas.

Os contrastes, ou as relações entre as luminâncias das várias superfícies componentes do ambiente visual, devem ser mantidos dentro de limites, os quais devem permitir a adaptação do olho aos movimentos dentro de uma área determinada. Especificamente quanto à luminância em salas de aula, a *Illuminating Engineering Society of North America* – IES (1981, p. 6_3) recomenda relações entre o plano de trabalho e as demais superfícies do entorno do campo visual, observando, como parâmetro, que qualquer superfície significativa não deve apresentar valores maiores que cinco vezes a luminância da tarefa visual. O ponto crítico do conforto visual encontra-se na superfície adjacente ao campo plano de trabalho: recomenda-se que em uma carteira escolar, por exemplo, a relação entre a luminância da mesma e o restante do ambiente não seja inferior a 1/3, conforme mostra a FIG. 6.36. Segundo a NBR 5413 (ABNT, 19992, p. 1), “a [luminância] no restante do ambiente não deve ser inferior 1/10 da adotada para o campo de trabalho, mesmo que haja recomendação para valor menor”.

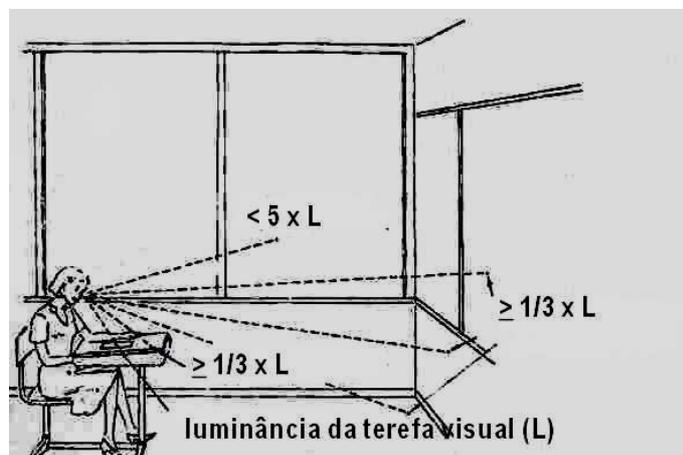


FIGURA 6.36 – Relação entre luminâncias em salas de aulas.
 FONTE: adaptado de IES, 1981, p. 6_3.

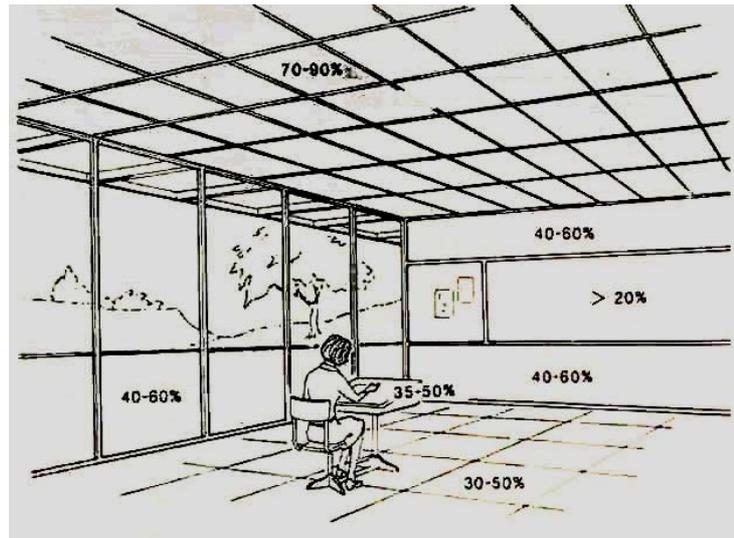


FIGURA 6.37 – Refletâncias recomendadas para superfícies e mobiliário em salas de aulas.
 FONTE: IES, 1981, p. 6_4.

A FIG. 6.37 apresenta as recomendações da IES (1981, p. 6_3-6_4) para as refletâncias das superfícies do ambiente e do mobiliário, as quais dependem das características próprias de cada material quanto à absorção e à reflexão da luz incidente, tais como textura, cor, etc. Nesse sentido, os forros devem apresentar superfícies não-especulares - com reduzido polimento - e de cores claras, tão próximas ao branco quanto possível; para as paredes, superfícies igualmente difusoras, com refletâncias entre 40 e 60%, sendo que para a porção superior ao nível das luminárias indicam-se como ideais refletâncias maiores (80%); para paredes adjacentes às janelas, os autores recomendam precauções a fim de evitar diferenças excessivas entre as luminâncias das janelas e da superfície das paredes, o que pode ser solucionado com o uso de material difusor; já para os pisos, a indicação é de refletâncias inferiores às das paredes.

Outro elemento a ser observado para o conforto visual é o ofuscamento, ocasionado quando as fontes de luz artificial ou natural apresentam-se com brilho excessivo em relação ao ambiente, produzindo sensações desconfortáveis ou até mesmo impedindo a realização das tarefas. De acordo com Freire (1996, p.66), “uma das formas de ofuscamento ocorre quando a luz vinda da fonte sofre uma reflexão especular por uma superfície do ambiente em direção ao olho do observador”. Isso pode ocorrer nos quadros-negros e demais planos de trabalho, causando um acréscimo na luminância dessas superfícies, diminuindo o contraste na parte que interessa do campo visual e, assim, reduzindo a acuidade visual do observador.

Na iluminação natural, o efeito de ofuscamento ocorre quando se tem a visão direta do sol ou refletida pela abóbada celeste com alta luminância, com alto contraste com o entorno, o que está relacionado à localização da janela no ambiente e sua orientação. A presença da radiação solar direta, sem dúvida, produz efeitos inconvenientes, exigindo medidas de proteção e controle de acordo com os princípios já mencionados quanto à concepção global das aberturas, objeto específico da fenestração.

Já na iluminação artificial, as luminárias devem incorporar dispositivos capazes de eliminar os efeitos de contraste e ofuscamento, tema a ser abordado na continuidade deste trabalho.

A percepção da cor apresenta, como anteriormente mencionado, outro aspecto a ser considerado no projeto lumínico: a quantidade e a qualidade da luz necessária no ambiente. Nas séries iniciais do ensino, o índice de reprodução de cor revela-se de particular importância, haja vista constituir-se no momento em que a criança está aprendendo a distinguir as cores. A maior fidelidade cromática será obtida com os objetos iluminados pela luz branca (luz natural), já que seu espectro abrange toda a gama de comprimento de onda da faixa da luz visível. A cor, ainda, é um elemento que caracterizará o ambiente, respondendo às exigências de projeto para a criação da identidade espacial dos alunos, aliada a uma adequada distribuição de luz e sombras, segundo o caráter a ser dado a cada espaço específico.

De maneira simplificada, a AEC (1991, p. 17) mostra as estratégias de iluminação aplicadas aos prédios educacionais (FIG. 6.38), segundo o partido arquitetônico de um ou dois pavimentos, com dupla orientação, adotados na Carolina do Norte, USA. Outras estratégias foram acrescentadas às propostas da AEC na seqüência do trabalho, permitindo a ampliação do repertório para a adequação aos casos específicos locais, bem como permitindo uma avaliação quanto ao desempenho lumínico, em especial, das circulações. Cabe, ainda, salientar os demais aspectos envolvidos na definição da tipologia a ser adotada, abordados previamente, como os econômicos, acústicos e de ventilação.

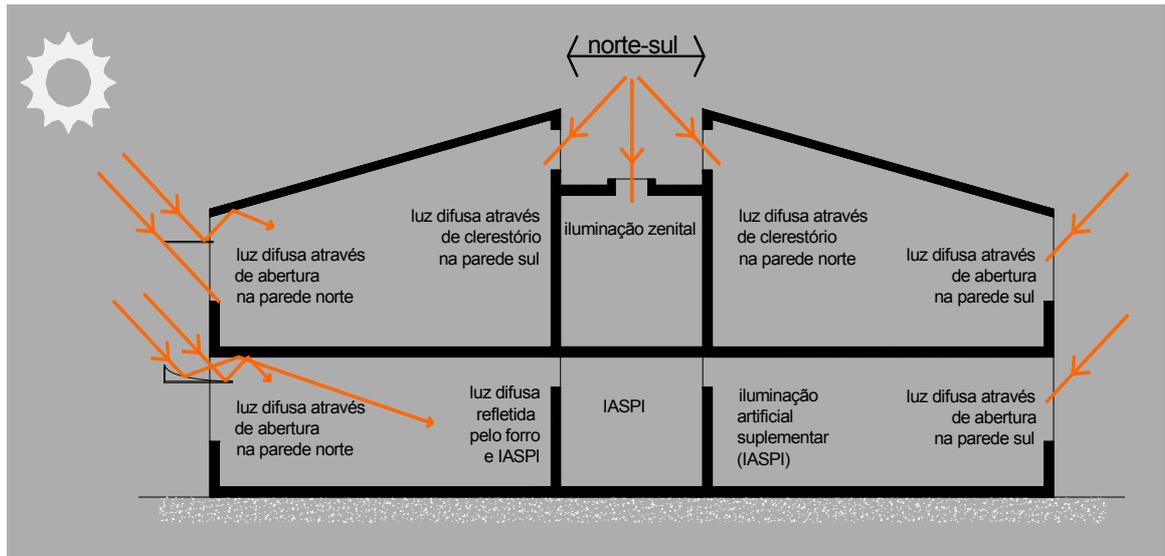


FIGURA 6.38 – Estratégias de iluminação em escolas, segundo partido arquitetônico com dupla orientação.
 FONTE: adaptado de AEC, 1991, p.17.

6.2.1 Iluminação natural

Como citam Pattini e Kirschbaum (1998, p. 03.63, tradução do autor) “a luminosidade natural é um recurso vital para o bem-estar dentro da escola, devendo ser planejada de modo que tanto os estudantes como docentes possam realizar suas tarefas visuais de maneira mais eficiente, em um ambiente psicológico e físico adequado”.

Sobre esse aspecto, a AEC (1991, p. 1) sistematiza as vantagens da aplicação da iluminação natural em escolas. Tais vantagens são complementadas por Lam (1986, p.303-304) da seguinte forma:

- a. as exigências de iluminâncias são geralmente mais elevadas em escolas, em comparação com outras edificações não-residenciais, significando que a densidade de energia elétrica para iluminação será igualmente alta, possibilitando um grande potencial para a economia energética;
- b. a disponibilidade de luz diurna coincide com o regime de ocupação da maioria das escolas, o que representa, para a educação infantil e o ensino fundamental, objetos deste estudo, uma grande necessidade de iluminação;

- c. pelas características gerais dos partidos arquitetônicos adotados, é possível configurar um sistema que promova, em termos quantitativos e qualitativos, a iluminação natural em grande parte dos compartimentos;
- d. a limitação da profundidade das salas de aula e laboratórios, determinada pelo número máximo de ocupantes em função de critérios pedagógicos, igualmente contribui para uma boa utilização da luz diurna com vistas ao bom desempenho das tarefas visuais;
- e. os vãos de iluminação também podem ser aproveitados para a captação de radiação solar para aquecimento solar passivo e para a ventilação natural, compondo os objetivos da fenestração;
- f. uma adequada iluminação natural traz benefícios psicológicos, promovendo um ambiente que permita o desenvolvimento da criança inserida no processo educativo.

Para que esses aspectos sejam implementados, inicialmente faz-se imprescindível a análise das condições locais da disponibilidade da luz diurna, tendo a abóbada celeste como sua principal fonte. Para L. Mascaró (1985, p. 105), “o conhecimento e a compreensão das [suas] características [...] são necessários para uma otimização das decisões de projeto em função delas e com o objetivo de minimizar o consumo de energia em relação à iluminação dos edifícios”. Isso exige o resgate da caracterização climática previamente elaborada, e, em especial, da avaliação das orientações já apresentada. Neste caso específico, a abóbada celeste em Passo Fundo mostra-se com nebulosidade entre 47% e 59% nos meses de abril/maio e setembro, respectivamente, com uma média anual de 52%, conforme dados apresentados no ANEXO B.2.

A recomendação de estratégias para o melhor aproveitamento da luz diurna na iluminação dos ambientes escolares, de acordo com as condições da abóbada celeste local, tem como ponto de partida um estudo relativo ao desempenho lumínico de salas de aulas em escola fundamental construída em Passo Fundo – *Escola Guaracy Barroso Marinho* -, já mencionada, na qual foi adotado um partido arquitetônico simétrico, com as salas de aulas dispostas em linha e orientações opostas - nesse caso, para noroeste e sudeste. O estudo foi instrumentalizado por medições *in-situ* (ANEXO H.1) e através de programas computacionais para a comparação e complementação dos resultados.

A partir dos dados locais referentes à latitude, altitude, insolação diária e condições atmosféricas (fator de transparência), e ainda do azimute e da inclinação da superfície, o programa computacional *ISE* (STAHL, 1993) apresenta a estimativa da irradiância (carga térmica) e iluminância (carga luminosa) sobre superfícies exteriores, em função das diferentes condições da abóbada celeste e de cada orientação específica, dados esses que são apresentados parcialmente no ANEXO D.2.

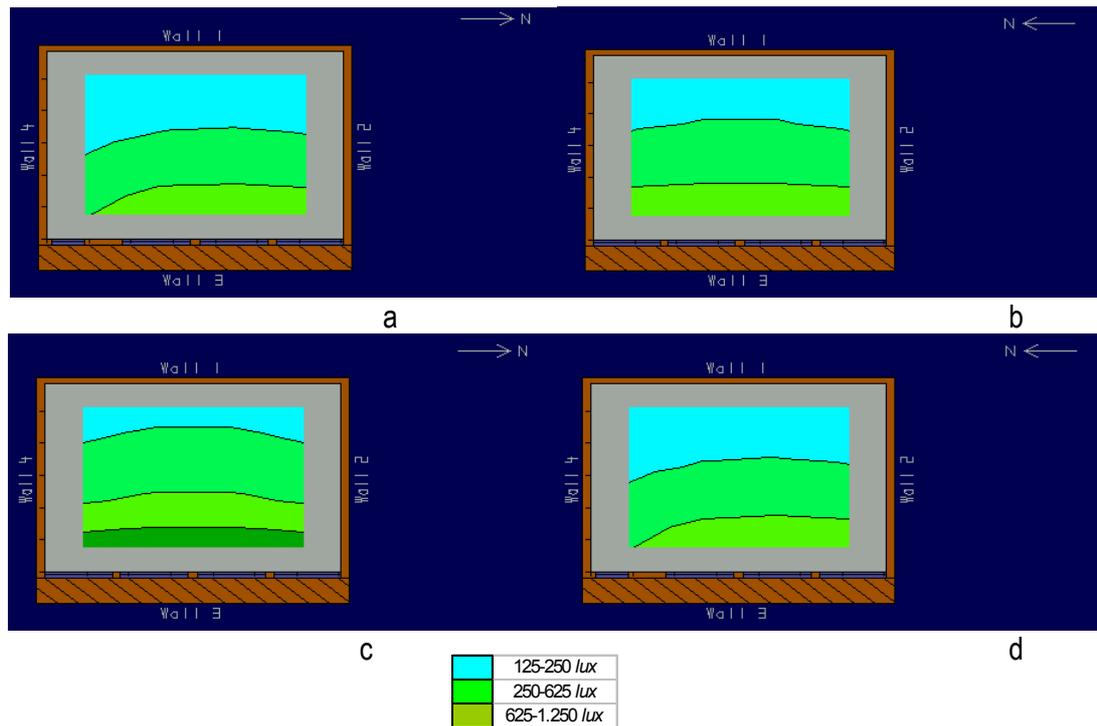


GRÁFICO 6.2 - Curvas *isolux* dos ambientes do estudo de caso, para abóbada celeste encoberta.
a. sala 3; b. sala 4; c. sala 13; d. sala 11.

FONTE: FRAME; BIRCH, 1991; STAHL, 1993. Elaborado pelo autor.

Para a avaliação desses resultados, utilizou-se o programa *Daylight* (FRAME; BIRCH, 1991), o qual, a partir das características internas dos ambientes - dimensões, refletância das superfícies, posição e dimensões das esquadrias -, simula o padrão de distribuição da luz natural interna, através do *daylight factor*, definido como um percentual entre a iluminância para uma abóbada celeste encoberta e a iluminância recebida em um ponto interno determinado, considerando-se a luz difusa incidente e válida para os equinócios nos horários de 10 e 14 horas. A aplicação para a abóbada celeste parcialmente nublada apresenta correções para cada uma das orientações, aproximando os resultados da simulação às condições reais (ANEXO H.2).

A aplicação conjunta dos programas *ISE* e *Daylight* à situação de quatro salas de aula que constituíram o corpo de estudo desta análise teve como resultado o GRAF. 6.2, a qual mostra as

curvas *isolux*, representando a iluminância dos ambientes. Para se obter tais dados, foi admitida como iluminância difusa externa de um céu encoberto 7.100 lux, valor alcançado através da associação dos programas mencionados. Obviamente, condições externas diferenciadas resultam em dados numéricos distintos, sendo válidos, nesse sentido, os dados percentuais dos coeficientes de luz diurna - CLD, ou *daylight factor*, do ANEXO H.2.

Segundo recomendações britânicas (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 1964, p. 26), para edificações escolares um valor mínimo de 2% do CLD é apropriado para os requisitos visuais, tendo como parâmetro o céu encoberto normal descrito pela *Commission International d'Eclairage* – CIE; entretanto, de acordo com as ressalvas de L. Mascaró (1985, p. 105; 107-108), “as exigências de iluminação natural diferem segundo as regiões onde estão localizados os edifícios”, ou seja, para a adequação às condições locais da abóbada celeste existe “[...] a necessidade de se realizarem modificações indispensáveis para sua correta aplicação”. A autora compara as recomendações internacionais às características brasileiras gerais de abóbada semi-encoberta, o que resulta, comumente, em um superdimensionamento das aberturas, com conseqüências de ofuscamento e superaquecimento no verão.

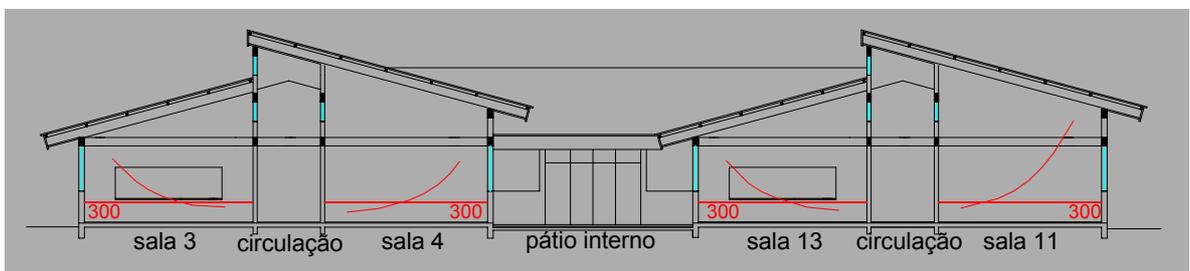


FIGURA 6.39 - SEPLAN-PMPF, *Escola Guaracy Barroso Marinho*, Passo Fundo – RS, 1993.
Iluminância interna para céu parcialmente nublado, equinócios, 10:00 h.
FONTE: desenho do autor a partir de dados de FRAME; BIRCH, 1991; STAHL, 1993.

A FIG. 6.39 representa a iluminância resultante da aplicação conjunta dos programas *ISE* e *Daylight*, a partir da marcação da iluminância de 300 lux para o plano de trabalho situado a 70cm do piso - recomendado pela NBR 5413 (ABNT, 1992, p. 4) -, mostrando que, nas condições de céu encoberto, em cerca de 50% da sala a iluminância natural é inferior à recomendada.

A priori, para ser atingida uma iluminância satisfatória em todo o ambiente, seria necessária uma área de abertura maior, o que poderia acarretar um provável desconforto causado pelo contraste entre as áreas próximas das aberturas e aquelas mais afastadas. Além disso, seria aumentada a

superfície para ganho térmico no verão e perda de calor no inverno, o que poderia resultar no uso adicional de energia para a solução desses problemas, os quais exigiriam, provavelmente, a aplicação de outras estratégias arquitetônicas.

Ainda baseando-se nos resultados do estudo de caso, são necessárias considerações relativas ao partido arquitetônico adotado. Como observado na *Escola Guaracy B. Marinho*, a dupla orientação de salas, sob a perspectiva do desempenho da iluminação natural, apresenta desafios para promover a distribuição da luz natural de maneira semelhante em ambas situações. Algumas dessas possibilidades de solução estão evidenciadas na FIG. 6.38.

Transparecem, ainda, nesta tipologia de dupla orientação, os aspectos comentados – já apresentados na FIG. 3.10 – com relação à melhor distribuição da luz natural através da localização de janelas em paredes opostas, conforme FIG. 6.40. Tal posição também pode contribuir na promoção da ventilação cruzada ideal, desde que sejam observados os aspectos pertinentes a esse tema, particularmente associados à direção dos ventos dominantes.

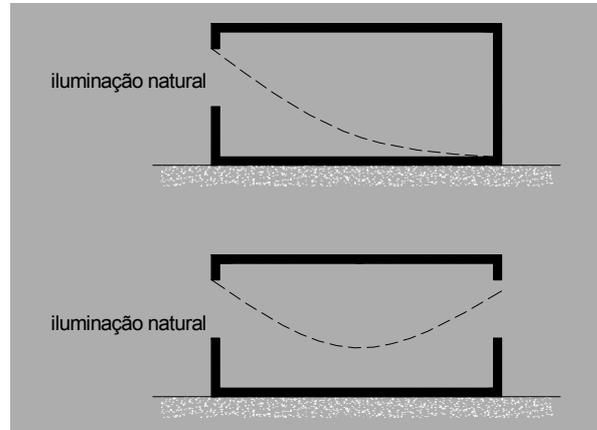


FIGURA 6.40 – Iluminação natural lateral.
a. unilateral; b. bilateral.
FONTE: adaptado de LAM, 1986, p. 67.

Nesse sentido, a avaliação das orientações apresentada neste trabalho, a qual considerou a caracterização climática de Passo Fundo, instrumentaliza a tomada das decisões de projeto mais adequadas. Com relação a esses aspectos, a implantação da *Escola Guaracy B. Marinho*, com orientação das janelas a noroeste e sudeste, deve-se admitir que não observa as recomendações, tanto quanto à exposição mais favorável à radiação solar para o condicionamento térmico (34° E) quanto aos ventos dominantes, de direção nordeste. Entretanto, esse fato não implica diferenças

representativas quanto ao desempenho da luz diurna, já que a iluminância de um plano vertical a noroeste é simétrica a nordeste, genericamente apontada como orientação ideal.

Na definição de um sistema de iluminação lateral, inclui-se, também, a avaliação relativa à iluminação zenital, de acordo com as vantagens dessa tipologia sobre a primeira. A iluminação zenital apresenta “maior uniformidade e [iluminância] média sobre a área de trabalho do que uma superfície iluminante lateral equivalente” (MASCARÒ, L., 1985, p. 110). Entretanto, quando empregada em regiões de clima subtropical, deverá observar os critérios de controle da radiação incidente, visto estarem mais expostas à radiação solar direta e receberem uma menor interferência de obstruções externas, como árvores, muros e mesmo de outras edificações. Se orientada em oposição ao Equador, a superfície fornece iluminação difusa, sem a ocorrência de ofuscamento provocado pela luz direta, ou com ganhos térmicos inadequados às estações mais quentes. Indica-se, assim, esse sistema para locais com maior profundidade e para grandes espaços contínuos, quando a iluminação lateral apresentar limitações de uso, ou como em alguns exemplos apresentados a seguir, a fim de complementar a iluminância unilateral.

A distribuição da luz natural está, ainda, relacionada à localização e tamanho da abertura. Assim, as janelas mais altas e horizontais – contínuas - propiciam uma maior penetração da luz no interior do ambiente, inclusive nas situações de abóbada celeste encoberta (LAM, 1991, p. 79). Porém, ao mesmo tempo, tais janelas estão sujeitas a favorecerem uma maior ocorrência de ofuscamento, por exporem os ambientes à porção mais iluminada do céu. Isso implica, portanto, o uso de estratégias capazes de minimizar ou evitar essa sensação de desconforto visual.

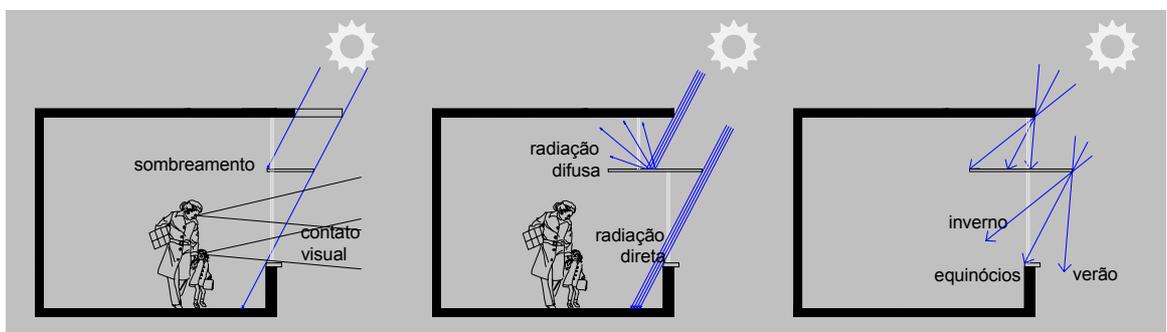


FIGURA 6.41 – Estantes de luz (*light-shelves*).
 FONTE: adaptado de LAM, 1991, p. 94;95;98.

O esquema da FIG. 6.38 apresentou alguns dispositivos capazes de contribuir para a melhoria da iluminação natural, dentre eles as estantes ou prateleiras de luz - *light-shelves* -, elementos

horizontais cujas vantagens (LAM, 1991, p. 95) residem na possibilidade de redirecionamento da luz, com um mínimo ofuscamento, promovendo, adicionalmente, o sombreamento interno, sem prejuízo ao contato visual com o exterior (FIG. 6.41). A eficiência desse sistema encontra-se na correta especificação da refletância da estante e do forro interno do ambiente, de maneira a favorecer a distribuição da luz difusa resultante das reflexões da luz nas superfícies, já abordadas.

Em estudo para avaliação de *light-shelves* em edificações escolares, Magalhães (1997, p. 306) apresenta as variáveis para dimensionamento:

A altura deve ser aquela que promove o melhor direcionamento da luz solar incidente para que seja refletida pelo teto. A profundidade será função da altura da janela e a inclinação vai depender da latitude e da orientação. Pode-se ampliar a profundidade para reduzir a iluminação próxima da janela.

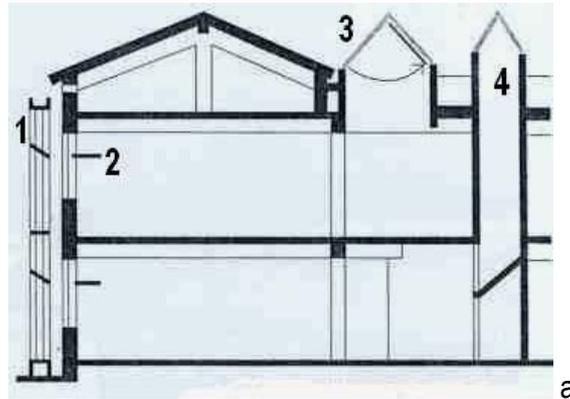
A autora sintetiza as considerações de Lam (1991, p. 95-108), as quais o presente estudo aponta como instrumento prático a ser utilizado no projeto, analisando cada situação específica.

A partir dessas considerações, passa-se a apresentar, na seqüência do trabalho, exemplos da adoção desses princípios em edificações escolares.

Na *Escola de Les Franqueses del Valles*, na Espanha (SANMARTI; SERRA FLORENÇA, [199-]), os arquitetos, acertadamente, fizeram uso de dispositivos para um melhor aproveitamento da luz diurna, já mencionados e cujo desempenho lumínico é apresentado no ANEXO E.2. Tais elementos controlam a penetração de radiação solar nas salas de aula: evitando-a nas situações de insolação inconvenientes de verão, e permitindo-a para o condicionamento solar passivo no inverno, adotando, como base de dimensionamento, as variáveis anteriormente citadas. Salientam-se, assim, os aspectos relativos à adequação desse sistema às exigências climáticas das variações sazonais, em especial dos climas compostos, como é o caso específico de Passo Fundo.

Na *Escola de Valongo do Vouga*, em Portugal, aplicaram-se princípios semelhantes de aproveitamento da luz diurna. Na escola, constituída de dois pavimentos, com salas de aulas alinhadas na orientação sul e circulação ao norte, as janelas de orientação ao Equador possuem um sistema de elementos externos e internos (FIG. 6.42.a): os externos têm como objetivo (GONÇALVES et al., 1998a, p. 55-60) o controle da radiação solar, tal como na escola espanhola, sendo esse, também, um elemento de composição das fachadas; internamente, as estantes de luz cumprem suas funções específicas, como mostram as FIG. 6.42.b e c. Observa-se, ainda, que a

presença das cortinas deve-se à necessidade de possibilitar o escurecimento do ambiente para a utilização dos recursos audiovisuais próprios da prática pedagógica, aspecto esse que apresenta outra variável à abordagem do tema.



1. proteção externa; 2. estante de luz; 3. clarabóia; 4. duto de iluminação.

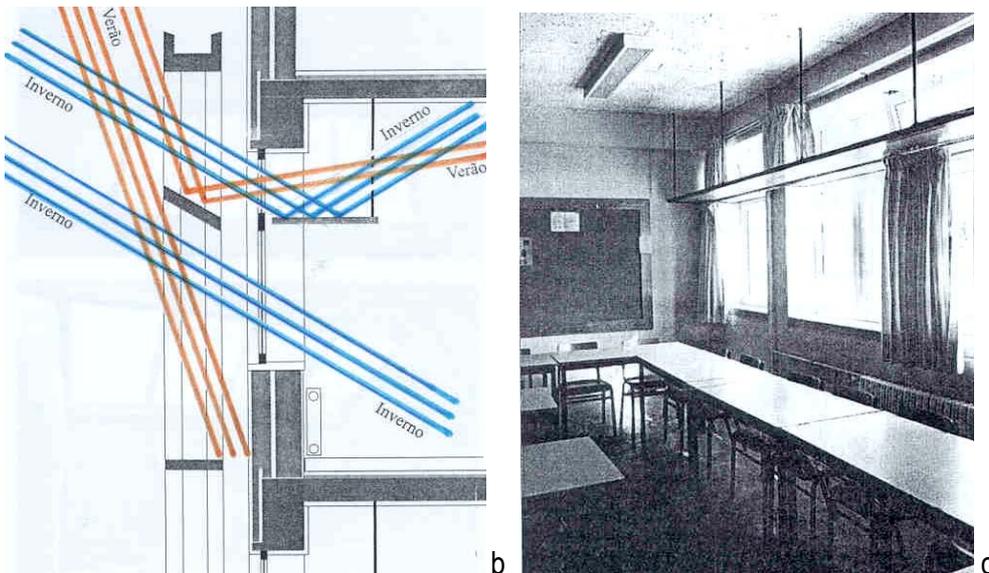


FIGURA 6.42 – J. Mateus (coord.); J. Gouveia; L. V. Cunha, *Escola de Valongo do Vouga*, Águeda, Portugal, 1993.

a. corte transversal;

b. esquema de proteção solar e estantes de luz;

c. vista interna de sala de aula.

FONTE: adaptado de GONÇALVES, 1998a, p.. 58- 59.

Para ampliar o aproveitamento da iluminação natural na referida escola, alcançando uma melhor distribuição da iluminância por meio da iluminação bilateral, os autores do projeto adotaram dispositivos adicionais, como clarabóias e dutos de iluminação, conforme mostra a FIG. 6.42.a. As clarabóias proporcionam uma iluminação direta às salas do pavimento superior. De acordo com a descrição de Gonçalves et al. (idem), o sistema de funcionamento das clarabóias permite que a radiação solar penetre no ambiente no inverno, com a reflexão da luz direta, e, por outro lado, evita

os ganhos diretos no verão, com a utilização da luz difusa de orientação oposta ao Equador, com mostram os esquemas de funcionamento apontados na FIG. 6.43.

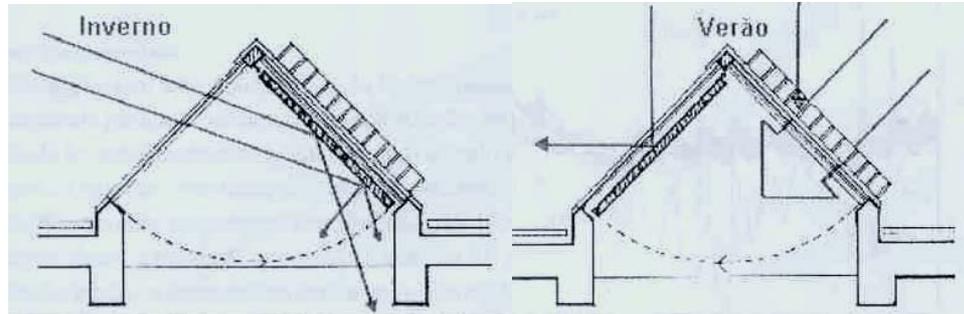


FIGURA 6.43 – J. Mateus (coord.); J. Gouveia; L. V. Cunha, *Escola de Valongo do Vouga*, Águeda, Portugal, 1993.
Esquema de funcionamento das clarabóias.
FONTE: GONÇALVES, 1998a, p. 59.

Em função da configuração espacial com salas no pavimento térreo, para a iluminação diurna suplementar à luz proveniente das janelas orientadas ao exterior foram adotados dutos de iluminação, compostos por uma clarabóia de captação localizada na cobertura. Assim, a luz, através de um sistema de espelhos, é direcionada para o ambiente inferior, estratégia que se assemelha à solução já apresentada na *Escola de Les Franqueses del Valle* (FIG. 6.44), cujo desempenho lumínico compõe o GRAF. E.3.

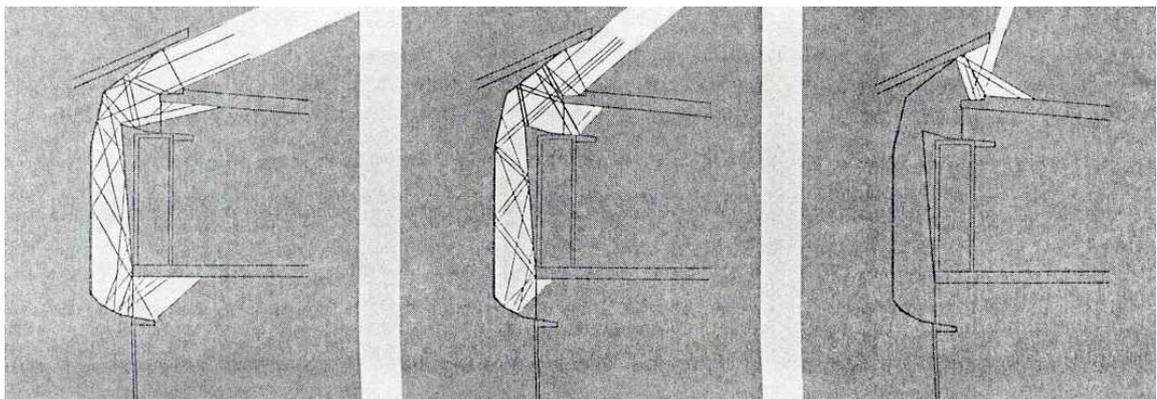


FIGURA 6.44 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Dutos de iluminação. Incidência de radiação em 21 dez. (25°), 21 mar. (47°) e 21 jun. (72°).
FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 5.

A experiência argentina do já citado LAHV-INCIHUSA, apresenta recursos alternativos de projeto para assegurar uma iluminância satisfatória em salas de aula de escolas cujo partido arquitetônico determina uma redução das possibilidades de iluminação direta às orientações favoráveis através

da utilização destes mesmos dutos de iluminação (CANDIA, 1998) empregados na *Escola de Medrano* (DE ROSA et al., 1998; DE ROSA et al., 1999), anteriormente apresentada.

O desempenho desses dispositivos relaciona-se diretamente com os conceitos construtivos, com a disponibilidade da luz diurna e com o conjunto das demais variáveis, o que representa, para a aplicação às condições locais, a necessidade de aprimoramento a partir de estudos específicos mais aprofundados.

Ainda em relação às possibilidades projetuais para a iluminação natural, a FIG. 6.38 aponta soluções para áreas onde apenas a luz lateral é insuficiente para atingir a iluminância adequada, ou mesmo para quando há impossibilidade de sua utilização, como em circulações ou em salas de aula resultantes de partido arquitetônico de dupla orientação, como já comentado anteriormente. Desta forma, as diferenças de volumes de cobertura, os chamados clerestórios, permitem o uso de aberturas diretamente para o exterior, como no esquema da figura citada, com a circulação com altura do pé-direito menor em relação às salas, resultando na orientação tanto para a radiação direta como também para a captação de luz difusa, de orientação oposta. A experiência espanhola apresentada neste trabalho explora essa estratégia de projeto.



FIGURA 6.45 – LAVH-INCIHUSA, *Escola de Lavalle*, Mendoza, Argentina, 1999.
Difusores de luz. Vista geral e detalhe.

FONTE: fotos do autor.

Na *Escola de Lavalle*, apresentada anteriormente na FIG. 6.8, foi adotada uma solução capaz de promover as condições adequadas para o condicionamento térmico passivo por ganho direto, com a

orientação da abertura ao Equador, e, simultaneamente, evitar os efeitos negativos do ofuscamento pela exposição à radiação direta. A equipe responsável pelo projeto empregou elementos difusores de luz (FIG. 6.45), constituídos de aletas verticais dimensionadas segundo os critérios de orientação e latitude mencionados quando da consideração das exigências de sombreamento dos ambientes, observando a iluminância recomendada para as tarefas visuais.



FIGURA 6.46 – LAVH-INCIHUSA, *Escola de Alto Verde*, Mendoza, Argentina, 1995.
Difusores de luz.

a. sala sem difusores – com ofuscamento;
b. sala com difusores.

FONTE: fotos do autor.

Cabe ainda mencionar outro projeto da mesma equipe do LAVH-INCIHUSA (PATTINI; KIRSCHBAUM, 1998), em que foram utilizados dispositivos difusores de luz, executados com material de baixo custo – tecido de algodão, de funcionamento regulável segundo as necessidades sazonais: a *Escola de Alto Verde* (FIG. 6.46). Nela, aliou-se a preocupação quanto ao conforto visual dos usuários à contenção de recursos financeiros, realidade inegável nos países terceiro-mundistas, como Argentina e Brasil.

6.2.2 Iluminação artificial suplementar

As dificuldades em atingir uma iluminância diurna satisfatória exclusivamente através da luz natural, tendo em vista as considerações anteriores, indicam a necessidade de adoção de um sistema de

iluminação artificial suplementar, permanente ou temporário, o qual implica na concepção de um projeto integrado, cujos critérios de abordagem apresentam validade, também, para a iluminação noturna.

Esse projeto integrado, denominado Iluminação Artificial Suplementar Permanente para Interiores – IASPI (MASCARÓ, L., 1985, p. 117), baseia-se na seleção das condições favoráveis da iluminação natural combinadas com a luz artificial, considerando a iluminância de conforto para cada tarefa visual de maneira a atender aos requisitos de equilíbrio de contraste e cores entre as áreas iluminadas pelas diferentes fontes, ou seja, permitindo a adaptação gradual do olho às distintas condições de iluminação entre as zonas mais iluminadas naturalmente e as menos iluminadas (FIG. 6.47).

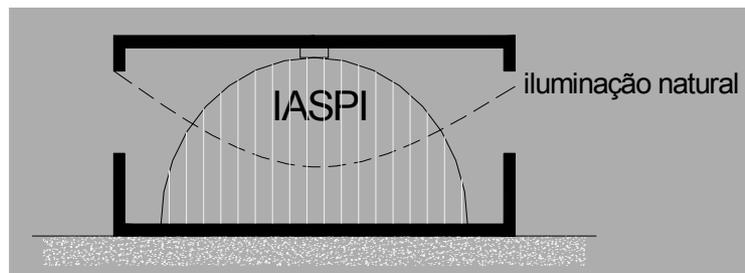


FIGURA 6.47 – Iluminação artificial suplementar.
 FONTE: adaptado de LAM, 1991, p. 182.

Segundo o *Building Research Establishment - BRECSU* (1992, p. 4), a eficiência do consumo energético, objetivo da IASPI para a iluminação de escolas e demais tipologias funcionais, depende dos seguintes aspectos:

- a. da eficiência dos componentes elétricos: lâmpadas, luminárias, reatores, etc;
- b. da penetração da luz natural nos ambientes internos;
- c. dos controles de iluminação, e, especialmente, de como se aproveita a luz diurna disponível;
- d. do monitoramento e manutenção do sistema.

A iluminação artificial caracteriza-se como de fácil implementação a partir do projeto luminotécnico. As variáveis de cálculo são inteiramente previsíveis pelo projetista, tanto em termos quantitativos,

amplamente divulgados pelos fabricantes dos componentes, como qualitativos, especialmente quanto ao fluxo luminoso - quantidade total de luz emitida por uma fonte, expressa em lumens - e ao índice de reprodução de cores (*IRC*), o qual representa a correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz (OSRAM, 2000). Nessa relação, o ideal é que a correspondência seja o mais próximo possível da percepção permitida pela luz natural, situação propícia para as atividades pedagógicas que requerem uma maior fidelidade perceptiva.

A diversidade das possibilidades tecnológicas e comerciais atualmente disponíveis apresenta, igualmente, uma variedade de opções de escolha de dispositivos de iluminação, o que permite a utilização de lâmpadas de maior eficiência luminosa, ou seja, com maior relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida (*lm/W*), conjuntamente com luminárias reflexivas e reatores com alto fator de potência, de forma a otimizar o desempenho da iluminação artificial. As variáveis relativas às superfícies que compõem o ambiente - características de refletâncias - contribuem, igualmente, para a iluminação natural no que tange à redução da potência instalada e à obtenção de um sistema de melhor desempenho lumínico.

O IES indica (1981, p. 6-7) as lâmpadas fluorescentes como as mais adequadas para o desenvolvimento das tarefas visuais típicas dos ambientes escolares, tendo em vista sua eficiência luminosa, maior *IRC*, com baixa possibilidade de ofuscamento, e, ainda, sua maior vida útil em relação às lâmpadas incandescentes. De acordo com estudo do BRECSU (1992, p. 5-6), as lâmpadas que utilizam o pó trifósforo de 26mm de diâmetro apresentam maior eficiência (88 *lm/W*, ou mesmo superior) e provocam menor distorção na reprodução de cores em relação às convencionais, de 38mm (70 *lm/W*).

O controle da utilização da luz artificial pode ser energeticamente eficiente a partir da redução do tempo de utilização, obtido com a maximização do aproveitamento da luz natural disponível, objeto de considerações anteriores específicas, através das estantes de luz e do IASPI (GRAF. 6.3). Outro recurso é o uso de sistemas automáticos de controle - sensores de ocupação, sensores fotoelétricos, de temporizadores ou *dimers* -, os quais garantem que a iluminação artificial somente será acionada quando o ambiente estiver ocupado.

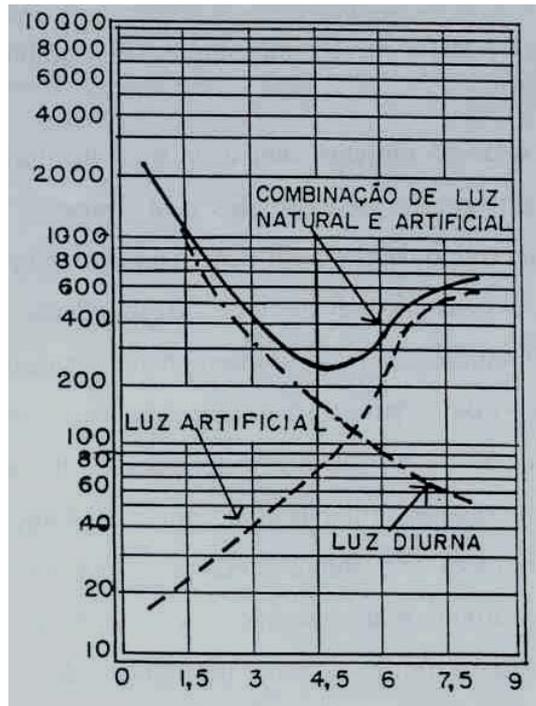


GRÁFICO 6.3 – Comparativo de desempenho da iluminação natural e artificial integradas.
 FONTE: MASCARÓ, L; MASCARÓ, J., p. 42, 1992.

Tal economia pode ser alcançada através de algumas soluções bastante simples e eficazes, sem o envolvimento de maiores custos de instalação, como a distribuição dos circuitos elétricos de acordo com a necessidade de utilização a partir da luz natural disponível - sistema de iluminação complementar -, paralelamente às aberturas, diferenciando as zonas mais próximas e mais afastadas da fonte de luz diurna com a montagem das luminárias com o eixo maior nessa mesma disposição, conforme FIG. 3.11, apresentada anteriormente.

Na *Henry Wallon*, escola localizada ao sul da França, foram utilizados interruptores com desenho que evidenciam a iluminação artificial suplementar (FIG. 6.48). Os interruptores tradicionais, localizados ao lado das portas, propiciam que as luminárias sejam acionadas mecanicamente pelo usuário, como comumente ocorre quando o sistema de iluminação foi concebido apenas para as condições noturnas. Nessa escola, os interruptores estão localizados próximos às janelas, o que leva à percepção das condições reais de iluminação natural, que possibilitam a abertura de persianas ou cortinas para aproveitamento da luz diurna, ao invés do uso constante da iluminação artificial. Essa operação atende às recomendações do BRECSU (1992), dependendo do comprometimento dos alunos e professores na conservação de energia. Essa mesma escola utilizou a iluminação complementar para o quadro-negro (FIG. 6.49), visto que essa superfície

requer a implementação de uma iluminância maior em relação ao ambiente em geral – 500 lux (ABNT, 1992, p. 3-4).



FIGURA 6.48 - Collège Henry Wallon, Martigues – França.
Desenho de interruptor para iluminação artificial suplementar.
Obs: o botão maior acende as luminárias mais afastadas das janelas.
FONTE: foto do autor.



FIGURA 6.49 - Collège Henry Wallon, Martigues – França.
Iluminação complementar para quadro-negro.
FONTE: foto do autor.

No caso das escolas inglesas convencionais, com condicionamento artificial convencional (exclusivamente ativo), cerca de 12% da energia elétrica é consumida na iluminação (BRECSU, 1992, p. 2). Porém, nas escolas brasileiras, de acordo com a ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação²⁸ (apud GHISI; LAMBERTS, 1997, p. 388), “a iluminação pode ser responsável por até 90% do consumo de eletricidade” já que, geralmente, os estabelecimentos de ensino não apresentam condicionamento artificial.

²⁸ ABILUX. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Conservar energia significa mais verbas para educação e saúde. *Jornal ABILUX*, [s.l.], ano V, n. 55, p. 3, 1995.

Estudo de *retrofiting* realizado em escola municipal de Passo Fundo, com a aplicação dos conceitos anteriormente expostos no sentido de propor soluções alternativas, com a substituição das lâmpadas fluorescentes existentes, do tipo *HO (high-output)* de alto fluxo luminoso unitário, por lâmpadas de menor potência unitária, porém com maior eficiência energética, e adicionalmente com uma melhor reprodução das cores, é apresentado na TAB 6.5, que compara ambas situações. A eficiência da situação proposta considerou a alteração da refletância do teto, originalmente de 50% - forro em madeira de acabamento em verniz incolor - para 70%, obtido por meio de pintura em cor clara. Os cálculos luminotécnicos foram obtidos com a utilização de *software* simplificado fornecido pela Itaim (1998), cujos resultados são apresentados no ANEXO H.3.

	situação existente	situação proposta
tipo de lâmpada	2 x 110 W	2 x 32 W
fluxo luminoso	7.600 lm	2.700 lm
IRC	70	80 - 89
temperatura de cor	5.000 K	4.000 K
número de luminárias	2 luminárias	6 luminárias
altura de montagem	3.00 m	3.00 m
Iluminância de serviço	314 lux	343 lux
potência instalada	440 W	384 W
densidade	10,68 W/m ²	9,3 W/m ²
eficiência luminosa	69,09 lm/W	84,37 lm/W

TABELA 6.5 - Comparativo entre soluções *retrofiting* de iluminação artificial.
 FONTE: ITAIM 1998; OSRAM, 2000; PHILIPS, 1991.

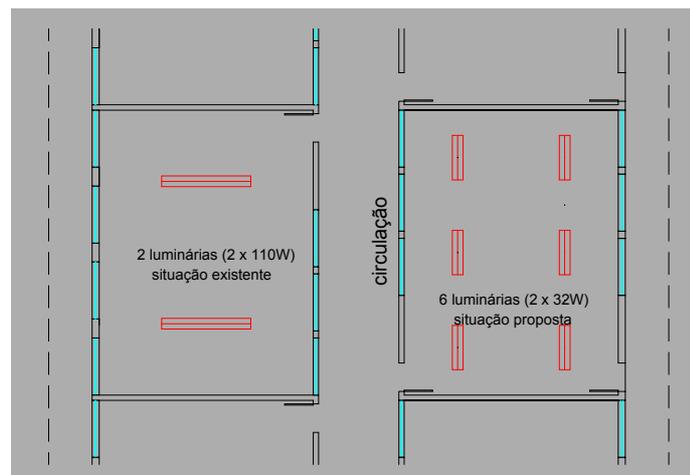


FIGURA 6.50 – *Retrofiting* de iluminação artificial: situação existente e solução proposta.
 FONTE: desenho do autor.

A partir da TAB. 6.5 e do ANEXO H.3, observa-se que o *retrofiting* proposto é capaz de economizar cerca de 13% no consumo noturno de energia e aumentar a eficiência luminosa em 22,11%. Da

mesma forma, a nova distribuição das luminárias, apresentada na FIG. 6.50, possibilita a adoção da iluminação artificial como suplemento à luz diurna natural, com a distribuição de circuitos paralelos à fonte de luz diurna, impossível de ser implementada na situação original. Assim, a iluminação no período diurno, a ser efetuada, em, no mínimo, 50% do tempo com luz natural, apresenta uma redução de consumo de 25%. Se comparado com a situação inicial, o consumo de energia elétrica para iluminação pode ser reduzido em 34,5%.

Desta forma, baseado na redução de consumo de energia elétrica para a iluminação e no aumento da eficiência luminosa alcançados através da substituição de componentes elétricos, a conservação de energia na edificação depende das ações conjuntas envolvendo as diversas variáveis que o projeto apresenta, desde o conhecimento das características e da disponibilidade dos recursos naturais e artificiais, até as estratégias projetuais e dispositivos a serem utilizados para a implementação das soluções mais adequadas a cada contexto. De acordo com Roméro (1991, p. 8), a tomada de decisões “nas etapas preliminares de criação do objeto construído, o consumo energético resultante seria cerca de 50% ou até 70%, em casos limites, mais baixos que edifícios similares”, ampliando as possibilidades de racionalização do uso de energia elétrica. Isso se torna válido, não apenas para a iluminação, como pode ser facilmente ampliado aos demais aspectos de habitabilidade abordados neste trabalho.

7 CONCLUSÕES

Como consideração inicial para a proposição de uma metodologia a ser usada na definição e análise de critérios envolvidos na elaboração de projetos de escolas para atendimento da educação infantil e do ensino fundamental, entendeu-se que o processo educacional não é apenas intelectual, de produção cognitiva, mas também afetivo, pois envolve o desenvolvimento das emoções, habilidades e potencialidades, desenvolvimento o qual é desencadeado pelo ambiente escolar.

Para a Arquitetura, especificamente, isso significa que a escola ideal será o resultado da combinação dos condicionantes didático-pedagógicos com os aspectos físicos da edificação, seguindo um planejamento de concepção global. A compatibilização das exigências para o projeto deve ter como finalidade a determinação do nível de qualidade construtiva e de habitabilidade a ser proporcionado pelo prédio da escola, cujas características espaciais, como visto, possuem reflexos nos aspectos relativos ao ensino e ao aprendizado.

Demostrou-se que a qualidade do edifício escolar deve estar relacionada, igualmente, com o entorno imediato, físico e ambiental, respondendo aos objetivos de um desenvolvimento sustentável das comunidades de inserção, no qual a arquitetura bioclimática cumpre um importante papel para a otimização do manejo dos recursos energéticos naturais, ao mesmo tempo que corresponde às exigências de habitabilidade, ao considerar, como premissa básica, os requisitos de conforto ambiental dos usuários, de maneira a compor uma envoltória agradável para o desenvolvimento das atividades educacionais, simultaneamente com a preservação do meio ambiente.

Para atingir os objetivos propostos, foram realizadas investigações sobre a temática das edificações destinadas à educação, incluindo desde os aspectos mais abrangentes, fora do campo específico da Arquitetura, como os modelos educativos, até aqueles de interesse do projeto arquitetônico

propriamente dito, como as exigências de programas de necessidades e condições de habitabilidade, não excluindo, obviamente, as questões relacionadas à composição arquitetônica – formais, volumétricas, simbólicas, etc.

Igualmente, efetuaram-se pesquisas na área mais particular dessa dissertação, ou seja, quanto à bioclimatologia e de como ocorrem as inter-relações entre o contexto ambiental e as intervenções arquitetônicas, a fim de serem definidos os parâmetros construtivos em função das exigências de conforto dos ocupantes, inseridas em condicionantes climáticos determinados, no caso particular de Passo Fundo, do clima subtropical úmido de altitude.

Também foram observadas experiências de escolas solares passivas construídas na Europa e na Argentina, escolhidas com o objetivo de permitir uma amostragem dos resultados da concepção arquitetônica de forma integrada ao clima local, quer seja por representar uma inovação (*Wallasey School* – 1961), quer seja por apresentarem uma variedade de soluções criativas e adequadas aos requisitos de habitabilidade. Considerou-se, principalmente, a viabilidade de sua adaptação às condições climáticas e culturais regionais.

Tendo sido analisados todos esses aspectos, passou-se a aplicar a análise bioclimática, previamente elaborada, observando a metodologia estabelecida por Givoni, através da carta bioclimática, a qual recebeu adaptações para as características nacionais. Obtiveram-se, dessa maneira, as recomendações de estratégias de projeto para o condicionamento dos ambientes escolares, em especial para as salas de aula, respeitando as exigências mínimas para o bem-estar dos usuários. Essas indicações foram respaldadas pela revisão bibliográfica, na qual figuraram exemplos do emprego dos diversos aspectos abordados como aquecimento, ventilação e iluminação natural, dentre outros, estabelecendo-se a sua adequação ao contexto em estudo. Já a partir da análise de estudo de caso quanto ao desempenho termo-lumínico de escolas passo-fundenses, confrontaram-se as simulações desenvolvidas com o auxílio de alguns programas computacionais com as medições efetuadas *in-situ*, de modo a complementar e verificar a aplicabilidade dos conceitos teóricos aos condicionantes climáticos locais e regionais.

Quanto à arquitetura escolar bioclimática, foi possível elaborar um panorama observando os variados elementos de abordagem. No Brasil, o tema mais abrangente da normatização da arquitetura escolar, nas diferentes esferas administrativas, revelou-se limitado quanto ao estabelecimento de critérios mínimos, sendo que a legislação específica, de maneira geral,

apresenta uma abordagem genérica e superficial da questão se comparada com as normas estrangeiras, mais precisamente as argentinas.

O mesmo foi constatado com relação à definição das características das edificações para as mais diferentes tipologias funcionais no que tange à resposta aos condicionantes ambientais: o estabelecimento de parâmetros para o desempenho térmico dos edifícios encontra-se, ainda, em fase de proposição, através de um projeto de normatização nacional, e, desta forma, ainda é passível de ajustes e complementações até a implementação.

No que diz respeito aos aspectos específicos da habitabilidade verificou-se que existem diversos trabalhos acadêmicos de pesquisadores brasileiros que estudam o aproveitamento da luz natural na iluminação de ambientes escolares, bem como a conservação da energia utilizada para a iluminação artificial. Entretanto, no que se refere ao desempenho das edificações, em especial das escolares, quanto aos aspectos termo-higrométricos, as pesquisas existentes apresentam uma limitação de aplicação ao clima subtropical, não atendendo aos requisitos específicos determinados por essa caracterização climática. Fez-se, assim, necessária a adequação a parâmetros internacionais similares.

Nesse sentido, o presente trabalho contribuiu com o estabelecimento de critérios para a elaboração de projetos de escolas bioclimáticas para a região sul do país, sistematizando-os. Observou-se que os edifícios escolares, por suas especificidades funcionais, pelo regime de ocupação e pelas condições climáticas locais, revelaram-se favoráveis à aplicação dos conceitos de condicionamento solar passivo e da possibilidade de maximização do uso da luz natural para a iluminação dos ambientes.

Através do imprescindível conhecimento das condições climáticas do meio, chegou-se à caracterização do clima de Passo Fundo, tipicamente bem definido entre períodos frios e quentes. Nesta chamada arquitetura da complexidade climática, a dificuldade implícita refere-se à tomada de decisões para uma época, sem prejuízo à outra, devendo, portanto, prevalecer a adoção de sistemas flexíveis. No entanto, o diagnóstico bioclimático para o regime de uso específico das escolas, com o período letivo entre os meses de março e dezembro, elimina, parcialmente, o rigor climático de verão, embora sejam previsíveis períodos quentes durante o intervalo de ocupação.

Os sistemas de condicionamento térmico apresentados, recomendados pela metodologia de análise climática aplicada para Passo Fundo, revelaram-se como um ponto de partida para a implementação da abordagem bioclimática, pois atualmente, embora as vantagens descritas neste estudo garantam a viabilidade de sua aplicação, gerando ambientes confortáveis e propícios ao pleno desenvolvimento dos objetivos específicos da escola, aliados à eficiência energética, as pesquisas desenvolvidas nacionalmente (para outro contexto climático que não o do sul do Brasil) não correspondem à demanda extremamente favorável. Esse fato decorre, provavelmente, do desconhecimento teórico e prático do assunto, bem como do pensamento imediatista e errôneo de que os custos de implantação dessas escolas seriam muito maiores do que os da concepção de um edifício convencional. Desconsideram-se, assim, os custos de manutenção e do consumo energético, numa visão em longo prazo, bem como a necessidade de uma inserção no contexto ambiental sustentável. A experiência argentina procurou desmistificar esses conceitos: mesmo para a implantação, os recursos de investimento de curto prazo foram similares para as concepções convencionais e para as concepções bioclimáticas.

Igualmente, a sugestão de estratégias indicadas pela carta bioclimática deve ser analisada conjuntamente com as demais exigências de projeto, tais como aspectos funcionais e econômicos, não havendo apenas uma solução correta. As soluções adequadas e viáveis dependem, sim, da habilidade do arquiteto em dar respostas aos diversos problemas, bem como do seu nível de comprometimento com a questão. Para tanto, é imprescindível o conhecimento das necessidades técnicas dos sistemas de condicionamento térmico natural e artificial e de iluminação, assim como das condições ambientais e climáticas dos locais de implantação desses sistemas. Salienta-se, mais uma vez, que a concepção bioclimática deve ser considerada como um critério não-excludente dos demais elementos do processo projetual.

Com a utilização dos princípios da arquitetura bioclimática, pôde-se concluir que os principais problemas de aplicação quanto aos aspectos térmicos encontram-se na compatibilização dos requisitos de condicionamento para os períodos frios e quentes. Os ganhos térmicos ideais para as condições de aquecimento passivo, através do aproveitamento da radiação solar para a captação, armazenagem e transmissão do calor, seja de forma direta ou indireta, por janelas, átrios ou solários, certamente exigem a adoção de estratégias de ventilação de conforto e sombreamento das superfícies coletoras para evitar o superaquecimento dos ambientes nos períodos de temperatura externa acima dos limites de conforto ou de irradiância excessiva, cujas variáveis são definidas pela carga térmica particular a cada caso.

Quanto às orientações favoráveis, observou-se que a adoção das recomendações apresentada depende da compatibilização entre as variáveis ambientais, principalmente para o uso da direção dominante de ventos com vistas à ventilação de conforto nos períodos quentes, uma vez que coincidem com a direção nos períodos frios, significando, portanto, soluções mais complexas para a edificação e o entorno imediato.

Da mesma forma, o conforto visual, com o aproveitamento da luz natural para a iluminação diurna, terá de ser compatibilizado com os ganhos e as perdas térmicas das superfícies translúcidas. A necessidade de iluminação suplementar exige a otimização do uso de energia convencional - em resposta às discussões relacionadas à conservação energética -, com a adoção de sistemas de controle e de tecnologias eficientes, passando pelo dimensionamento adequado dos dispositivos de iluminação - aberturas, clerestórios, estantes de luz, difusores, dutos de iluminação, dentre outros - e dos componentes - lâmpadas, luminárias e interruptores -, de forma a integrá-los em um sistema único.

O estudo das experiências internacionais demonstrou que a combinação entre a criatividade arquitetônica e o uso de energia solar de forma passiva abre várias possibilidades de soluções para todos os requisitos que compõem as decisões de projeto, aliando a citada qualidade construtiva à adequação aos recursos financeiros disponíveis, tornando, assim, as edificações escolares apropriadas às demandas determinadas pelo panorama social, cultural e econômico brasileiro.

Certamente, a construção de edifícios que apresentem respostas adequadas aos diversos condicionantes torna-se de grande importância para o contexto social, especialmente de países em desenvolvimento. Numa perspectiva mais abrangente, a abordagem empregada neste trabalho permite que a metodologia de análise e diagnóstico bioclimático possa ser expandida para outras tipologias funcionais, com condições ambientais distintas às de Passo Fundo, com os necessários ajustes. Evita-se, dessa maneira, a generalização de dados, sob pena de reduzir-se a eficiência dos sistemas propostos ou mesmo, em caso extremo, de inviabilizá-los.

Observou-se, nesse sentido, que um aspecto que merece receber cuidados especiais são as decisões de execução, que, pela substituição de técnicas e/ou materiais recomendados em projetos, com vistas à adequação aos recursos financeiros disponíveis, podem resultar em comprometimento do desempenho eficiente dos sistemas propostos.

Dado o exposto, conclui-se ser de capital importância a continuidade da produção científica acerca dos temas ora apresentados, de forma a complementar a legislação existente para a elaboração de projetos de escolas, bem como para estabelecer critérios e estratégias de condicionamento mais aprofundados para um zoneamento bioclimático nacional adequado às diferentes realidades climáticas brasileiras.

Sugere-se, dessa forma, que os assuntos abordados neste trabalho sejam enfocados de forma prática, visto que a sua experimentação nos edifícios construídos permitirá uma realimentação teórica a partir do monitoramento pós-ocupação. Os resultados positivos, espera-se, contribuirão para demonstrar a viabilidade técnica e econômica de edifícios escolares com eficiência energética, avançando para um futuro ideal de desenvolvimento ambiental sustentável e de satisfação das demandas para o bem-estar dos usuários, possibilitando, conseqüentemente, um incremento no desempenho escolar dos alunos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACÚSTICA: teoria básica e tratamento acústico. Disponível em: <http://members.nbc.com/_XMCA/alencar2>. Acesso em: 18 dez. 2000.

ALTERNATIVE ENERGY CORPORATION - AEC. *Daylight classroom buildings*. North Carolina, 1991.

AKUTSU, Maria et al. *Desempenho térmico de edificações habitacionais escolares: manual de procedimentos para avaliação*. São Paulo: IPT, 1987.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE, Atlanta. *ANSI/ASHRAE Standard 55 – 1992R: thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, 1992.

ARGENTINA. Ministério de Cultura y Educación de la Nación. Comisión de Arquitectura Escolar. *Criterios y normativa básica de arquitectura escolar*. Buenos Aires, 1996.

____. Dirección General de Escuelas. *Ley Federal de Educación: infraestructura*. Buenos Aires, [s.d.].

ARIZMENDI, Luís Jesús. *Tratado fundamental de acústica en la edificación*. Pamplona: Universidad de Navarra, 1980.

AROTZEGUI, J. M. *Parâmetros de conforto térmico em Porto Alegre*. Porto Alegre: UFRGS, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. *NBR 6401: instalações centrais de ar condicionado para conforto: parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, 1980.

____. *NBR 10152: níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro, 1987.

____. *NBR 5461: iluminação: terminologia*. Rio de Janeiro, 1991.

____. *NBR 5413: iluminância de interiores*. Rio de Janeiro, 1992.

____. *NBR 9050: acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências a edificações, espaço, mobiliário e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. *Projeto 02:135.07: desempenho térmico de edificações*. 1. definições, símbolos e unidades; 2. métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações 3. zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 1998.

BALCOMB, J. Douglas et al. *Performance prediction of passive solar heated buildings by the solar load ratio method*. University of California. Los Alamos Scientific Laboratory. Los Alamos - USA, [1978?]. Submitted to Passive Solar Journal.

BANHAM, Reyner. *La arquitectura del entorno bien climatizado*. Buenos Aires: Infinito, 1975.

BARDOU, Patrick; VAROUJAN, Arzoumanian. *Sol y arquitectura: tecnología y arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

BASSO, M.; FERNÁNDEZ LLANO, J.; DE ROSA, C. *Evaluación térmica y económica comparativa de crujiás de aulas en edificios escolares bioclimáticos en la Provincia de Mendoza*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Mendoza: LAHV-INCIHUSA, 2000. Texto digitado.

BASSO, Mirza et al. *Un edificio escolar energeticamente eficiente en el centro-oeste de Argentina*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Mendoza: LAHV-INCIHUSA, [s.d.]. Texto digitado.

BEYER, Paulo Otto. *Psicrometria e conforto térmico*. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 1998. Texto digitado.

BITTENCOURT, Leonardo. *Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos*. Maceió: EDUFAL, 1990.

BORELI NETO, José; ORNSTEIN, Sheila Walbe (Coord.). *O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino: o caso da grande São Paulo - avaliação técnica: primeiros resultados*. São Paulo: FAUUSP, Departamento de Tecnologia, 1993.

BRASIL. *Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996: diretrizes e bases da educação nacional*. [Brasília]: Editora do Brasil, 1996.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. The Council for Code of Practice. *Code of basic data for the design of buildings*. London: 1964. chapter I: lighting. part I. p. 19-27.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT - BRECSU. *Energy efficient lighting in schools*. Garston/Watford - UK: Commission of the European Communities, 1992.

CANANI, Vivianne A. S. *Aspectos ambientais do espaço do átrio para a região de clima subtropical úmido*. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CANDIA, R. et al. Diseño y comportamiento de un lumiducto vertical para aulas. *Revista de la Asociacion Argentina de Energía (ASADES): energías renovables y medio ambiente*, Buenos Aires, 1998.

CARVALHO, Mara I. Campos de; RUBIANO, Márcia R. Bonagamba. Organização do espaço em instituições pré-escolares. In: OLIVEIRA, Zilma Bastos (Org.). *Educação infantil: muitos olhares*. São Paulo: Cortez, 1994.

CAUDILL, Willian Wayne. *Toward better school design*. New York: Architectural Record, 1954.

CARRIER, Willis et al. *Modern air conditioning, heating and ventilating*. 3. ed.. New York: Pitman, 1959.

CENTRO DE ENERGIA SOLAR DE FLORIDA. *Formulário para calcular el area de abertura de ventana para edificios con ventilación cruzada*. [s.l.], 1983. Texto datilografado.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. [Imagem do satélite GOES]. Disponível em: <www.cptec.inpe.br/meteoimagens/setult_asc.html>. Acesso em: 20 mar. 2001.

CONSELHO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO - CEED (RS). *Indicação nº 33, de 04 de junho de 1980*: [orientações para instalação de biblioteca escolar]. Texto datilografado.

____. *Parecer nº 200, de 25 de janeiro de 1984*: normas para autorização de funcionamento de escolas e de séries do ensino de 1º grau. Texto datilografado.

____. *Resolução nº 246, de 02 de junho de 1999*: estabelece normas para a oferta de educação infantil no Sistema Estadual de Ensino. Texto datilografado.

____. Comissão de Ensino Médio e Educação Superior. *Parecer nº 580, de 05 de julho de 2000*: estabelece condições para a oferta do ensino médio no Sistema Estadual de Ensino. Texto digitado.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - CNE (BRASIL). *Parecer nº 04, de 29 de janeiro de 1998*: diretrizes curriculares nacionais para o ensino fundamental. Texto digitado.

____. Câmara de Educação Básica. *Resolução nº 01, de 07 de abril de 1999*: institui as diretrizes curriculares nacionais para a educação infantil. Texto digitado.

CORONA MARTINEZ, Alfonso. *Ensayo sobre el proyecto*. 3. ed. Buenos Aires: CP67, 1998.

____. *Anotações sobre a teoria da arquitetura nos séculos XVIII e XIX*: o problema dos elementos de arquitetura. Buenos Aires, 1986. Texto datilografado.

COSTA, Ennio Cruz da. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural*. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

CRITÉRIOS de modulação e padronização não impedem que propostas apresentem diversidade de soluções. *Projeto/design*, São Paulo, n. 236, p. 64-71, out. 1999.

CROISET, Maurice. *Humedad y temperatura en los edificios: condensaciones y confort termico de verano y de invierno*. 2. ed. Barcelona: Ed. Técnicos Asociados, 1976.

CROSBIE, Michael J. *Green architecture*. Washington: The American Institute of Architects Press/Rockport, 1994.

CUNHA, Gilberto. *O clima do Rio Grande do Sul e clima de Passo Fundo*. Passo Fundo: EMBRAPA, 1997. Texto digitado.

DE ROSA, Carlos et al. Analisis del beneficio invernal de la incorporacion de un invernadero adosado. *Revista de la Asociacion Argentina de Energía (ASADES): energías renovables y medio ambiente*, Buenos Aires, v. 1, p. 11-19, 1996.

____. *Energy efficient school buildings in central-western Argentina: an assessment of alternative typologies for the classroom tier*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Mendoza: LAHV-INCIHUSA, 2000. Texto digitado.

____. Escuela solar tecnico agraria en Mendoza. *An energy efficient secondary school project for central western Argentina*. In: ISES CONFERENCE. *Proceedings of...* Portland - Maine, 1999.

____. Un edificio escolar energeticamente eficiente en un terreno com orientacion intermedia. *Revista de la Asociacion Argentina de Energía (ASADES): avances en energías renovables y medio ambiente*, Buenos Aires, v. 2, n. 1, p. 03_1-03_4, 1998.

DUDEK, Mark. *Kindergarten architecture: space for the imagination*. London: E&FN Spon, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Trigo – CNPTrigo. Passo Fundo, RS. *Normais climatológicas 1961-1990*. Passo Fundo: EMBRAPA, 1991.

ENCONTRO NACIONAL DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES, 1., 1994, São Paulo. *Anais...* São Paulo: FDE, 1994.

ENGELHARDT, N. L.; ENGELHARDT JUNIOR, N. L.; LEGGETT, Stanton. *School planning and building handbook*. New York: F. W. Dodge, 1956.

ENSINO básico: mosaico de cultura. *Projeto*, São Paulo, n. 184, p. 61-73, abr. 1995.

ESCOLA: construindo o ensino. *Projeto*, São Paulo, n. 172, p. 36-59, mar. 1994.

ESCOLAS: arquitetura da pedagogia. *AU*, São Paulo, n. 62, p. 48-54, out./nov. 1995.

ESPAÑA. Ministério de Educación y Ciencia. Secretaria General Técnica. *Estudios sobre construcciones escolares*. Madrid, 1975.

ESTEVEZ, Alfredo. *Calculo de la fraccion de ahorro solar anual*. Laboratorio del Ambiente Humano y Vivienda. Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Mendoza: LAHV-INCIHUSA, [s.d.]. Texto digitado.

ESTEVEES, Alfredo. [Programas gwbasic para obtenção de dados climáticos]: *altsol.bas; gradia.bas; gradenf.bas; hottel.bas; ingdat.bas, pass.fas* e outros. Laboratorio del Ambiente Humano y Vivienda. Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Mendoza: LAHV-INCIHUSA, 1990. Softwares.

ESTEVEES, Alfredo; DE ROSA, Carlos. A simple method for correcting the solar radiation readings of a Robitzsch-type pyramometer. *Solar Energy*, [USA], v. 42, n. 1, p. 9-13, 1989.

EVANS, Barrie. Energy lessons from school. *The Architect's Journal*, London, p. 42-44, 20 apr. 1995.

EXPLORANDO as opções da racionalização construtiva com imaginação arquitetônica e qualidade pedagógica. *Projeto/design*, São Paulo, n. 200, p. 40-67, set. 1996.

FAGUNDES, Mário Calvet. *Passo Fundo: estudo geográfico do Município*. Instituto Gaúcho de Reforma Agrária, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 1962.

FAWCETT, Peter A. *Arquitectura: curso básico de proyectos*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

FERREIRA, Avany de Francisco et al. *Arquitetura escolar paulista: restauro*. São Paulo: FDE, 1998.

FERREIRA, Avany de F.; MELLO, Mirela Geiger. Escolas paulistas: a introdução da modernidade nos anos 30. *Projeto*, São Paulo, n. 179, p. 91-95, out. 1994.

FITZROY, Dariel; REID, Jonh Lyon. *Acoustical environment of school buildings*. New York: Educational Facilities Laboratories, 1963.

FORNEIRO, Lina Iglesias. A organização dos espaços na educação infantil. In: ZABALZA, Miguel A.. *Qualidade em educação infantil*. Porto Alegre: Artmed, 1998. p. 229-280.

FRAME, Ian; BIRCH, Sheila. *Daylight*. Construction Systems Developmnet Group at Anglia Polytechnic. Department of the Built Environment. Versão 4.1, 1991. Software.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. *Planejamento ambiental para a cidade sustentável*. São Paulo: Annablume/FAPESP, 2000.

FRANÇA. Ministère de l'Éducation. Syndicat National du Béton Armé et des Techniques Industrialisées par les Éditions Conseils. *Colleges et lycées: systemes construtif 1980 acceptés* por le Ministère de l'Éducation. Paris: France Ministère de l'Éducation, 1979.

FRAMPTON, Kenneth. *História crítica da arquitetura moderna*. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

FREIRE, Márcia Rebouças. *Iluminação natural em salas de aula: o caso das escolas FAEC em Salvador*. Porto Alegre: UFRGS, 1996. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. *Manual de conforto térmico*. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GADOTTI, Moacir. *História das idéias pedagógicas*. São Paulo: Ática, 1995.

GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. Avaliação do potencial de conservação de energia elétrica através de estudo de retrofit no sistema de iluminação da Universidade Federal de Santa Catarina. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: FAUFBA/LACAM/ANTAC, 1997. p. 387-392.

GIVONI, Baruch. Confort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Building*, Lausanne, v. 18, p.11-23, jul. 1992.

____. *Man, climate and architecture*. London: Elsevier, 1969.

GODFREY, J. A.; CLEARY, Castle. *School design and construction*. London: Architectural Press, 1953.

GONÇALVES, Helder et al. *Edifícios solares passivos em Portugal*. Lisboa: LNETI, 1998.

____. Passive solar buildings in Portugal: experiences in the last 20 years. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE - PLEA: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CITIES, Lisboa, 1998. *Proceedings of...* London: James & James, p. 229-232, 1998.

GONÇALVES, Hélio de O. *O sol nos edifícios*. Rio de Janeiro: Lemos, 1957.

GÖSSEL, Peter; LEUTHÄUSER, Gabriele. *Arquitectura del siglo XX*. Köln: Taschen, 1997.

GREAT BRITAIN. Department for Education, Architects and Building Division - DFE. Passive solar schools: a design guide. *Building Bulletin*, London, n. 79, 1994.

HAWKES, Dean. Energy revisit Wallasey school: pioneer of solar design. *The Architect's Journal*, London, p. 55-59, may 1987.

____. *The environmental tradition: studies in the architecture of environment*. London: E&FN Spon, 1996.

HERNANDEZ, Antonio. J.N.L. Durand's architectural theory: a study in the history of rational building design. *Perspecta*, [s.l.], n. 12, p. 153-160, 1969.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA - IES. *IES lighting handbook: 1981 application volume*. New York, 1981. section 6, p. 6_1 – 6_13.

INSTITUT DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA – ITeC. *NRE-AT-87: norma reglamentària d'edificació sobre aïllament tèrmic*. 6. ed.. Barcelona: ITeC, 1999.

IZARD, Jean-Louis; GUYOT, Alain. *Arquitectura bioclimática: tecnologia y arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

ITAIM. *Catálogo Itaim*. 1998. Versão 2.0. Software. Disponível em: <<http://www.itaim.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 1999.

JAEGER, Falk. Scuola Heinz Galinski a Berlino. *Revista Domus*, Rozzano, Itália, n. 780, p. 16-25, mar. 1996.

KENNEDY, Margrit. *Construcción de escuelas de la comunidad: análisis de diversas experiências*. Paris: UNESCO, 1980.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: Paraninfo, 1977.

KNUDSEN, Vern O.; HARRIS, Cyril M. *Acoustical design in architecture*. 3. ed. New York: John Wiley, 1953.

LAM, William M. C. *Sunlight as formgiver for architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LAMBERTS, Roberto et al. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997.

_____. _____. [s.d.]. 1 CD-ROM. Windows versão 95/98.

LOPEZ, Frank G. (Introdução). *Schools for the new needs: educational social economic*. [New York]: Architectural Record, 1956.

LYLE, John Tillman. *Regenerative design for sustainable development*. New York: John Wiley, 1994.

LUMINI. *Catálogo eletrônico*. Lumini Equipamentos de iluminação. [s.d.]. 1 CD-ROM.

MACADAR, Raul. Projeto arquitetônico para a escola construtivista. *Paixão de aprender*, Porto Alegre, n. 4: o espaço do construtivismo, p. 4-13, set. 1992.

MAGALHÃES, Maria Amália A. de Almeida. O projeto de iluminação natural: edificações escolares. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: FAUFBA, LACAM, ANTAC, 1997. p. 305-308.

MAHFUZ, Edson da Cunha. Composição e caráter e a arquitetura no fim do milênio. *Projeto/Design*, São Paulo, n. 195, p. 98-101, abr. 1996.

_____. *Ensaio sobre a razão compositiva*. Viçosa-MG: UFV/AP, 1995.

MARTÍ ARÍS, Carlos. *Las variaciones de la identidad: ensayo sobre el tipo en arquitectura*. Barcelona: Serbal, 1993.

MARTINS, Onilza Borges; SÁ, Ricardo Antunes de. Políticas e fundamentos da educação à distância. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Núcleo de Educação à Distância. *A educação a distância na Universidade Federal do Paraná – novos cenários e novos caminhos*. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

MASCARÓ, Juan Luis. *O custo das decisões arquitetônicas*. Porto Alegre: Sagra/Luzzatto, 1998.

MASCARÓ, Lúcia R. de. *Ambiência urbana*. Porto Alegre: Sagra, 1996.

_____. *Energia na edificação: estratégias para minimizar seu consumo*. São Paulo: Projeto, 1985.

MASCARÓ, Lúcia R. de. *Luz, clima e arquitetura*. São Paulo: Nobel, 1983.

MASCARÓ, Lúcia R. de; MASCARÓ, Juan Luis. A arquitetura bioclimática no Brasil. In: MEETING BRAZIL – C. E. C. ON SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES, 1., 1989, Rio de Janeiro. *Proceedings*...Rome: Life, 1990. p. 250-268.

_____. *Uso racional de energia elétrica em edificação: iluminação*. 2. ed. rev. São Paulo: ABILUX, 1992.

MONTANER, Josep Maria. La tercera generación. *El Croquis*, Madrid, n. 35, p. 6-28, ago./set. 1988.

MOORE, F. *Concepts and practice of architectural lighting*. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MORAVÁNSZKY, Ákos. Scuola nel bosco, Visegrád, Ungheria. *Revista Domus*, Rozzano, n. 795, p.22-27, lug./ago. 1997.

MÜZELL, Maria Virgínia Dias. *Três edifícios, três ambiências no clima composto de Porto Alegre*. Porto Alegre: UFRGS, 1996. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996. p. 18-43.

NEVES, Gervásio R. *Passo Fundo: sítio urbano - análises para elaboração do plano diretor de desenvolvimento urbano*. Passo Fundo: Município de Passo Fundo, 1979.

NISSSEN, Henrik. *Construcción industrializada e diseño modular*. Madrid: H. Blume, 1976.

OLGYAY, Victor. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, Nildo Carlos. Evolução e flexibilidade da arquitetura escolar. In: SÃO PAULO (Estado). Fundação para o Desenvolvimento da Educação – FDE. *Arquitetura escolar e política educacional*. São Paulo: FDE, 1998.

ORNSTEIN, Sheila. *Avaliação pós-ocupação do ambiente construído*. São Paulo: Studio Nobel, 1992.

OSRAM. *Catálogo geral 2000*. São Paulo, 2000.

PAIVA, Edvaldo et al. *Passo Fundo: plano diretor 1953*. Reimpressão. Passo Fundo: Aldeia Sul, 2000.

PARANÁ. Fundação Educacional do Estado do Paraná - FUNDEPAR. *Normas para escolha e aquisição de terrenos destinados a construção de prédios escolares*. Curitiba, 1970.

_____. *Recomendações básicas para implantação de unidades escolares*. Curitiba, 1987.

PASSO FUNDO. Prefeitura Municipal. *Código de obras e edificações do Município de Passo Fundo*. Passo Fundo, 1996.

PATTINI, Andrea; KIRSCHBAUM, Carlos. Evaluación subjetiva de aulas iluminadas com luz natural. *Revista de la Asociación Argentina de Energía (ASADES): avances en energías renovables y medio ambiente*, Buenos Aires, v. 2, n. 1, p. 03.63-03.66, 1998.

PETERS, Paulhans. *Escuelas y centros escolares*. Barcelona: Gustavo Gili, 1974.

PEVSNER, Nikolaus. *Los orígenes de la arquitectura moderna y del diseño*. Barcelona: Gustavo Gili, 1978.

PIETROBON, Cláudio Emanuel. *Luz e calor no ambiente construído escolar e o sombreamento arbóreo: conflito ou compromisso com a conservação de energia?* Florianópolis: UFSC, 1999. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção), Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. v. 1. Disponível em: <www.labee.ufsc.br/pos_graduacao.html/tese_pietrobon.zip> Acesso em: 02 set. 2001.

PHILIPS. *Philips iluminação: informação de produto*. São Paulo, 1991.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Educação. Ciclos de formação: proposta político-pedagógica da escola cidadã. *Cadernos Pedagógicos*, Porto Alegre, n. 9, dez. 1996.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Educação. Departamento Administrativo. Divisão de Obras Escolares. *Manual de orientações técnicas*. Porto Alegre, 2000. Texto digitado.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Educação e Cultura. Unidade de Assessoramento Municipal. *Instruções para indicação e reserva de terrenos destinados às construções escolares de 1º e 2º graus*. Porto Alegre: CORAG, 1977.

RIVERO, Roberto. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: DC Luzzatto/ Ed. da Universidade - UFRGS, 1985.

ROCHA, Ana Luiza Carvalho. Novo espaço físico para um novo espaço pedagógico. *Paixão de aprender*, Porto Alegre, n. 4: o espaço físico do construtivismo, p. 14-21, set. 1992.

ROGERS, Tyler Stewart. *Thermal design of buidings: a guide to economically sound thermal design of heated, air conditioned, or refrigerated buildings for use by architects, homebuilders, and building owners during preliminary design stages*. New York: J. Wiley, 1964.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade. A conservação de energia e o projeto de arquitetura: uma análise geral. *Sinopses*, São Paulo, n. 16, p. 5-9, dez.1991.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: Projeto, 1988.

ROZIZ, M. *Luz do sol: radiação solar e iluminação natural*. São Carlos – SP, 1995. Versão 1.1. Software.

ROSSO, Teodoro. *Teoria e prática da coordenação modular*. São Paulo: USP, 1976.

ROTH, Alfred. *The new school*. Zurich: Girsberger, 1957.

RUANO, Miguel. *Ecourbanismo: entornos humanos sostenibles, 60 proyectos*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

SANMARTI, J.; SERRA FLORENSA, Rafael. Elementary school for 640 pupils. Comission of the European Communities. Directorate-General for Science, Research and Development. *Building 2000*, Doldrecht, issue 2: elementary school, [199-].

SANOFF, Henry. *School design*. New York: J. Wiley, 1994.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Construções Escolares - CONESP. *Manual para construções escolares de 1º grau*. São Paulo: CONESP, 1977. 7 v. v. 2: Dimensionamento modular e especificações de ambientes. v. 7: Diretrizes gerais para projetos.

SÃO PAULO (Estado). Fundação para o Desenvolvimento da Educação – FDE. *Arquitetura escolar e política educacional*. São Paulo: FDE, 1998.

SARAIVA, Jorge Gil. *Os edifícios e utilização racional de energia*. In: SEMINÁRIO OS EDIFÍCIOS E A TÉRMICA. Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Departamento de Energias Renováveis. Lisboa: LNETI, 1991.

SARAIVA, Jorge Gil et al. Some particular features of Crato school building. In: EUROPEAN CONFERENCE ON ARCHITECTURE, 3., Florence, 1993. *Proceedings of ...* Bedford: H. S. Stephens & Associates, 1993.

SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

_____. *CLA clima, lugar y arquitectura*. manual de diseño bioclimático. [Barcelona]: CIEMAT/Ministerio de Industria y Energia, 1989. Software.

SCHMID, Aloísio. *Qualidade do ar no ambiente construído – notas para a disciplina de conforto ambiental*. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000. Texto digitado.

SILVA, Pérides. *Acústica arquitetônica & condicionamento de ar*. 3. ed. atual. Belo Horizonte: EDTAL, 1997.

SOLÁ-MORALES, Ignasi de. *Para una teoria de la arquitectura en la sociedad industrial: los Entretiens sur l'architecture de Viollet-le-Duc*. Texto datilografado.

STAATEN, J. F. van. *Thermal confort in buildings*. Essex: Elsevier, 1982.

STAHL, Luiz Antônio L. *ISE: estimativa de irradiância e iluminância em superfícies exteriores para abóbada celeste clara, parcialmente nublada e encoberta*. Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. Porto Alegre, 1993. Versão 2.5. Software.

SUMMERSON, John. *Viollet-le-Duc and the rational point of view*. In: HEAVENLY MANSIONS AND OTHER ESSAYS ON ARCHITECTURE. London: WW Norton, 1963.

SZOKOLAY, Steven V. *Arquitectura solar*. realización y proyectos a escala mundial. Madrid: Blume, 1983.

TOLEDO, Eustáquio. *Ventilação natural das habitações*. Maceió: Edufal, 1999.

THRELKELD, James L. *Thermal environmental engineering*. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1970. v.1.

TREWARTHA, Glenn. *An introduction to climate*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1954.

UBER, Lilian Lütz. *A climatologia aplicada ao ambiente construído: uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre/RS*. Porto Alegre: UFRGS, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo de Orientação a Edificação, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS - HABITAT. *National design handbook*. prototype on passive solar heating and natural cooling of buildings. Nairobi, 1990.

VIÑAO FRAGO, Antonio; ESCOLANO, Augustín. *Currículo, espaço e subjetividade: a arquitetura como programa*. Rio de Janeiro: DP&A, 1998.

WESTON, Richard. *Schools of thought: Hampshire architecture 1974-1991*. Winchester - UK: Hampshire County Council, 1991.

YANNAS, Simos. Environmental sustainability and architectural design: educational buildings in Europe. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC, 3., 1995, Gramado, RS. ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 1995, Gramado, RS. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 1995. p. 49-69.

_____. *Solar energy and housing design*. London: Architectural Association, 1994. v. 1: principles, objectives, guidelines.

ZERO HORA. *Colégio Província de São Pedro*. Porto Alegre, informativo especial, 25 out. 2000.

ZERO HORA. Porto Alegre, p. 48, 18 ago. 1997.

ANEXO A.1 Pré-dimensionamento das dependências

dependência	área (m ²)	observações
SALAS DE AULA	1,20 por aluno	verificar Anexo A.2
BIBLIOTECA		área mínima igual a uma sala de aula e no máximo o dobro
LABORATÓRIO	42,00 a 48,00	
SALA DE PRÉ-ESCOLA	50,00	com 02 sanitários; dimensionamento segundo faixa etária
SALA DE ATIVIDADES MÚLTIPLAS	1,20 por aluno	
SALA DE INFORMÁTICA	4,00 por computador	área para professor não incluída
SALA DE TÉCNICAS	42,00 a 48,00	
SALA DE CLASSE ESPECIAL	42,00 a 48,00	com sanitário
AUDIOVISUAL	42,00 a 48,00	
COZINHA	25,00	variável de acordo com a distribuição dos equipamentos
REFEITÓRIO	42,00	para 01 turma (35 alunos) - para escolas a partir de 08 salas de aula
	72,00	capacidade máxima para 02 turmas (70 alunos)
DESPENSA	12,50	aproximadamente metade da área da cozinha
ÁREA DE SERVIÇO	12,50	aproximadamente metade da área da cozinha
SANITÁRIOS		proporção de 01 vaso sanitário e 01 lavatório para cada 30 alunos
		01 conjunto de vaso sanitário e lavatório para cada grupo de 20 professores
		01 conjunto de vaso sanitário e lavatório a partir de 05 funcionários
SALA DE DIREÇÃO	12,00	
SECRETARIA	20,00 a 30,00	
SALA DE PROFESSORES	20,00 a 40,00	
SERVIÇO DE ORIENTAÇÃO EDUCACIONAL	9,00	
SERVIÇO DE SUPERVISÃO ESCOLAR	9,00	
GABINETE MÉDICO OU ODONTOLÓGICO	12,00	
ALMOXARIFADO	5,00	
ÁREA PARA RECREAÇÃO		2,50 por aluno/turno. Área mínima de duas vezes a soma das salas de aula
ÁREA PARA RECREAÇÃO COBERTA		1/3 da soma das áreas de salas de aula
RAMPAS		acesso mínimo a 01 sala de aula e às dependências de uso comum aos alunos

TABELA A.1 - Pré-dimensionamento das dependências de escolas.
 FONTE: RIO GRANDE DO SUL, 2000; CEED, 1999; PASSO FUNDO, 1996.

ANEXO A.2 Dimensionamento de salas de aula

dimensões: largura x comprimento (m)	área (m ²)	nº de alunos	séries
		20	Educação Infantil 4-6 anos
5,40 x 7,50	40,50	30	Ensino Fundamental - 1ª à 4ª séries
6,60 x 7,50	49,50	36	Ensino Fundamental - 5ª à 8ª séries
6,60 x 8,50	56,10	42	Ensino Médio
6,60 x 9,50	62,70	48	Ensino Médio
7,80 x 8,50	66,30	49	Ensino Médio

Obs.: Ao cada aluno corresponde espaço de 1,20 x 1,00 m, considerando o mobiliário tradicional: carteira e cadeira escolar, ao professor o espaço de 1,50 m, em toda a dimensão da largura da sala.

TABELA A.2 - Dimensionamento de salas de aula e número ideal de alunos.

FONTE: RIO GRANDE DO SUL, 2000; CEED, 1999.

ANEXO B DADOS CLIMÁTICOS DE PASSO FUNDO - RS

ANEXO B.1 Vista aérea de Passo Fundo – RS



FIGURA B.1 – Passo Fundo – RS. Vista aérea (direção NE/SO).
FONTE: CZAMANZKI, 1997.

ANEXO B.2 Normais Climatológicas de Passo Fundo - RS

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Pressão atmosférica (mb)	934,8	935,6	936,7	938,2	939,2	939,9	940,4	939,3	938,7	936,9	935,1	934,4	937,40
Temperatura média(°C)	22,1	21,9	20,6	17,6	14,3	12,7	12,8	14,0	14,8	17,7	19,8	21,5	17,50
Temperatura máxima(°C)	28,3	28,0	26,7	23,7	20,7	18,4	18,5	19,9	21,2	23,8	26,0	27,8	23,60
Temperatura mínima(°C)	17,5	17,5	16,3	13,5	10,9	8,9	8,9	9,9	11,0	12,9	14,8	16,4	13,20
Temperatura máx. absoluta(°C)	35,6	35,7	34,2	33,1	30,6	27,2	28,4	31,4	33,0	34,5	38,3	37,1	38,30
Temperatura mín. absoluta(°C)	9,5	7,2	5,1	1,6	-1,4	-2,5	-3,8	-2,9	-0,9	2,8	4,0	6,5	(3,80)
Precipitação total (mm)	143,4	148,3	121,3	118,2	131,3	129,4	153,4	165,7	206,8	167,1	141,4	161,5	1.787,80
Precip. altura máx.24h (mm)	86,8	161,1	97,2	164,6	144,1	78,4	104,3	112,0	144,4	103,7	84,1	111,3	164,60
Evaporação total (mm)	127,2	104,2	106,9	95,3	86,2	78,5	92,5	100,3	106,7	126,5	141,7	153,5	1.319,50
Umidade relativa(%)	71	74	75	74	75	76	75	73	72	69	67	67	72,00
Ventos (direção dominante)	NE												
Vento - velocidade média (m/s)	4,1	3,9	3,8	4,0	3,9	4,2	4,7	4,4	4,7	4,5	4,3	4,2	4,20
Radiação solar global (MJ/m².dia)	21,44	19,97	16,92	13,7	11,11	9,32	9,84	11,53	13,81	17,74	20,47	22,35	15,69
Insolação (h)	238,8	208,1	207,0	185,2	181,1	153,7	162,6	161,1	154,9	202,3	220,6	254,2	2.329,60
Média da insolação diária (h)	13,34	12,57	12,08	11,18	10,36	10,14	10,23	10,59	11,47	12,37	13,21	13,45	11,58
Insolação (% de h possíveis) ¹	0,642	0,619	0,556	0,514	0,487	0,427	0,437	0,433	0,430	0,544	0,613	0,683	0,53
Nebulosidade (0-10)	5,2	5,3	4,9	4,7	4,7	5,2	5,1	5,4	5,9	5,4	5,3	5,0	5,20
Fator de transparência ¹	0,5545	0,5512	0,5029	0,4740	0,4615	0,4525	0,4543	0,4638	0,4802	0,5229	0,5485	0,5573	0,51

TABELA B.1 - Normais Climatológicas de Passo Fundo-RS, 28°15' S, 52°24' W, altitude 687 m.1961/1990.

FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

ano letivo

¹ Dados calculados a partir de COSTA, 1982. p.218-219.

ANEXO B.3 Horas de frio em Passo Fundo - RS

meses	Temperatura inferiores à 7°C				Temperatura inferiores à 10°C			
	horas de frio			dias	horas de frio			dias
	mín.	máx.	média	frios	mín.	máx.	média	frios
jan	0	0	0	0	0	0	0	0
fev	0	0	0	0	0	6	1	0,04
mar	0	8	1	0,04	0	39	4	0,17
abr	0	21	5	0,21	0	68	29	1,21
mai	0	116	51	2,13	8	234	126	5,25
jun	33	217	116	4,83	88	415	230	9,58
jul	15	218	123	5,13	109	359	251	10,46
ago	1	158	69	2,88	48	299	171	7,13
set	2	81	47	1,96	66	236	137	5,71
out	0	24	10	0,42	2	67	43	1,79
nov	0	10	1	0,04	0	43	11	0,46
dez	0	0	0	0	0	12	2	0,08
ano	214	554	422	17,58	719	1260	1000	41,67

TABELA B.2 - Horas de frio mensais

	inferiores à 7°C			inferiores à 10°C		
	mín.	máx.	média	mín.	máx.	média
verão	0	8	1	0	45	5
outono	28	273	142	171	449	317
inverno	125	353	258	360	770	587
primavera	2	70	23	39	163	92
maio-agosto	186	494	358	522	954	774
maio-setembro	205	542	405	629	1190	911
ano	214	554	122	719	1260	1000

TABELA B.3 - Horas de frio por períodos

FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

ANEXO B.4 Características do vento

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
velocidade	28,0	27,2	26,5	31,0	34,1	28,7	40,0	24,8	41,3	38,8	39,0	27,2
direção	N	NE	NE	N	S	N	NE	E	E	S	SE	E

TABELA B.4 - Velocidade máxima (m/s) e direção.

ano	calmo	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	dias
1976	58	307	96	180	69	124	60	121	83	366
1977	2	189	216	74	101	75	92	78	268	365
1978	6	302	131	163	91	110	76	80	136	365
1979	3	331	136	241	69	107	60	83	65	365
1980	3	323	170	129	103	77	83	71	139	366
1981	1	326	140	152	96	70	94	74	142	365
1982	2	337	155	143	110	75	60	69	144	365
1983	0	307	137	154	108	61	91	72	165	365
1984	2	278	107	154	87	64	110	94	202	366
1985	2	222	141	129	89	83	80	84	265	365
1986	6	252	183	123	99	61	90	98	183	365
1987	9	244	113	133	121	103	94	95	183	365
1988	14	315	122	200	103	86	64	85	109	366
1989	13	296	133	135	122	85	67	65	179	365
1990	89	301	117	112	105	88	62	97	124	365
soma	210	4330	2097	2222	1473	1269	1183	1266	2387	5479
média	14	289	140	148	98	85	79	84	159	

TABELA B.5 - Direções do vento.1976/1990.

FONTE: dados da EMBRAPA, 1991. Elaborado pelo autor.

ANEXO B.5 Dados climáticos de Passo Fundo - RS

		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Radiação solar direta (MJ/dia)	HDIR	21,44	19,97	16,92	13,74	11,11	9,32	9,84	11,53	13,81	17,74	20,47	22,35	15,69
Radiação solar difusa (MJ/dia)	HDIF	9,79	8,75	7,27	5,59	4,27	3,64	3,89	4,90	6,39	8,12	9,44	10,06	6,84
Radiação total céu claro (MJ/dia)	HGCC	30,02	27,64	23,77	18,75	14,46	12,45	13,27	16,76	21,62	26,21	29,28	30,48	22,10
Temperatura máx. absoluta(°C)	TMAA	35,60	35,70	34,20	33,10	30,60	27,20	28,40	31,40	33,00	34,50	38,30	37,10	38,30
Temperatura máxima média(°C)	TMAM	28,30	28,00	26,70	23,70	20,70	18,40	18,50	19,90	21,20	23,80	26,00	27,80	23,60
Temperatura média (°C)	TM	22,10	21,90	20,60	17,60	14,30	12,70	12,80	14,00	14,80	17,70	19,80	21,50	17,50
Temperatura mínima média (°C)	TMIM	17,50	17,50	16,30	13,50	10,90	8,90	8,90	9,90	11,00	12,90	14,80	16,40	13,20
Temperatura mín. absoluta(°C)	TMIA	9,50	7,20	5,10	1,60	-1,40	-2,50	-3,80	-2,90	-0,90	2,80	4,00	6,50	-3,80
Umidade relativa(%)	HREL	71,00	74,00	75,00	74,00	75,00	76,00	75,00	73,00	72,00	69,00	67,00	67,00	72,00
Heliofania relativa (%)	HERL	64,20	61,90	55,60	51,40	48,70	42,70	43,70	43,30	43,00	54,40	61,30	68,30	53,20
Índice de claridade (KT)	KT	50,50	50,90	49,40	49,60	50,20	47,90	47,90	45,90	44,00	47,50	49,40	51,90	48,80
Precipitação média (mm)	PREC	143,40	148,30	121,30	118,20	131,30	129,40	153,40	165,70	206,80	167,10	141,40	161,50	1787,80
Grau-dia aquecimento - base 18°C	GD18	5,00	4,00	14,00	52,00	126,00	164,00	167,00	134,00	109,00	53,00	20,00	8,00	857,00
Grau-dia aquecimento - base 16°C	GD16	1,00	1,00	4,00	24,00	81,00	113,00	115,00	87,00	68,00	25,00	7,00	2,00	529,00
Grau-dia aquecimento - base 14°C	GD14	0,00	0,00	1,00	9,00	48,00	72,00	73,00	52,00	38,00	9,00	2,00	1,00	306,00
Grau-dia resfriamento - base 23°C	GE23	30,00	23,00	15,00	3,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	4,00	10,00	23,00	112,00
Velocidade do vento (km/h)	VELV	14,76	14,04	13,68	14,40	14,04	15,12	16,92	15,84	16,92	16,20	15,48	15,12	15,21
Direção do vento mais frequente	DIRV	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Nebulosidade média (0-8)	NUBM	4,20	4,20	3,90	3,80	3,80	4,20	4,10	4,30	4,70	4,30	4,20	4,00	4,20

TABELA B.6 - Dados climáticos de Passo Fundo-RS, 28°15' S, 52°24' W, altitude 687 m.

FONTE: ESTEVES, 1990. Elaborado pelo autor.

[] ano letivo

ANEXO C.1 Quadros de Mahoney

TEMPERATURA(°C)		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
máximas médias mensais		28,3	28,0	26,7	23,7	20,7	18,4	18,5	19,9	21,2	23,8	26,0	27,8
BEM-ESTAR PELO DIA	máximo	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	28,0	28,0	28,0
	mínimo	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0
mínimas médias mensais		17,5	17,5	16,3	13,5	10,9	8,9	8,9	9,9	11,0	12,9	14,8	16,4
BEM-ESTAR PELA NOITE	máximo	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0
	mínimo	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
RIGOR TÉRMICO	dia	C	C	C	O	O	F	F	F	O	O	O	O
	noite	O	O	O	F	F	F	F	F	F	F	O	O

C Calor
 O Conforto
 F Frio

TABELA C.1 - Diagnose do rigor térmico.

FONTE: dados da EMBRAPA, 1991; MASCARÓ, L., 1983, p. 165-182. Elaborado pelo autor.

ANEXO C.2 Diagnóstico climático de Passo Fundo pela carta bioclimática de Givoni

zona	descrição	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	% ano	% ano letivo
A	aquecimento artificial (calefação)						16,8	16,7	6,0					3,3%	4,0%
B	aquecimento solar da edificação				4,9	31,6	36,8	36,5	35,0	29,4	10,1			15,4%	18,4%
C	massa térmica para aquecimento				29,2	35,1	40,1	39,5	36,9	34,5	30,7	20,5	2,5	22,4%	26,9%
D	conforto térmico (baixa umidade)											5,1		0,4%	0,5%
E	conforto térmico	42,4	32,2	49,1	64,5	33,2	6,3	7,4	22,1	36,1	59,2	74,4	63,4	40,9%	41,6%
F	desumidificação (renovação do ar)	29,4	39,1	38,1	1,4								16,4	10,4%	5,6%
G+H	resfriamento evaporativo												3,5	0,3%	0,4%
H+I	massa térmica de refrigeração	28,1	28,6	12,8									17,7	7,3%	3,1%
I+J	ventilação	28,1	28,6	12,8									14,1	7,0%	2,7%
K	refrigeração artificial														
L	umidificação do ar														
														41,1%	49,3%
														41,3%	42,1%
														17,6%	8,6%

Observações:

1. As zonas de atuação correspondem às soluções arquitetônicas para as situações de desconforto;
2. Valores menores que 1% são desprezados;
3. Para o caso de Passo Fundo, são relevantes as estratégias ABCFI, caracterizando a zona bioclimática 2.

TABELA C.2 - Avaliação bioclimática pelas Normais Climatológicas.

FONTE: ABNT, 1998c, p. 18-21. Elaborado pelo autor.

ANEXO D AVALIAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES

ANEXO D.1 Irradiância

Localidade	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Passo Fundo	4,2	4,2	3,9	3,8	3,8	4,2	4,1	4,3	4,7	4,3	4,2	4,0
Porto Alegre	3,8	3,8	3,7	3,8	3,8	4,3	4,2	3,9	4,8	4,5	3,9	3,6

TABELA D.1 – Nebulosidade média 0-8 comparativa entre Passo Fundo e Porto Alegre.
FONTE: ESTEVES, 1990; UBER, 1992, p. 117.

Na folha 204

TABELA D.2 - Calor recebido pelas superfícies verticais nas diferentes orientações.
FONTE: GONÇALVES, 1957, p. 20.

Na folha 205

GRÁFICO D.1 - Calor recebido pelas superfícies verticais nas diferentes orientações.
FONTE: GONÇALVES, 1957, p. 21.

Lat. -30° 01' P

Porto Alegre SOLSTÍCIO DE INVERNO

HORA SOLAR	AZIMUTE DO SOL	ALTURA DO SOL	SOMBRA DA VERTICAL DE 1m	NORTE	15° NE	30° NE	45° NE	60° NE	75° NE	ESTE	75° SE	60° SE	45° SE	30° SE	15° SE	SUL
				6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09	6.59-17.09
NE	SW	SE	NW	Kg. CAL. / m ² / DIA												
5	19															
6	18															
7	17	62° 30'	1° 00'	57.290	14.3	20.8	26.2	29.6	30.9	30.3	27.5	22.8	16.6	9.3	1.1	
8	16	54° 00'	10° 30'	5.306	158.5	209.6	233.6	266.4	268.2	251.8	219.6	169.7	109.7	42.2		
9	15	43° 30'	20° 00'	2.748	360.1	424.5	471.3	485.2	466.2	415.3	336.2	234.1	116.0			
10	14	31° 30'	28° 30'	1.842	480.7	540.1	563.6	548.2	495.4	408.9	294.5	180.1	14.8			
11	13	18° 30'	34° 20'	1.464	551.7	576.1	561.2	508.2	420.4	304.0	188.9	18.0				
12	12	0° 00'	36° 30'	1.351	576.4	556.7	499.1	407.6	288.2	148.8						
13	11	18° 30'	34° 20'	1.464	551.7	489.7	394.3	270.6	131.3							
14	10	31° 30'	28° 30'	1.842	480.7	388.1	269.0	131.6								
15	9	43° 30'	20° 00'	2.748	360.1	234.8	135.1	8.5								
16	8	54° 00'	10° 30'	5.306	158.5	96.6	26.2									
17	7	62° 30'	1° 00'	57.290	30.0	14.1										
18	6															
19	5															
ENTERRAÇÃO EM				Kg. CAL. / m ² / DIA												
TEMPO DE INSOLAÇÃO				10h 04m 10h 04m 9h 46m 8h 07m 6h 55m 5h 36m 3h 09m 4h 09m 3h 10m 1h 57m 0h 18m												

Lat. -30° 01' P.

Porto Alegre EQUINÓCIOS

HORA SOLAR	AZIMUTE DO SOL	ALTURA DO SOL	SOMBRA DA VERTICAL DE 1m	NORTE	15° NE	30° NE	45° NE	60° NE	75° NE	ESTE	75° SE	60° SE	45° SE	30° SE	15° SE	SUL
				6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00	6.00-18.00
NE	SW	SE	NW	Kg. CAL. / m ² / DIA												
5	19															
6	18	90° 00'	0° 00'	00	0.0	5.5	9.7	13.8	16.9	18.8	19.5	18.8	16.9	13.8	9.7	5.0
7	17	82° 30'	12° 40'	4.449	44.6	130.7	208.4	270.9	315.5	338.6	338.6	315.5	270.9	207.9	130.7	44.6
8	16	74° 00'	25° 20'	2.112	149.5	279.2	380.1	474.3	526.2	542.2	521.3	468.8	376.7	267.9	131.2	
9	15	63° 20'	37° 40'	1.295	255.6	383.0	481.3	546.3	575.1	564.2	514.8	430.4	316.6	181.2	53.5	
10	14	49° 00'	48° 40'	0.890	343.9	434.6	495.7	523.0	514.6	471.2	395.7	293.2	170.7	56.6		
11	13	28° 00'	56° 50'	0.654	398.6	439.9	451.2	431.7	382.8	307.9	211.2	101.5				
12	12	0° 00'	60° 00'	0.577	417.0	402.8	361.1	294.5	208.5	107.9	0.0					
13	11	28° 00'	56° 50'	0.654	398.6	330.2	238.2	138.0	15.7							
14	10	49° 00'	48° 40'	0.890	343.9	229.8	100.0									
15	9	63° 20'	37° 40'	1.295	255.6	116.5										
16	8	74° 00'	25° 20'	2.112	149.5	9.5										
17	7	82° 30'	12° 40'	4.449	44.6											
18	6	90° 00'	0° 00'	00	0.0											
19	5															
ENTERRAÇÃO EM				Kg. CAL. / m ² / DIA												
TEMPO DE INSOLAÇÃO				12h 00m 10h 08m 8h 45m 7h 46m 7h 05m 6h 33m 6h 00m 5h 27m 4h 55m 4h 14m 3h 15m 1h 52m												

Lat. -30° 01' P.

Porto Alegre SOLSTÍCIO DE VERÃO

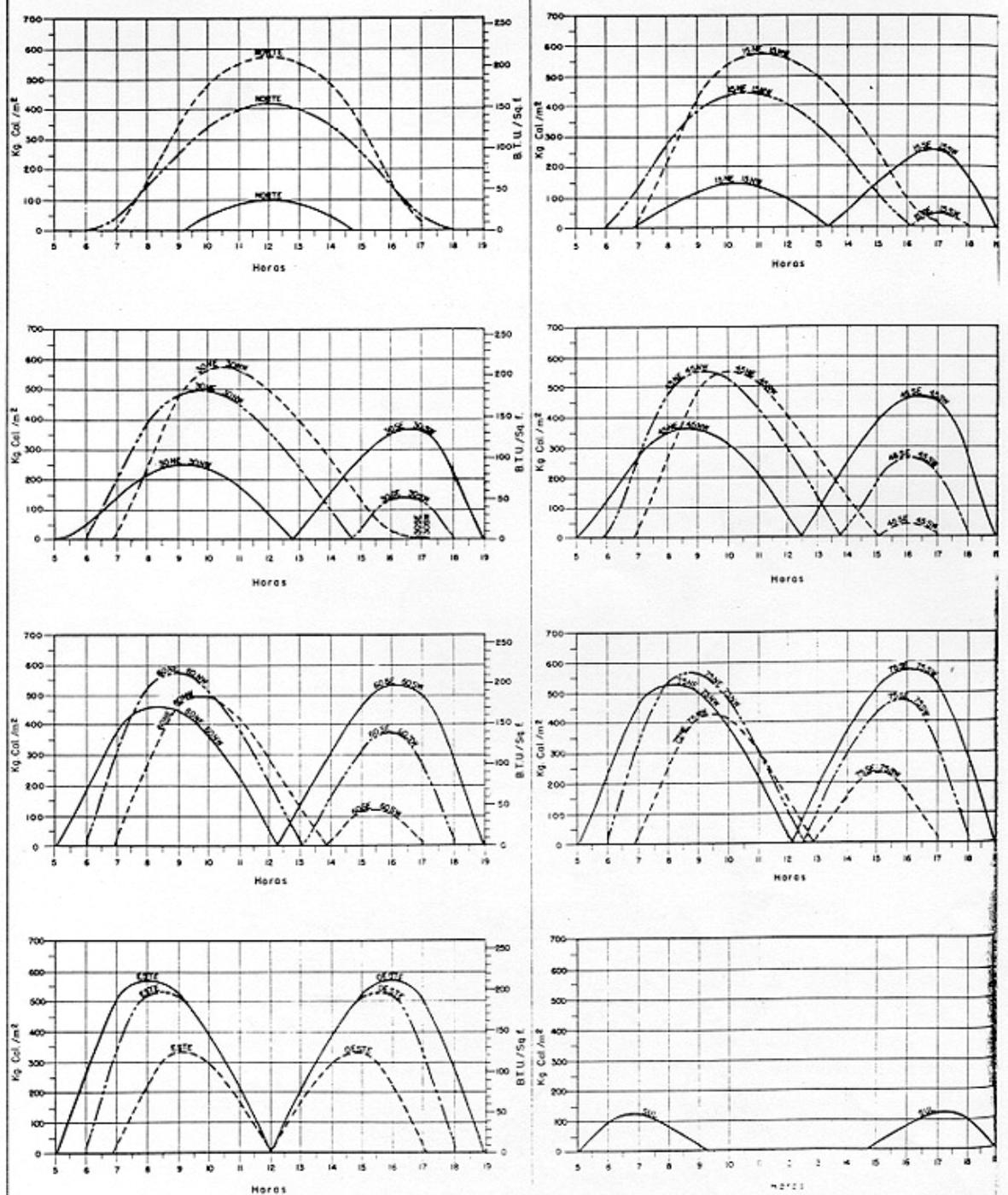
HORA SOLAR	AZIMUTE DO SOL	ALTURA DO SOL	SOMBRA DA VERTICAL DE 1m	NORTE	15° NE	30° NE	45° NE	60° NE	75° NE	ESTE	75° SE	60° SE	45° SE	30° SE	15° SE	SUL	
				9.18-18.47	16.30-13.25	5.02-12.47	5.02-12.29	5.02-12.19	5.02-12.10	5.02-12.00	5.02-11.30	5.02-11.41	5.02-11.31	5.02-11.19	5.02-11.05	5.02-10.35	5.02-9.13
NE	SW	SE	NW	Kg. CAL. / m ² / DIA													
5	19																
6	18	69° 40'	10° 50'	5.226		48.5	120.5	184.3	235.3	270.7	287.5	284.6	262.3	222.2	167.0	100.3	
7	17	76° 10'	23° 10'	2.337		10.7	145.5	270.5	377.0	457.9	507.5	522.5	502.0	447.2	362.0	252.1	125.0
8	16	82° 00'	36° 00'	1.376		70.4	216.4	349.0	455.2	531.7	572.0	573.3	535.6	461.3	355.6	225.7	80.4
9	15	88° 10'	48° 40'	0.860		119.4	247.5	358.7	443.4	501.8	524.0	510.5	462.2	362.4	276.5	151.2	16.8
10	14	83° 10'	62° 00'	0.532	46.8	146.3	255.8	309.2	361.6	389.3	390.5	363.1	314.8	245.0	154.7	55.9	
11	13	67° 00'	74° 50'	0.271	88.1	136.3	180.1	209.1	223.8	223.3	207.6	177.7	132.7	84.5	27.5		
12	12	0° 00'	83° 10'	0.120	98.4	95.0	85.2	69.6	49.2	25.5	0.0						
13	11	67° 00'	74° 50'	0.271	88.1	31.2											
14	10	83° 10'	62° 00'	0.532	46.8												94 47-18.58
15	9	88° 10'	48° 40'	0.860													18.8
16	8	82° 00'	36° 00'	1.376													80.4
17	7	76° 10'	23° 10'	2.337													125.0
18	6	69° 40'	10° 50'	5.226													100.3
19	5																
ENTERRAÇÃO EM				Kg. CAL. / m ² / DIA													
TEMPO DE INSOLAÇÃO				5h 34m 6h 35m 7h 45m 7h 27m 7h 17m 7h 08m 6h 58m 6h 48m 6h 39m 6h 29m 6h 11m 5h 33m 4h 22m													

Porto Alegre
• Lat. -30° 01'

PA 3

CALOR SOLAR RECEBIDO PELAS SUPERFÍCIES VERTICAIS NAS DIFERENTES ORIENTAÇÕES

VERÃO —————
EQUINÓCIOS - - - - -
INVERNO - - - - -



NOTA: O CALOR TOTAL EM 1 DIA É DADO PELA Σ ORDENADAS EXPRESSA NA UNIDADE DA ESCALA (Kg.Cal./m²/dia ou B.T.U./Sq.ft./dia)

ANEXO D.2 Iluminância no plano inclinado

SOLSTÍCIO DE INVERNO

hora	abóbada clara	ab. parc. nublada	abóbada encoberta
6,00	3.106,68	2.651,22	1.660,11
7,00	7.536,42	6.493,73	3.525,96
8,00	8.816,85	8.324,29	5.337,61
9,00	9.384,80	9.654,11	6.887,10
10,00	1.894,78	654,11	7.993,54
11,00	44.564,12	34.674,84	8.534,33
12,00	-	4.726,45	8.869,17
13,00	28.637,45	27.735,81	-
14,00	41.067,40	38.840,04	-
15,00	50.644,00	46.228,30	-
16,00	53.817,07	46.604,25	-
17,00	42.934,29	34.969,63	-
18,00	14.377,88	11.165,08	-

EQUINÓCIOS DE OUTONO E PRIMAVERA

hora	abóbada clara	ab. parc. nublada	abóbada encoberta
6,00	-	43,05	-
7,00	1.515,38	140,99	2.064,00
8,00	21.372,67	17.808,33	4.033,36
9,00	55.676,38	49.388,85	5.780,86
10,00	101.191,34	93.064,59	7.108,39
11,00	76.075,67	82.845,03	7.901,69
12,00	-	683,73	8.155,69
13,00	15.464,11	15.438,75	-
14,00	23.787,62	26.068,79	-
15,00	31.353,71	35.959,97	-
16,00	31.319,70	35.705,68	-
17,00	15.304,37	18.183,96	-
18,00	-	430,94	-

SOLSTÍCIO DE VERÃO

hora	abóbada clara	ab. parc. nublada	abóbada encoberta
6,00	-	-	-
7,00	95,05	365,52	301,92
8,00	6.364,20	9.640,51	2.041,33
9,00	20.781,23	30.420,02	3.639,78
10,00	18.394,43	27.187,10	4.907,75
11,00	7.439,90	11.951,74	5.713,31
12,00	-	1.282,82	5.988,16
13,00	9.792,46	12.620,05	-
14,00	12.811,64	17.392,80	-
15,00	13.770,08	19.191,44	-
16,00	9.257,71	13.554,60	-
17,00	1.259,52	1.696,77	-
18,00	-	-	-

TABELA D.3 - Iluminância Global (EG) no plano inclinado para as orientação NO/NE, em lux.

FONTE: ISE (STAHL, 1993).Elaborado pelo autor.

O valor grifado das 10 h dos equinócios, para a abóbada celeste encoberta, corresponde ao valor de cálculo na simulação do ANEXO H.2.

SOLSTÍCIO DE INVERNO

hora	abóbada clara	ab. parc. nublada	abóbada encoberta
6,00	8.098,07	6.470,06	1.660,11
7,00	29.628,73	24.425,98	3.525,96
8,00	43.260,60	37.800,68	5.337,61
9,00	46.645,24	43.011,32	6.887,10
10,00	43.362,37	41.631,12	7.993,54
11,00	35.114,03	34.823,47	8.534,33
12,00	23.308,13	23.920,05	8.554,09
13,00	14.042,30	14.982,82	-
14,00	10.440,96	11.324,16	-
15,00	5.981,31	649,23	-
16,00	23.566,88	15.634,34	-
17,00	26.504,65	19.099,38	-
18,00	11.072,39	7.877,35	-

EQUINÓCIOS DE OUTONO E PRIMAVERA

hora	abóbada clara	ab. parc. nublada	abóbada encoberta
6,00	-	398,52	-
7,00	18.492,11	20.629,96	2.064,00
8,00	45.325,13	49.116,04	4.033,36
9,00	56.085,86	63.020,03	5.780,86
10,00	55.564,78	64.251,34	7.108,39
11,00	48.986,91	56.664,81	7.901,69
12,00	38.836,26	43.185,20	8.155,69
13,00	27.819,39	27.707,88	-
14,00	18.354,58	16.453,71	-
15,00	12.335,47	11.141,89	-
16,00	8.313,56	7.603,31	-
17,00	3.975,10	3.997,20	-
18,00	-	28,41	-

SOLSTÍCIO DE VERÃO

hora	abóbada clara	ab. parc. nublada	abóbada encoberta
6,00	-	-	-
7,00	2.983,52	4.200,08	301,92
8,00	21.625,90	34.508,86	2.041,33
9,00	40.542,06	69.977,42	3.639,78
10,00	46.757,04	79.801,51	4.907,75
11,00	44.751,14	74.170,93	5.713,31
12,00	38.574,04	62.377,39	5.988,16
13,00	30.467,87	48.052,13	-
14,00	22.338,80	33.797,48	-
15,00	14.008,44	19.221,96	-
16,00	6.516,68	8.774,08	-
17,00	313,27	329,29	-
18,00	-	-	-

TABELA D.4 - Iluminância Global (EG) no plano inclinado para as orientação SO/SE, em *lux*.

FONTE: ISE (STAHL, 1993).Elaborado pelo autor.

O valor grifado das 10 h dos equinócios, para a abóbada celeste encoberta, corresponde ao valor de cálculo na simulação do ANEXO H.2.

ANEXO E ESCOLAS SOLARES PASSIVAS: DESEMPENHO TERMO-LUMÍNICO

ANEXO E.1 Wallasey School, Grã-Bretanha

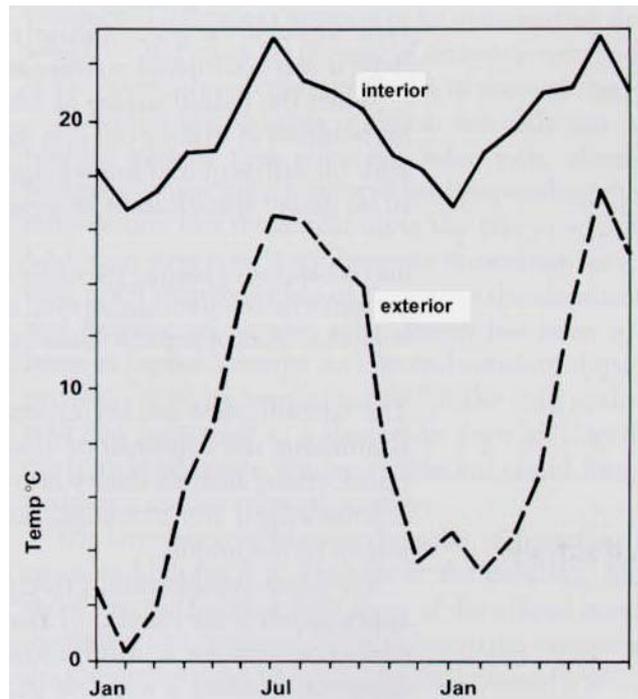


GRÁFICO E.1 - E. Morgan, *St. George's School*, Wallasey, GB, 1961.
Temperaturas diárias do ar internas e externas.
FONTE: HAWKES, 1996, p. 128.

ANEXO E.2 Escola de Les Franqueses del Valles, Espanha

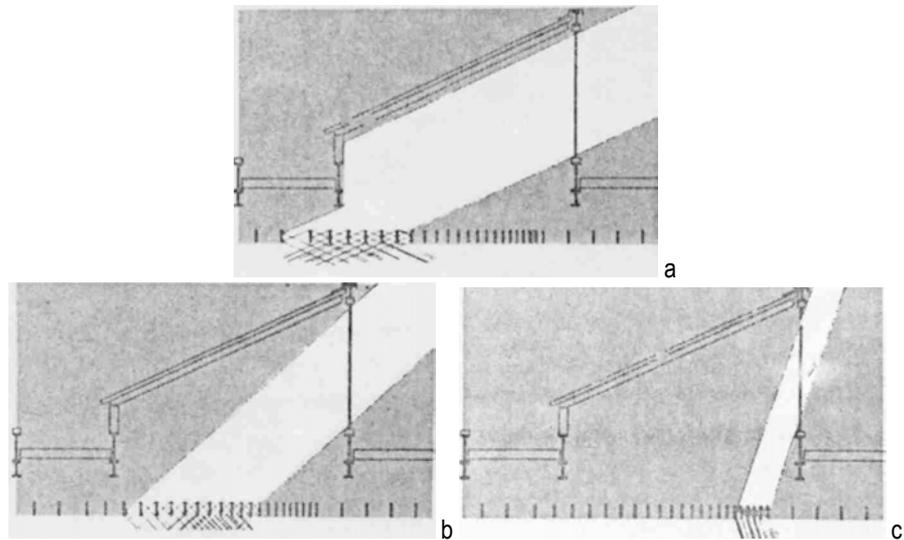


FIGURA E.1 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Clerestórios nos laboratórios - incidência de radiação.

- a. 21 de dezembro (altura do sol 25°);
- b. 21 de março (altura do sol 47°);
- c. 21 de junho (altura do sol 72°).

FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 4.

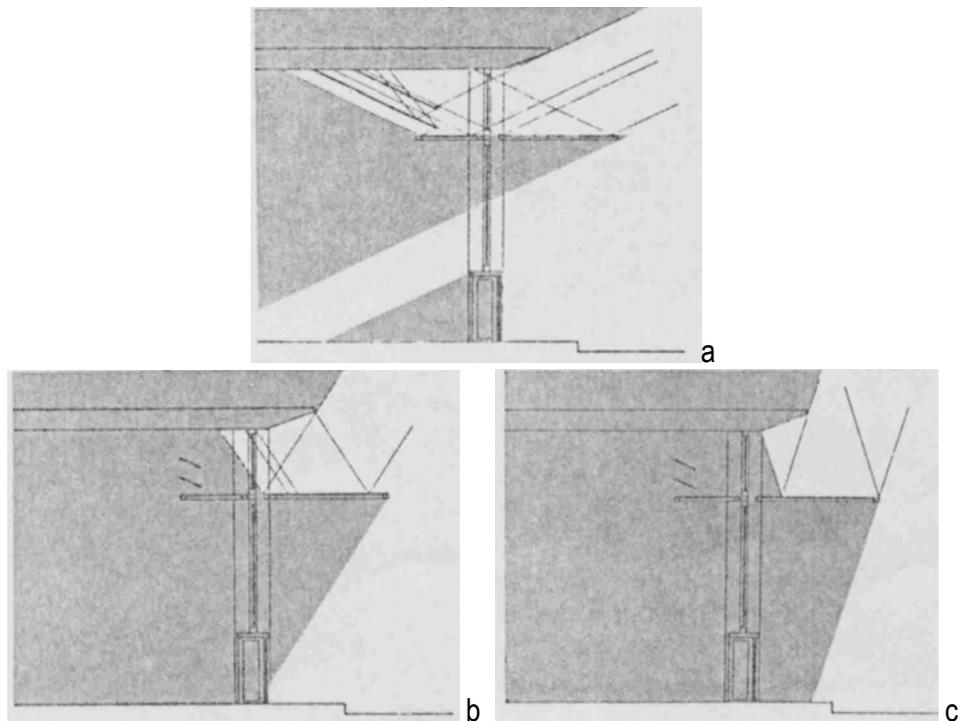


FIGURA E.2 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
Estantes de luz nas salas de aula - incidência de radiação.

- a. 21 de dezembro (altura do sol 25°);
- b. 21 de março (altura do sol 47°);
- c. 21 de junho (altura do sol 72°).

FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 6.

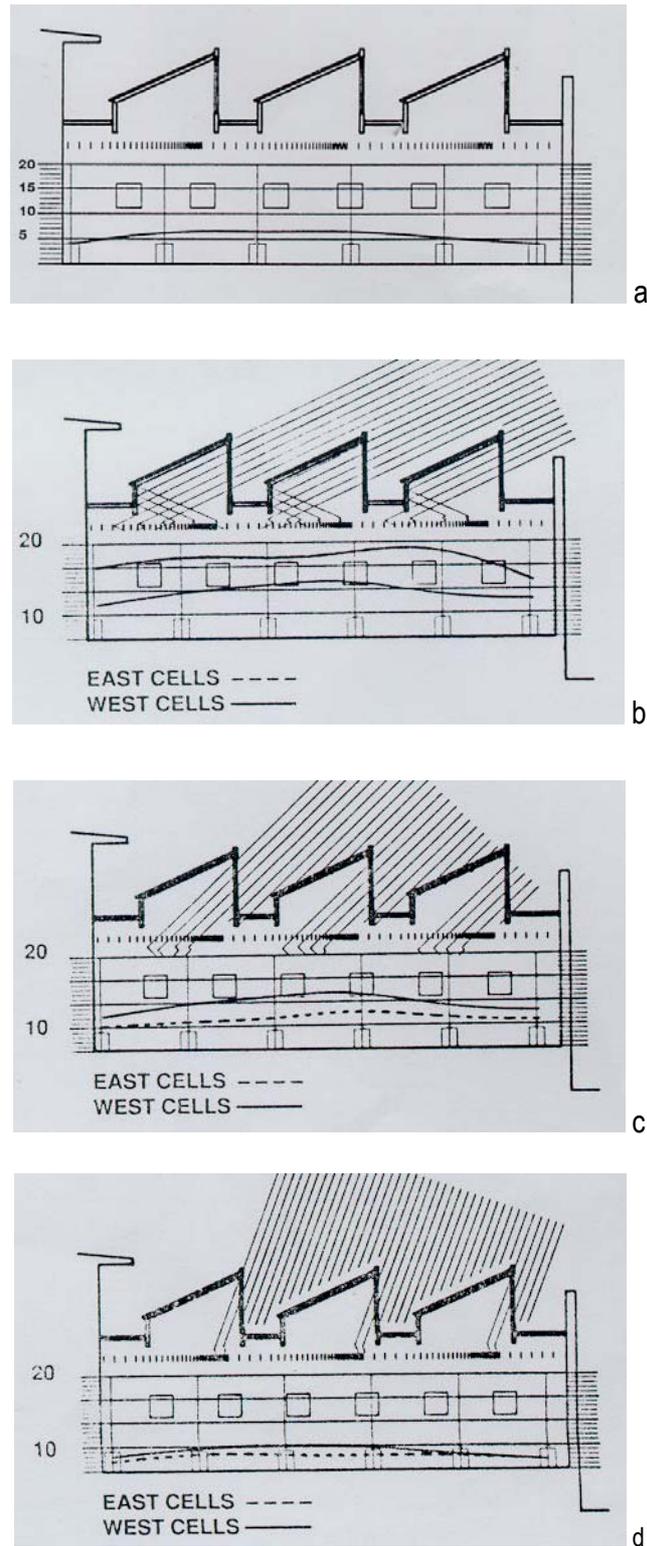
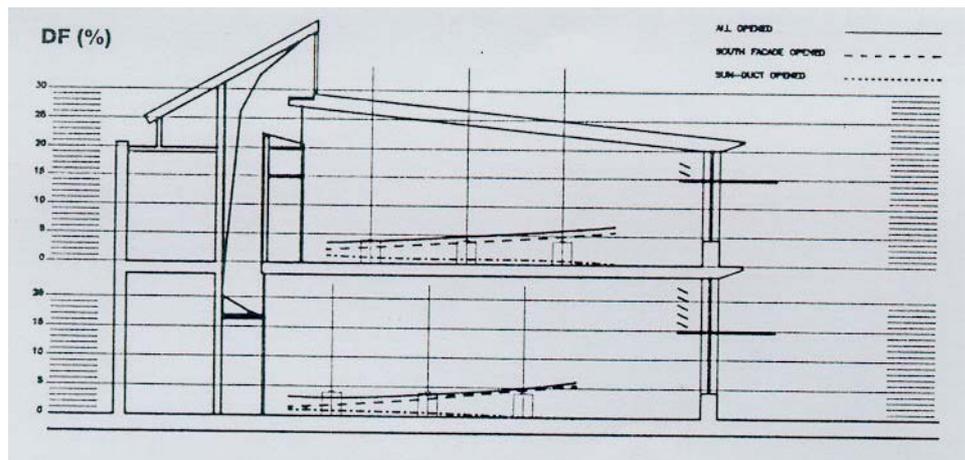
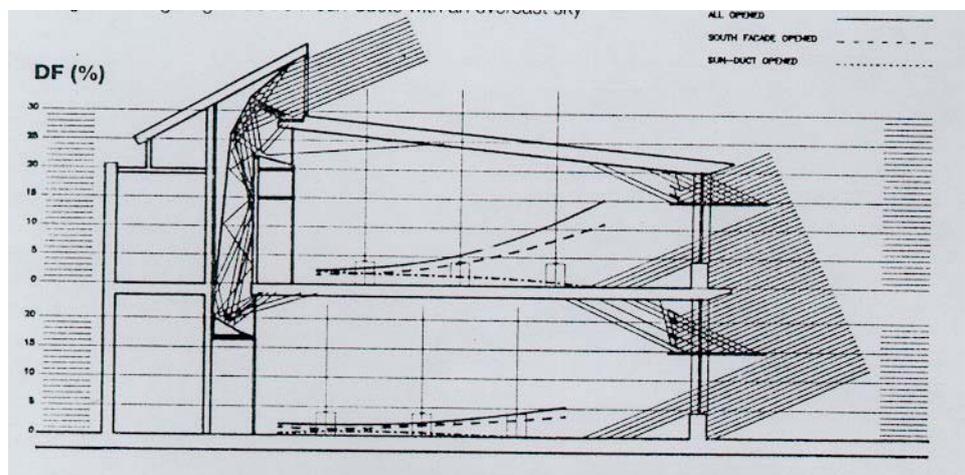


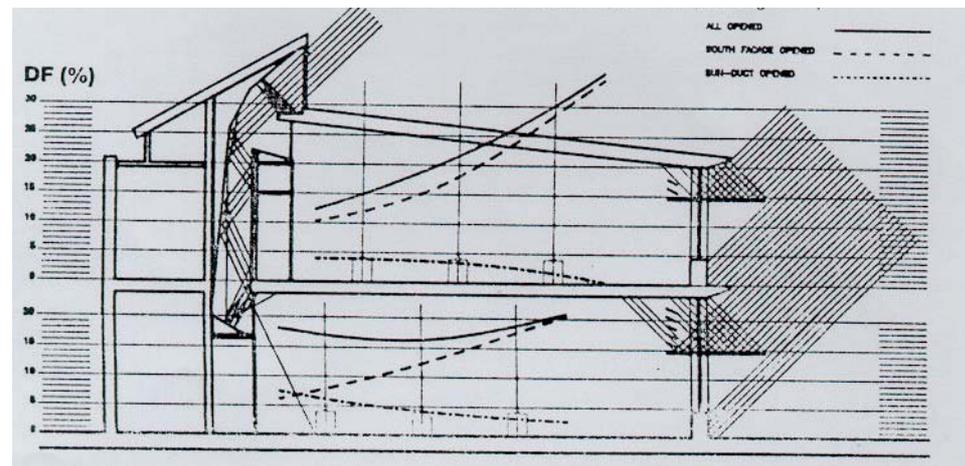
GRÁFICO E.2 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91.
 Iluminância nos laboratórios (fator de luz diurna).
 a. abóbada celeste encoberta;
 b. céu claro 21 de dezembro (altura do sol 25°);
 c. céu claro 21 de março (altura do sol 47°);
 d. céu claro 21 de junho (altura do sol 72°);
 FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 6-7.



a



b



c

GRÁFICO E. 3 - J. Sanmarti; R. Serra Florensa, *Escola de Les Franqueses del Valles*, Espanha, 1990-91. Iluminância nas salas de aula. Fator de luz diurna – *daylight factor* (%).

a. abóbada celeste encoberta;

b. céu claro 21 de dezembro (altura do sol 25°);

c. céu claro 21 de junho (altura do sol 72°).

FONTE: SANMARTI; SERRA FLORENSA, [199-], p. 8.

ANEXO E.3 Escola de Medrano, Mendoza, Argentina

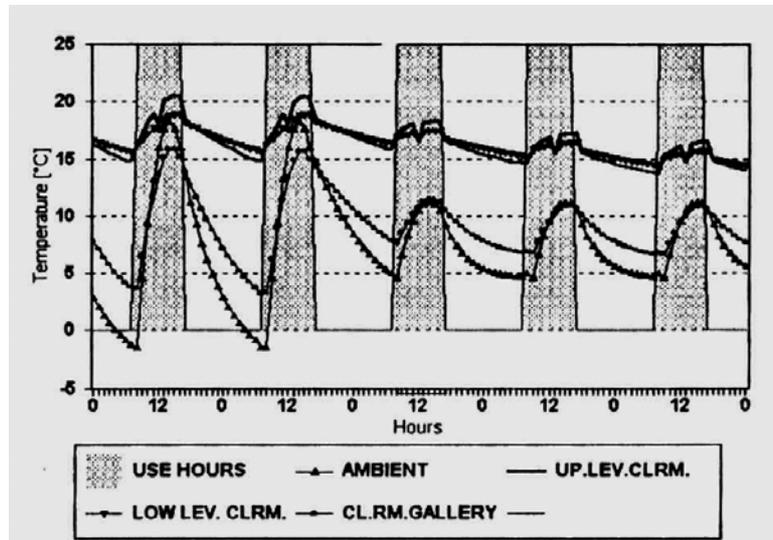


GRÁFICO E.4 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Medrano*, Mendoza, Argentina, 1999.
Simulação térmica em sala de aula numa seqüência típica de dias no mês de junho.
FONTE: DE ROSA et al., [s.d.].

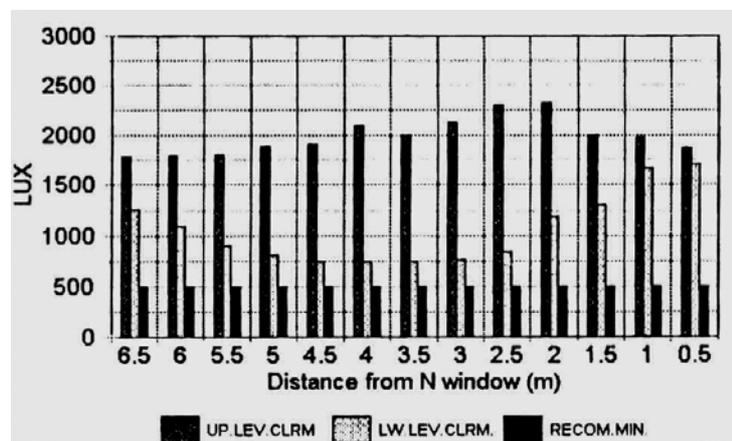


GRÁFICO E.5 – LAHV-INCIHUSA, *Escola de Medrano*, Mendoza, Argentina, 1999.
Simulação da iluminância no plano de trabalho de sala de aula. Céu claro de um dia do mês de junho (meio-dia).
FONTE: DE ROSA et al., [s.d.].

ANEXO E.4 Escola Municipal Cohab Secchi (CAIC), Passo Fundo - RS

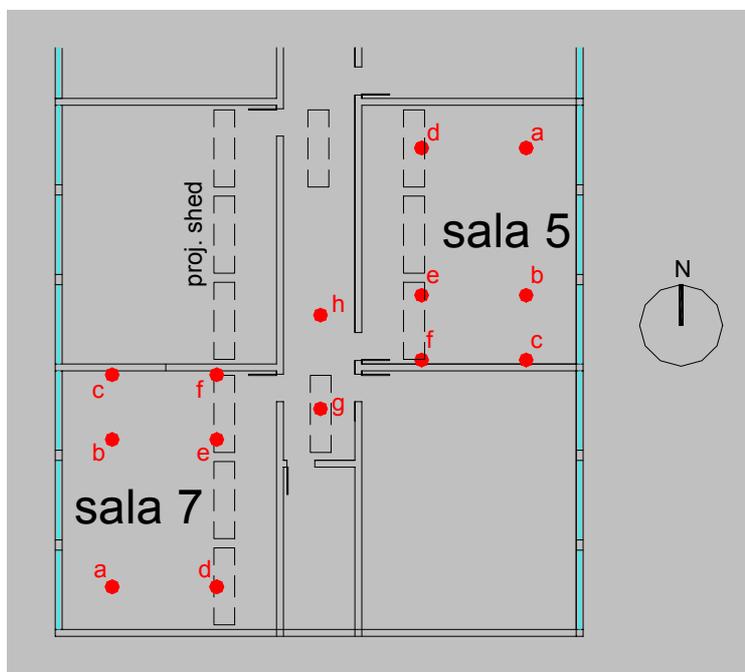


FIGURA E.3 – J. F. Lima, *Escola Municipal Cohab Secchi (CAIC)*, Passo Fundo - RS, 1984.
Esquema da planta baixa das salas de aula.
OBS.: os pontos localizados junto às paredes correspondem ao plano vertical do quadro-negro.
FONTE: Elaborado pelo autor.

	Data 09/05/2000 Hora 14:05/14:30 h Abóbada celeste parcialmente encoberta		Data 11/05/2000 Hora 14:10/14:30 h Abóbada celeste clara		Data 01/06/1999 Hora 14:20/14:40 h Abóbada celeste encoberta	
CLD	27.800		79.800		8.640	
local	sala 7	sala 5	sala 7	sala 5	sala 7	sala 5
a	1.398	337	1.340	297	395	126
b	440	296	376	306	136	87
c	273	262	241	330	137	73
d	190	125	210	191	52	34
e	139	121	158	194	40	35
f	180	145	193	181	57	38
local	circulação		circulação		circulação	
g	52		93		18	
h	15		12		02	

TABELA E.1 – J. F. Lima, *Escola Municipal Cohab Secchi (CAIC)*, Passo Fundo - RS, 1984.
Medições da iluminância natural (*lux*).
FONTE: Elaborado pelo autor.

Instrumento utilizado: *Luxímetro digital LX-101 LUTRON*

ANEXO E.5 Escola Municipal Guaracy B. Marinho, Passo Fundo – RS

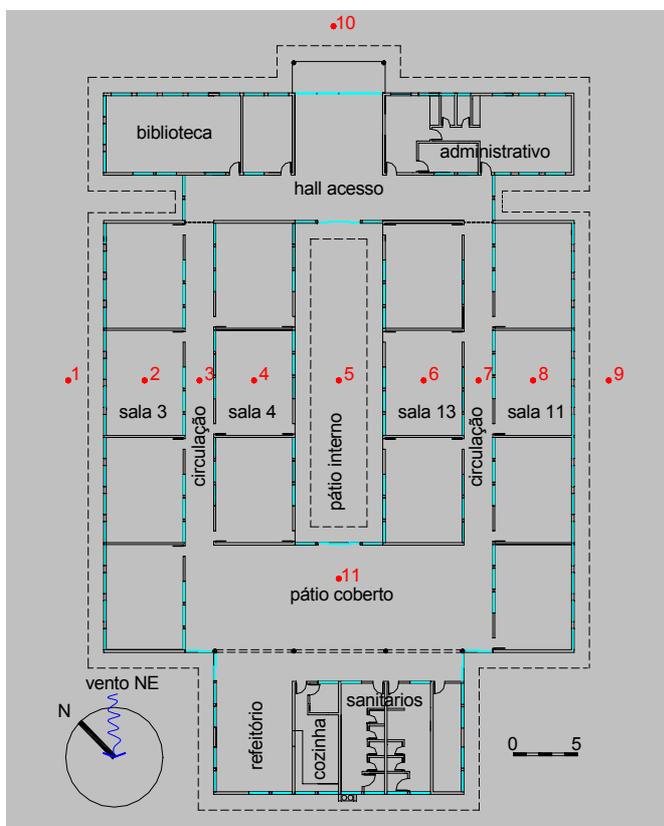


FIGURA E.4 – SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo - RS, 1993.

Planta baixa. Medições termo-higrométricas.

FONTE: Elaborado pelo autor.

	Data 01/06/1999 Hora 14:50/16:45 h Abóbada celeste clara			Data 04/06/1999 Hora 9:20/10:45 h Abóbada celeste encoberta			Data 16/06/1999 Hora 9:30/10:40 h Abóbada celeste parcialmente encob.		
local	temperatura (°C)	umidade relativa (%)	vento (m/s) direção	temperatura (°C)	umidade relativa (%)	vento (m/s) direção	temperatura (°C)	umidade relativa (%)	vento (m/s) direção
1	22,5	35,8	2,5 – SE	9,8	83,1		19,2	64,8	0,7 - 1,3 NE
2	20,3	47,1		13,0	67,5		18,2	67,4	
3	21,3	39,0		13,4	61,2		18,0	70,1	
4	18,4	48,3		14,4	64,7		19,0	68,3	
5	17,2	45,1	1,1 – 2,2	10,3	74,7		22,1	49,6	0,5 NE
6	20,8	37,6		15,5	62,9		17,9	71,4	
7	18,6	43,5		13,4	61,9		18,4	73,0	
8	19,4	44,8		14,7	63,0		18,0	71,8	
9	16,8	39,0		8,9	81,6	1,8 – 2,2 SE	21,6	54,0	0,2 NE
10	20,4	38,6	0,7	9,2	85,7	1,7 – 3,2 L	20,6	58,8	1,0 – 2,3NE
11	17,4	48,2		13,3	61,1		17,7	72,6	

TABELA E.2 – SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo - RS, 1993.

Medições termo-higrométricas.

FONTE: Elaborado pelo autor.

Instrumentos utilizados:

Termo-higrômetro digital MTH-1360 MINIPA - Umidade: faixas 10% a 95%RH; resolução: 1,1%RH; precisão (depois da calibração): ± 3 RH (a 25°C, 30 a 95%RH), ± 5 RH (a 25°C, 10 a 30%RH); sensor capacitivo de precisão. Temperatura: faixas: - 20°C a 60°C (-4°F a 140°F); resolução: 0,1°C (0,1°F); precisão $\pm 0,8$ °C ($\pm 1,5$ °F); sensor indutivo.

Anemômetro digital MDA-10 MINIPA - Faixa de velocidade 0,0 – 45,0 m/s; resolução: 0,1m/s; limiar: 0,3m/s; precisão: $\pm 3,0$ %.

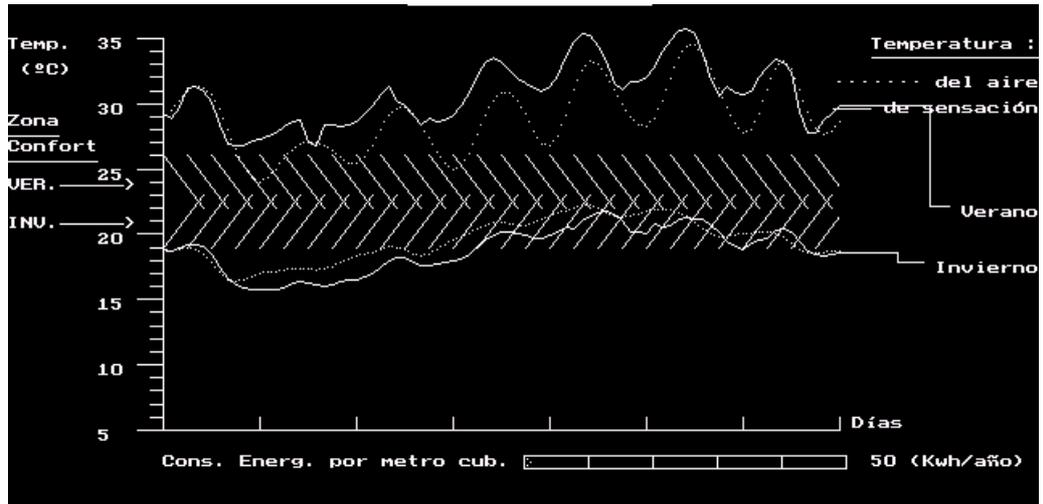


GRÁFICO E.5 – SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo - RS, 1993.
 Desempenho térmico.

FONTE: CLA (SERRA FLORENSA, 1989). Elaborado pelo autor.

ANEXO F ALTURA SOLAR EM PASSO FUNDO - RS

Latitud: -28.25 Longitud: 52.4 Dia: 80 (21/março)

Hora Solar	Altitud (grados)	Azimut (grados)
5.99	0.00	270.46
6.00	0.19	270.35
7.00	13.37	263.13
8.00	26.34	255.10
9.00	38.77	245.08
10.00	50.01	231.08
11.00	58.67	209.85
12.00	62.15	180.00
13.00	58.67	150.15
14.00	50.01	128.92
15.00	38.77	114.92
16.00	26.34	104.90
17.00	13.37	96.87
18.00	0.19	89.65
18.01	0.00	89.54

Latitud: -28.25 Longitud: 52.4 Dia: 173 (22/junho)

Hora Solar	Altitud (grados)	Azimut (grados)
6.90	0.00	243.15
7.00	1.19	242.42
8.00	12.46	234.46
9.00	22.53	224.61
10.00	30.77	212.27
11.00	36.32	197.14
12.00	38.30	180.00
13.00	36.32	162.86
14.00	30.77	147.73
15.00	22.53	135.39
16.00	12.46	125.54
17.00	1.19	117.58
17.10	0.00	116.85

Latitud: -28.25 Longitud: 52.4 Dia: 356 (22/dezembro)

Hora Solar	Altitud (grados)	Azimut (grados)
5.10	0.00	296.85
6.00	10.85	290.91
7.00	23.42	285.04
8.00	36.33	279.53
9.00	49.44	273.83
10.00	62.65	266.81
11.00	75.68	253.80
12.00	85.19	180.00
13.00	75.68	106.20
14.00	62.65	93.19
15.00	49.44	86.17
16.00	36.33	80.47
17.00	23.42	74.96
18.00	10.85	69.09
18.90	0.00	63.15

TABELA F.1 – Altura solar de equinócio e solstícios.
 FONTE: *altsol.bas* (ESTEVEES, 1990). Elaborado pelo autor.

ANEXO G CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA E DE VENTILAÇÃO

ANEXO G.1 Carga térmica para aquecimento

Como contribuição à determinação da carga térmica de aquecimento, através de estratégias solares passivas, foi elaborado estudo baseado no cálculo da Fração de Ganho Solar, ora apresentado.

Nas folhas seguintes, apresenta-se um método simplificado elaborado pelo LAVH-INCIHUSA (ESTEVES, [s.d.]).

CALCULO DE LA FRACCION DE AHORRO SOLAR ANUAL

1- Cálculo del Coeficiente Neto de Pérdidas (C.N.P.)

a) El cálculo del C.N.P. se realiza de acuerdo con la planilla N° 6, donde debe indicarse el Proyecto y el lugar de emplazamiento.

b) Colocar por elemento constructivo el área (interior) de muros (obtenida en planilla 4) y su correspondiente conductancia global K_i , obtenido en planilla 1, 2 y 3. Note que existe la posibilidad de colocar 2 tipos de muros (por ej. uno revestido de piedra y otro con ladrillo visto, o uno tradicional y otro de material liviano, etc). Si existieran más de dos tipos, en los cuales el coeficiente K sea distinto en cada caso tenerlos en cuenta agregando otra línea. Idem en caso de techos.

c) Para ventanas, la información se trata de la misma manera, es decir se coloca el área obtenida de la planilla 4 y la transmitancia K_v , que aparece en la tabla N° 6, de acuerdo a su tipo. El método considera el cálculo sólo de ventanas al Sur. En el caso de ventanas al Este y al Oeste, se considera que pierden la misma cantidad de energía que ganan y el caso de ventanas al Norte, su efecto no se considera en esta etapa, se tendrá en cuenta luego en el rendimiento de cada sistema.

d) Las pérdidas por piso, ocurren a través del perímetro de la vivienda y hasta una determinada profundidad. El método considera estas pérdidas como la resultante de involucrar el perímetro "L", de planilla 4 y se debe agregar la resistencia térmica R , en caso de agregar aislante.

e) En caso de tener un sótano o un muro con talud de tierra, se debe indicar el valor "L" que en el caso del sótano representa su perímetro o en el caso del muro, la longitud del mismo. Además debe considerarse también el valor de la resistencia térmica del aislante térmico si se utiliza.

f) En "otros" se da la posibilidad de indicar algún elemento más, por ej. el caso de puertas.

g) La infiltración de aire se tiene en cuenta a través del volumen "V" (de planilla 4) y las renovaciones de aire por hora "RAH" que indica la cantidad de veces que el volumen de la vivienda se renueva en una hora a causa de la infiltración. Se debe indicar la densidad relativa del aire "DA", obtenida de figura 3, en función de la altura sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento. El valor de altitud sobre el nivel del mar se obtiene de Tabla N° 1.

h) El resultado de multiplicar el área por la conductancia K de cada elemento y la operación correspondiente en piso, sótano e infiltración, se coloca en la columna "W/°C" y la suma dará el valor de C.N.P. Aparece una columna adicional en la cual se colocan los valores de pérdidas de cada elemento como porcentajes. Esto es útil a efectos de tener en cuenta qué elemento es el que está contribuyendo con mayor proporción a las pérdidas totales y de ésta manera, efectuar correcciones apropiadas en caso de querer aumentar la F.A.S.

2- Cálculo del Coeficiente Global de Pérdidas (C.G.P.)

En el cálculo del C.N.P. hemos visto que no se consideran las pérdidas de calor por las ventanas N, E ni O. En un edificio sin conservación de energía, estas pérdidas son significativas y por eso es necesario tenerlas en cuenta.

5- Cálculo del Calor Auxiliar Anual.

El calor auxiliar, indica la cantidad de calor que es necesario aportar a la vivienda solar, para mantener durante todo el año, una temperatura interior de 18 °C. Se calcula como se indica, multiplicando los valores de Grados Día (Gd) x CNP x (1-FAS total) x 0.024 (un factor para homogeneizar unidades y obtener el resultado en KWh/año).

Este valor de energía auxiliar, puede calcularse en unidades de combustible. Se indica la operación a realizar para obtenerlo en valores de tubos de gas envasado de 45 Kg. de capacidad, o en m³ de gas natural o en litros de kerosene.

PLANILLA N°6

PLANILLA DE DISEÑO ESQUEMATICO

PROYECTO:	
UBICACION:	G.Dia anuales:

1- CALCULO DEL COEFICIENTE NETO DE PERDIDAS (C.N.P.)

Elementos	Area A [m ²]	Conductancia Termica Ki [W/m ² .°C]	A x Ki [W/°C]	Porcentaje [%]
Muro Tipo 1				
Muro Tipo 2				
Techo Tipo 1				
Techo Tipo 2				
Ventanas al Sur				
Piso (fundacion)	1.27 x L: / [1.024 + Rf:]			
Sotano o talud	3.25 x L: / [1.639 + Rf:]			
Otros (puertas)				
Infiltracion	0.35 x Vol: x D.A.: x RAH:			
TOTAL				100.00

2 - CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS (G)

Elementos	Area A [m ²]	Conductancia Termica Ki [W/m ² .°C]	A x Ki [W/°C]
C.N.P.			
Ventanas al Sur			
Ventanas E y O			
C.G.P.			

3 - RELACION CARGA TERMICA/COLECTOR

$$R.C.C. = C.N.P.: \dots\dots\dots / A.C.: \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

4 - FRACCION DE AHORRO SOLAR

Sistema Solar Pasivo	Area A [m ²]	Relacion porcentual de Areas (A/ACT)	F.A.S. de Tabla 6	F.A.S. Ponderada
TOTAL				

5 - CALOR AUXILIAR ANUAL

$$Q_{\text{aux. anual}} = (G.\text{Dia}: \dots\dots\dots \times C.N.P.: \dots\dots \times (1 - F.A.S./100): \dots\dots \times 0.024 = \dots\dots\dots \text{ KWh/año}$$

$$\text{Gas envasado: } Q_{\text{aux. anual}}: \dots\dots\dots / 586.06 = \dots\dots\dots \text{ Tubos 45 Kg.}$$

$$\text{Gas Natural: } Q_{\text{aux. anual}}: \dots\dots\dots / 10.82 = \dots\dots\dots \text{ m}^3$$

$$\text{Kerosene: } Q_{\text{aux. anual}}: \dots\dots\dots / 8.95 = \dots\dots\dots \text{ litros}$$

LUGAR: PASSO FUNDO

Relacion Carga Termica/Colector [W/C.m2]

SISTEMA	FAS - FRACCION DE AHORRO SOLAR								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
GD1VR0	2.0	3.0	4.3	5.9	8.2	11.9	18.1	31.5	78.9
GD2VR0	0.7	6.7	10.0	14.0	19.0	25.8	36.5	59.6	96.1
GD1VAN	0.7	6.8	10.2	14.2	19.2	25.9	36.4	58.6	90.0
GD2VAN	0.7	8.6	12.8	17.3	22.9	30.6	41.2	62.9	87.4
MTH 1V	2.2	3.2	4.5	6.1	8.6	12.5	18.8	32.7	81.8
MTH 1V AN	4.2	6.2	8.6	11.6	15.5	21.2	31.1	51.3	95.8
MTH 2V	3.9	5.9	8.2	11.0	15.1	21.0	31.6	56.1	122.8
MTH 2V AN	5.8	8.5	11.6	15.3	20.4	27.9	39.5	65.8	116.2
MTL 2V	3.3	4.9	6.8	9.4	12.9	18.0	26.5	44.8	104.8
MTAd 2V	2.1	3.2	4.4	5.9	8.1	11.2	16.4	26.5	59.1
MA 1V	3.0	4.5	6.3	8.8	12.4	17.8	27.6	53.8	152.7
MA 2V	5.4	8.0	11.0	15.0	20.4	28.8	42.6	76.2	161.8
MA 1V AN	0.7	6.2	9.2	12.6	16.7	22.4	30.9	43.6	73.3
MA 2V AN	0.7	7.7	11.2	15.2	20.1	26.5	35.7	52.9	78.6
IA MM 9/3 B3	2.7	4.0	5.7	7.8	10.9	15.8	24.9	47.1	148.0
IA MA 9/3 B7	1.9	2.9	4.0	5.6	8.1	12.1	19.6	39.6	173.3
II MM 9/3 AN C2	5.8	8.5	11.8	15.7	21.1	29.7	42.8	74.1	147.1
II MM 9 AN E2	5.6	8.3	11.4	15.2	20.5	28.4	41.1	71.0	138.6

REFERENCIAS:

GD (GANANCIA DIRECTA), 1V (UN VIDRIO), RO (SIN AISLACION NOTURNA)

AN (AISLACION NOCTURNA - POSTIGADO)

MTH, MTL Y MTAd (MURO TROMBE DE HORMIGON, LADRILLO Y ADOBE RESP.)

MA (MURO DE AGUA DE 22.8 cm DE ESPESOR MEDIO)

IA (INVERNADERO ADOSADO), II (INVERNADERO INTEGRADO)

MM (MURO SEPARADOR DE HORMIGON), MA (MURO SEPARADOR AISLANTE)

9/3 (INDICA CONFIGURACION 90/30), 9 (INDICA CONFIGURACION 90)

AN (INDICA AISLACION NOCTURNA, R=9)

TABELA G.1 – Fração de ganho solar – FGS.FONTE: *pass.fas* (ESTEVEES, 1990). Elaborado pelo autor.

Seqüencialmente, demonstra-se a aplicação em sala de aula em escola de Passo Fundo – RS, com a determinação do ganho térmico direto, através de janelas de vidro simples sem proteção noturna – sistema definido como *GD1vR0* pela simulação por programa computacional *pass.fas* (TAB. G.1).

A TAB. G.2 mostra um exemplo de cálculo da carga térmica. Para tanto, foram utilizados os seguintes elementos construtivos: paredes em alvenaria de tijolos seis furos “ao chato”, rebocadas apenas internamente, e cobertura em telha ondulada de fibrocimento com espessura de 6mm, com câmara de ar, não ventilada, de 37cm, e forro em lambris de pinus com espessura de 1cm, cujos respectivos valores de condutibilidade térmica foram baseados em Frota e Schiffer (1995, p.158-159, 184-193).

PLANILHA DE DESENHO ESQUEMÁTICO

PROJETO EM GUARACY BARROSO MARINHO
 LOCALIZAÇÃO BAIRRO J.ALEXANDRE ZACCHIA
 PASSO FUNDO - RS

GD ANUAIS: 857

1. CÁLCULO DO COEFICIENTE BRUTO DE PERDAS (CBP)

ELEMENTOS	ÁREA A (m ²)	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA Ki (W/m ² .°C)	A x Ki (W/°C)	(%)
MURO TIPO 1	8,25	2,09	17,24	10,06
MURO TIPO 2	2,66	3,5	9,31	5,43
TETO TIPO 1	42,65	2,04	87,01	50,76
TETO TIPO 2			0,00	0,00
JANELAS AO SUL			0,00	0,00
PISO(FUNDAÇÃO)	1,3 x L	7,05 / 1,024 + Rf	8,74	5,10
SÓTÃO OU TALUDE	3,3 x L	/ 1,639 + Rf	0,00	0,00
OUTROS(PORTAS)				0,00
INFILTRAÇÃO	0,35 x vol	155,89 x DA 0,9 x RAH 1	49,11	28,65
TOTAL			171,41	100,00

2. CÁLCULO DO COEFICIENTE GLOBAL DE PERDAS (G)

ELEMENTOS	ÁREA A (m ²)	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA Ki (W/m ² .°C)	A x Ki (W/°C)
CBP			171,41
JANELAS AO N	10,24	0,8	8,19
JANELAS AO E e O			0,00
CGP			179,60

$$G = \text{CGP} / \text{vol} = 1,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

3. RELAÇÃO CARGA TÉRMICA/COLETOR

$$\text{RCC} = \text{CBP} : 171,41 / \text{ÁREA COLETOR} : 10,24 \quad \mathbf{16,74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}}$$

4. FRACÃO DE GANHO SOLAR (FGS)

SISTEMA SOLAR	ÁREA A (m ²)	RELACÃO PERCENTUAL DE ÁREAS A / ACT	FGS %	FGS PONDERADA
PASSIVO				
GD1VRØ	10,24	1	44,48	44,48
TOTAL		10,24		

5. CALOR AUXILIAR ANUAL

$$Q \text{ aux. Anual} = \text{GD} : 857 \times \text{CBP} : 171,41 \times (1 - \text{FGS}/100) : 0,555 \times 0,024 \quad \mathbf{1.957,36 \text{ kWh/ano}}$$

$$\text{G.L.P.} : Q \text{ aux. Anual} = 1957,36 / 586,06 \quad 3,34 \text{ tubos } 45 \text{ Kg}$$

$$\text{Gás natural} : Q \text{ aux. Anual} = 1957,36 / 10,82 \quad 180,90 \text{ m}^3$$

TABELA G.2 - Cálculo de carga térmica para aquecimento solar passivo.

FONTE: ESTEVES, [s.d.]. Elaborado pelo autor.

ANEXO G.2 Cálculo de área de abertura de janela para edifícios com ventilação cruzada

Adicionalmente às referências bibliográficas citadas (MASCARÓ, L., 1996; TOLEDO, 1999, dentre outros), quanto à determinação da ventilação pela ação do vento, a seqüência do anexo apresenta uma planilha de cálculo (CENTRO DE ENERGIA SOLAR DE FLÓRIDA, 1983), com os quadros e tabelas referenciados, assim como um exemplo prático de aplicação elaborado pelo LAHV-INCIHUSA ([s.d.]).

FORMULARIO PARA CALCULAR EL AREA DE ABERTURA
DE VENTANA PARA EDIFICIOS CON VENTILACION CRUZADA
Centro de Energía Solar de Florida, Agosto 1983

Proyecto
Analista

1. Volumen de la vivienda, V=área de piso x altura de cielorraso
_____ m³
2. Relación de renovaciones de aire requeridas por hora, RAPH (valor recomendado:20)

3. Relación de flujo de aire requerido, RFA
 $RFA = V \times RAPH / 60$
_____ m³/min
4. Ubicación del edificio (ciudad)
Mes de diseño (mes)-(Tabla 1)

5. Velocidad del viento para el mes considerado, VV (Tabla 1)
_____ km/h
6. Dirección dominante del viento para el mes considerado, DV

7. Angulo de incidencia en la fachada a barlovento,
(Del plano del sitio y la dirección dominante del viento)
_____ grados
8. De la tabla determinar:
8.a-Coeficiente de presión a barlovento CPB
8.b-Coeficiente de presión a sotavento CPS
9. Diferencial de coeficientes de presión, DCP
 $DCP = CPB - CPS$

10. Para las adyacencias y el tipo de edificio propuesto, determinase según
Tabla 3 el factor de corrección del coeficiente de presión, FCCP

11. Calcular el diferencial del coeficiente de presión corregido, CP
 $CP = DCP \times FCCP$
paso 9 paso 10

12. Obtener el factor de corrección del terreno, FCT de la Tabla 4

13. Computar la velocidad meteorológica corregida del viento en metro por minuto, V
 $V = VV \times FCT \times 0.8946$
paso 5 paso 12
_____ m/min
14. Calcular el área efectiva de abertura A, según
 $A = \frac{1,56 RFA}{V \sqrt{CP}} = \frac{1,56}{\text{paso 13} \sqrt{\text{paso 11}}}$
_____ m²
15. Seleccionar un área abierta de entrada, Ae mayor que A
Nota: si se desea áreas iguales de entrada y salida Ae = 1,41 A
_____ m²
16. Calcular el área abierta de salida, As
 $As = A \times Ae / \sqrt{(Ae^2 - A^2)}$
paso 15 paso 14
_____ m²
17. Incrementar las áreas abiertas calculadas anteriormente para el bloqueo debido
a la inserción de persianas, ventanas parcialmente abiertas, etc.
Encontrar el factor de porosidad, FP de la Tabla 5

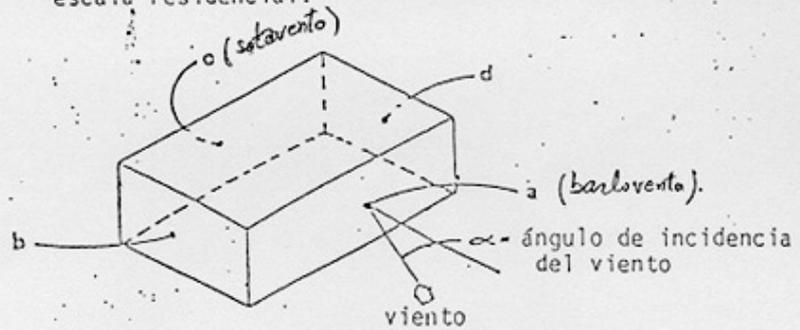
18. Calcular el total (no abierto) de áreas de ventana de entrada y salida IAc, IAs
 $IA_c = Ae / FP$
pasos 15 y 17
 $IA_s = As / FP$
pasos 16 y 17
_____ m²
19. Calcular el área total de ventana como un porcentaje del área total de piso
 $(IA_c + IA_s) / AP$
paso 18

20. Nótese que se necesitan algunas ventanas adicionales para áreas sin ventilación
cruzada, como por ejemplo baños.

TABLA 1 - Promedio mensual de velocidades de viento (Km/h)
para distintas localidades de Mendoza, y direcciones
dominantes

LOCALIDAD	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Chacras de Coria	7 NE-S	7 NE-SO	7 NE-S	6 NE-SO	7 SO	7 SO	7 SO	8 SO	8 NE	8 NE-S	8 NE-S	8 NE-S
Junin	6 SE	6 SE	5 SE	4 SE-SO	4 SO	5 SO	4 SO	6 SO	7 SE	7 SE	7 SE	7 SE
San Rafael	6 SE-E	5 SE-E	4 SE-SO	4 SO	4 SO	4 SO	5 SO	5 SO-SE	5 SE-SO	5 SE-E	6 E-SE	6 SO
San Martín	8 SE	7 SE	7 SE	6 SE-SO	6 SO	6 SO	6 SO	7 SO	8 SO	9 SE	9 SE	8 SE
Rama Caída	9 SE-NE	9 SE-NE	7 SE-NE	7 SE-NE	7 SE-NE	8 SE-O	8 SE-O	9 SE-NE	9 SE-NE	10 SE-NE	11 SE-NE	9 SE-NE
General Alvear	10 SE	9 SE	10 S-SE	8 S	8 N-NO	7 N-NO-S	8 S-SE	10 S-SE-N	11 S-SE	13 S-SE	13 S-SE	13 S-SE
La Paz	9 S	8 SE	8 S	7 S	6 S	8 SE	7 SE	8 SE	9 SE	10 SE	11 SE	9 SE
Malargüe	6 NE	5 NE	3 NE	3 NE	4 O	5 O	5 O	6 O	6 O	7 O	8 O	7 NE
Mendoza (aeropuerto)	7 SE-S	6 SE-S	5 SE-S	4 SE-S	3 NE-SE	4 SE-S	4 NE-SE-S	4 NE-S	6 S-SE	7 S-SE	8 S-SE	8 S-SE
San Carlos	6 N-S	6 N-S	5 S	5 S	5 S	5 S	5 S	6 S	7 N-S	7 N-S	7 N-SE	7 N-S
La Consulta	7 N-S	7 N-S	7 N-S	7 SO-S	7 SO-S	7 S-SO	7 S-SO	8 SO-S	9 SO-S	8 S-N	8 N-S	7 N-S
Mendoza observatorio	7 E-SE	6 E-SE	5 SE	5 S-E	5 S-E	6 S-E	6 S-E	7 S-E	7 E-S	7 S-E	7 E-SE	7 S-E
Encon	12,5 NE-S	12,1 NE-N	10,3 S-E	8 S-NE	6,5 NE-S	5,8 S-SO NE	6,7 NE	8 NE-N	10,4 NE-N	11,4 S-SO	12,3 S-SO	11,3 S-NE

TABLA 2. Coeficientes típicos de presión superficial promedio sobre las paredes de un edificio de escala residencial.



Angulo del viento Coeficientes de presión superficial, CP, en las paredes de un edificio

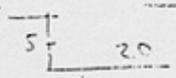
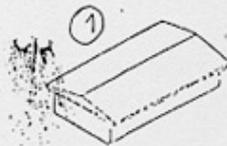
Angulo del viento	a	b	c	d
0	+0.40	-0.40	-0.25	-0.40
22.5	+0.40	-0.06	-0.40	-0.60
45	+0.25	+0.25	-0.45	-0.45
67.5	-0.06	+0.30	-0.55	-0.40
90	-0.40	+0.40	-0.40	-0.25

Notas: Coeficientes de Presión recomendados, CP, para otras aberturas:
 1- entrada con asistencia de difusores CP= +0.40
 2- salida con asistencia de deflectores CP = -0.25
 3- salidas de cubiertas, ej. tipo venturi CP = -0.30

TABLA 3. Factor de corrección del Coeficiente de Presión FCCP

Altura de pared de un típico edificio a barlovento, h = 3 m
 Distancia entre el edificio propuesto y el edificio a barlovento adyacente, g = 8 m
 Relación g/h = 2.67

Relación g/h	FCCP p/①	FCCP p/②
0	0.00	0.00
1	0.17	0.23
2	0.40	0.54
3	0.59	0.79
4	0.73	0.98
5	0.87	1.17
6 ó mayor	1.00	1.34



1. Edificio común de una planta o planta baja de un edificio de dos pisos
2. Edificio sobre pilares o segundo piso de un edificio común

del terreno
 TABLA 4. Factor de Corrección ~~Ambiente~~ para
 la velocidad del Viento, FCA

Ambiente Tipo	FCA	
	24 hs. de ventilación	ventilación nocturna
1. Costa oceánica hasta 5 km. tierra adentro	1.30	0.98
2. Llanuras con edificios separados y de paredes aisladas	1.00	0.75
3. Rural o suburbana	0.85	0.64
4. Urbano o industrial	0.67	0.50
5. Centro o ciudad grande	0.47	0.35

TABLA 5. Factor de Porosidad, FP

Factor de porosidad, FP = FPI · FPV

a) Protección contra insectos, FPI

Tipo de protección	FPI típico
1. sin protección	1.00
2. metálica 5.5 alambres / centímetro	0.80
3. plástica 7 hilos / centímetro	0.60

b) Porosidad de la ventana, FPV

Tipo de ventana	FPV típico
1. guillotina simple o doble	0.40
2. toldo, mosquitero, celosía o proyección que gire abriendo sobre una guía horizontal	0.60
3. Puertas ventanas	varía dependiendo de la cantidad de fajas cerradas. Se necesita medir la porosidad

El FPV supone que las persianas o cortinas interiores no bloquean el viento

FORMULARIO PARA CALCULAR EL AREA DE ABERTURA
DE VENTANA PARA EDIFICIOS CON VENTILACION CRUZADA
Centro de Energía Solar de Florida, Agosto 1983

- Proyecto
Analista
- Volumen de la vivienda, $V = \text{área de piso} \times \text{altura de cielorraso}$ = $\frac{200}{1} \text{ m}^3$
 - Relación de renovaciones de aire requeridas por hora, RAPH (valor recomendado:30) = $\frac{30}{1}$
 - Relación de flujo de aire requerido, RFA
 $RFA = V \times RAPH/60$ = $\frac{100}{1} \text{ m}^3/\text{min}$
 - Ubicación del edificio Manatí (ciudad)
Mes de diseño Enero (mes)-(Tabla 1)
 - Velocidad del viento para el mes considerado, VV (Tabla 1) = $\frac{7}{1} \text{ km/h}$
 - Dirección dominante del viento para el mes considerado, DV = $\frac{SSE}{1}$
 - Angulo de incidencia en la fachada a barlovento,
(Del plano del sitio y la dirección dominante del viento) = $\frac{22.5}{1} \text{ grados}$
 - De la tabla determinar:
8.a-Coeficiente de presión a barlovento CPB = $\frac{+0.40}{1}$
8.b-Coeficiente de presión a sotavento CPS = $\frac{-0.40}{1}$
 - Diferencial de coeficientes de presión, DCP
 $DCP = CPB - CPS$ = $\frac{0.80}{1}$
 - Para las adyacencias y el tipo de edificio propuesto, determinase según
Tabla 3 el factor de corrección del coeficiente de presión, $FCCP$ = $\frac{0.73}{1}$
 - Calcular el diferencial del coeficiente de presión corregido, CP
 $CP = DCP \times FCCP$
paso 9 paso 10 = $\frac{0.58}{1}$
 - Obtener el factor de corrección del terreno, FCT de la Tabla 4 = $\frac{0.50}{1}$
 - Computar la velocidad meteorológica corregida del viento en metro por minuto, V
 $V = VV \times FCT \times 1.60934$
paso 5 paso 12 = $\frac{58.1}{1} \text{ m/min}$
 - Calcular el área efectiva de abertura A según
 $A = \frac{1.56 RFA}{V \sqrt{CP}} = \frac{1.56}{\text{paso 13}} \frac{\text{paso 3}}{\sqrt{\text{paso 11}}}$ = $\frac{3.52}{1} \text{ m}^2$
 - Seleccionar un área abierta de entrada, A_e mayor que A
Nota: si se desea áreas iguales de entrada y salida $A_e = 1.41 A$ = $\frac{4.20}{1} \text{ m}^2$
 - Calcular el área abierta de salida, A_s
 $A_s = \frac{A \times A_e}{\sqrt{(A_e^2 - A^2)}}$
paso 15 paso 14 = $\frac{6.45}{1} \text{ m}^2$
 - Incrementar las áreas abiertas calculadas anteriormente para el bloqueo debido
a la inserción de persianas, ventanas parcialmente abiertas, etc.
Encontrar el factor de porosidad, FP de la Tabla 5 = $\frac{0.64}{1}$
 - Calcular el total (no abierto) de áreas de ventana de entrada y salida TA_e , TA_s
 $TA_e = A_e / FP$
pasos 15 y 17 = $\frac{6.56}{1} \text{ m}^2$
 $TA_s = A_s / FP$
pasos 16 y 17 = $\frac{10.08}{1} \text{ m}^2$
 - Calcular el área total de ventana como un porcentaje del área total de piso
 $(TA_e + TA_s) / AP$
paso 18 = $\frac{20.8}{1} \%$
 - Notese que se necesitan algunas ventanas adicionales para áreas sin ventilación
cruzada, como por ejemplo baños.

ANEXO H ESTUDO DE CASO: ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA

ANEXO H.1 Medições de iluminância natural

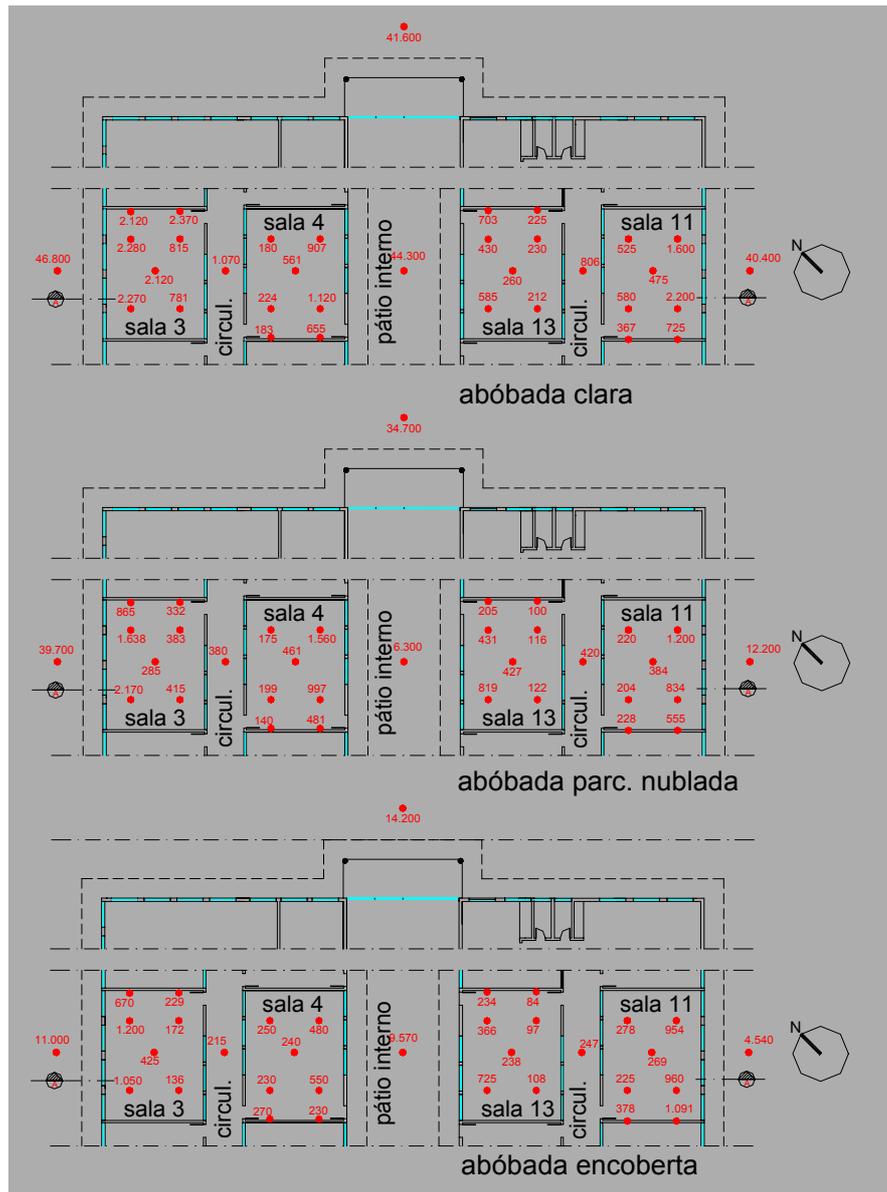


FIGURA H.1 – SEPLAN-PMPF, Escola Municipal Guaracy B. Marinho, Passo Fundo - RS, 1993. Planta baixa. Medições de iluminância (lux).

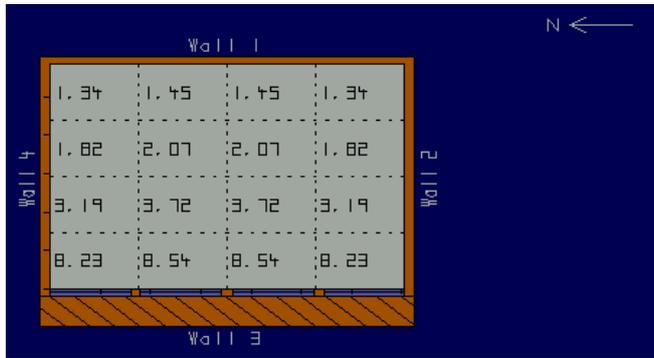
- abóbada celeste clara. data 01/06/1999. hora 14:50/16:45;
- abóbada celeste parcialmente encob. data 16/06/1999. hora 9:30/10:40;
- abóbada celeste encoberta. data 04/06/1999. hora 9:20/10:45.

OBS.: os pontos localizados junto às paredes correspondem ao plano vertical do quadro-negro.

FONTE: Elaborado pelo autor.

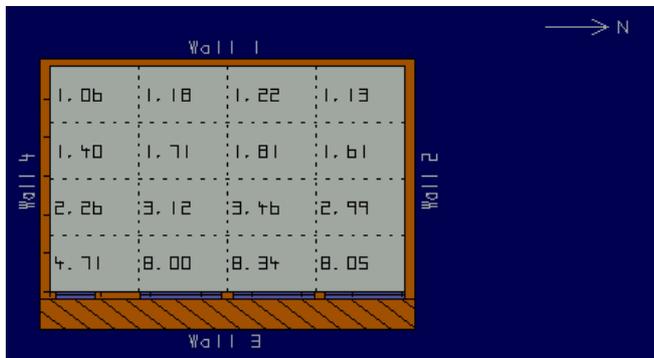
Instrumento utilizado: *Luxímetro digital LX-101 LUTRON.*

ANEXO H.2 Simulação de iluminância natural com a utilização de programas computacionais



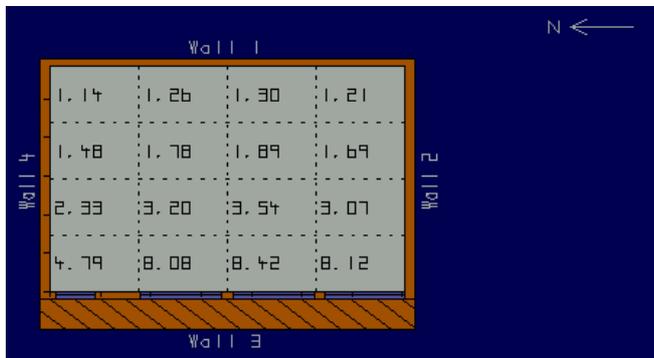
171	186	186	171
233	265	265	233
408	476	476	408
1 053	1 093	1 093	1 053

Sala 3



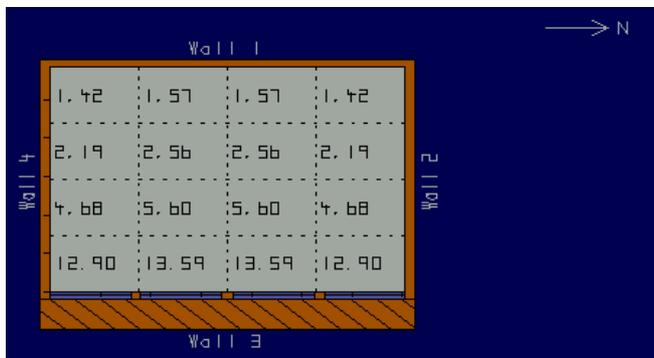
136	151	156	145
179	219	232	206
289	399	443	383
603	1 024	1 067	1 030

Sala 4



146	161	166	155
189	228	242	216
298	409	453	393
613	1 034	1 077	1 039

Sala 13



182	201	201	182
280	328	328	280
599	717	717	599
1 651	1 739	1 739	1 651

Sala 11

FIGURA H.2 - Fator de luz do dia - *daylight factor* (%).
 FONTE: *Daylight* (FRAME; BIRCH, 1991). Elaborado pelo autor.

TABELA H.1 – Iluminâncias internas nos equinócios, correspondente à FIG. H.2.
 Iluminância externa difusa: 7.108,38 lux (abóbada celeste parcialmente nublada, 10 h).
 Fatores de correção para orientações NO e SE: 1,8.
 FONTE: *ISE* (STAHL, 1993). Elaborado pelo autor.

ANEXO H.3 Iluminação artificial suplementar



FIGURA H.3 – SEPLAN-PMPF, *Escola Municipal Guaracy B. Marinho*, Passo Fundo - RS, 1993.
Vista interna de sala de aula.
Sobre o quadro-negro foram instaladas duas lâmpadas fluorescentes de 40W (2.600 lm).
FONTE: foto do autor.

A seqüência do anexo apresenta os cálculos de iluminância utilizados na proposta de *retrofitting* do sistema de iluminação artificial suplementar à iluminação natural em escola de Passo Fundo – RS, através de programa computacional (ITAIM, 1998).

ITAIM

CÁLCULO DE ILUMINÂNCIA

Cliente: Escola Municipal Guaracy B. Marinho

Obra: Sala 03 - Situação existente

Luminária: ITAIM 410 - 2x110W

Lâmpada: Lâmpada Fluorescente TLTRS110/75 Philips

Fluxo luminoso: 7600

Reator: Partida Rápida

Fator de fluxo do reator: 1,00 Fator de potência: 0,90

Ambiente:

Dimensões: Comprimento: 7,1 m Largura: 5,8 m Pé-direito: 3,0 m

Refletâncias: Teto: 50% Parede: 50% Piso: 10%

Fator de perdas luminosas: 0,70 Fator de utilização: 0,61

Atividade: Sala de aula

Iluminância solicitada: 300 lx

Quantidade de luminárias: 2

Iluminância em serviço: 314 lx

Escala 1:100

Comprimento

Quantidade de luminárias: 2

Espaçamento entre eixos: 3,55

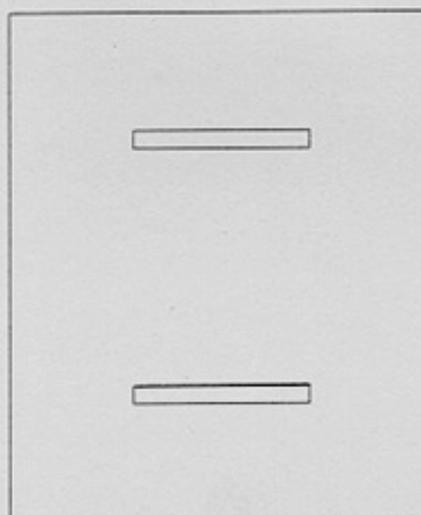
Espaçamento da parede: 1,78

Largura

Quantidade de luminárias: 1

Espaçamento entre eixos: 5,80

Espaçamento da parede: 2,90



ITAIM

CÁLCULO DE ILUMINÂNCIA

Cliente: Escola Guarracy B. Marinho
 Obra: Sala 03 - Situação Proposta I

Luminária: ITAIM 410 - 2x32W

Lâmpada: Lâmpada Fluorescente FO32/21 Lumilux/Osram
 Fluxo luminoso: 2700

Reator: Partida Rápida
 Fator de fluxo do reator: 1,00 Fator de potência: 0,90

Ambiente:
 Dimensões: Comprimento: 7,1 m Largura: 5,8 m Pé-direito: 3,0 m
 Refletâncias: Teto: 70% Parede: 50% Piso: 10%
 Fator de perdas luminosas: 0,70 Fator de utilização: 0,62

Atividade: Sala de aula
 Iluminância solicitada: 300 lx

Quantidade de luminárias: 6
 Iluminância em serviço: 343 lx

Escala 1:100

Comprimento
 Quantidade de luminárias: 3
 Espaçamento entre eixos: 2,37
 Espaçamento da parede: 1,19

Largura
 Quantidade de luminárias: 2
 Espaçamento entre eixos: 2,90
 Espaçamento da parede: 1,45

