

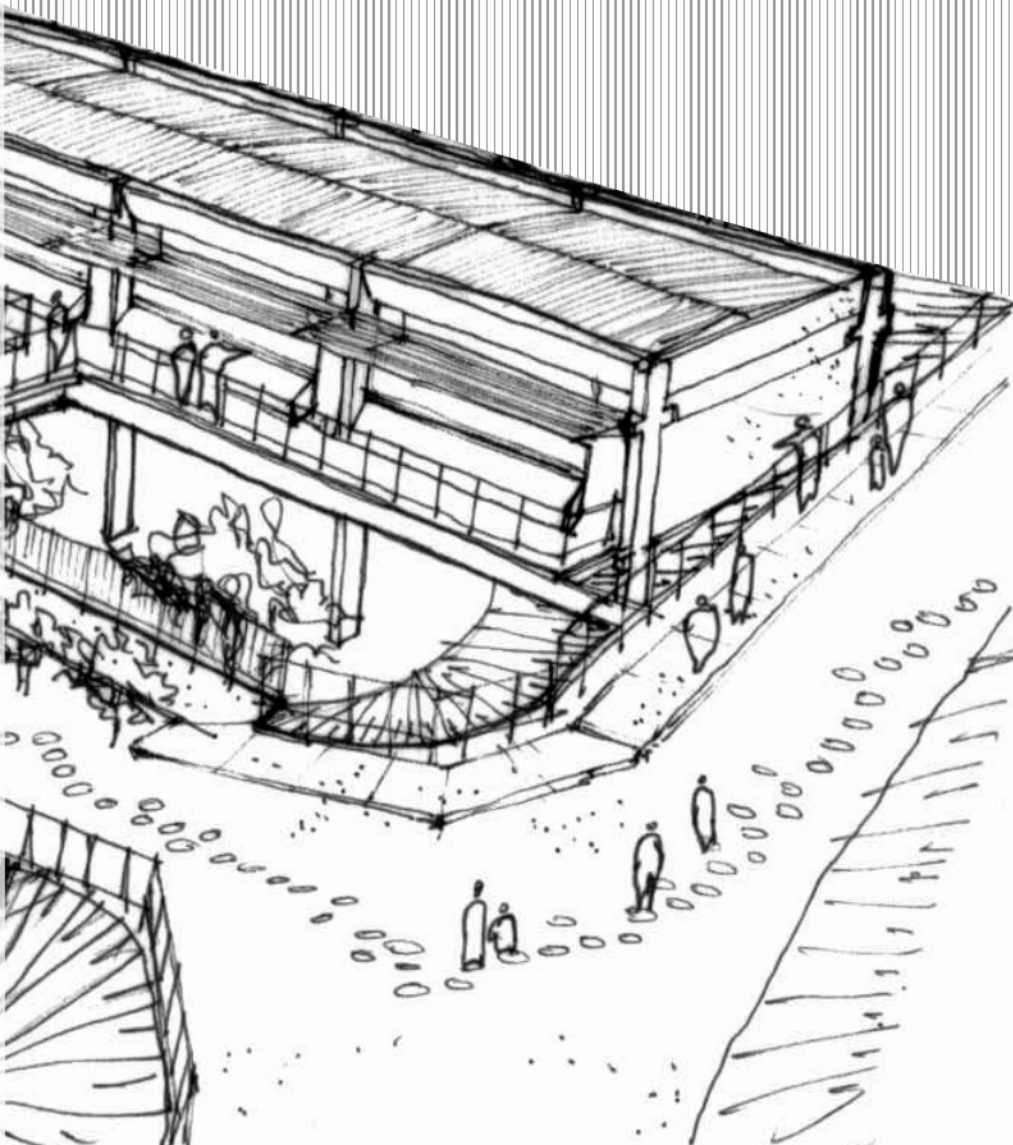


Universidade de São Paulo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação

Cecília Mattos Mueller

**Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental:
o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**

Dissertação de mestrado



Orientadora Profa. Dra.
Anésia Barros Frota

São Paulo
2007

Apoio



Cecília Mattos Mueller

**Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental:
o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo para
obtenção de título de Mestre

Área de concentração:

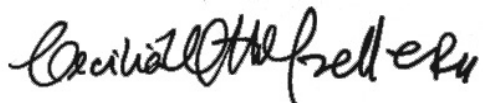
Tecnologia da Arquitetura

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Anésia Barros Frota

São Paulo, 2007

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.



Nome do autor: Cecília Mattos Mueller

Instituição: Universidade de São Paulo

e-mail: cecimm@usp.br

M958e Mueller, Cecília Mattos
Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto / Cecília Mattos Mueller. -- São Paulo, 2007.
258 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) - FAUUSP.
Orientadora: Anésia Barros Frota

1.Escolas 2.Conforto ambiental 3.Projeto de arquitetura

I.Título

CDU 727.1

Dedico esse trabalho a
meu marido Sandro, indispensável em minha
vida;
meus pais Eliseu e Ivani, que são o exemplo em
tudo para mim;
meus sogros Amorim e Lucilene, pelo apoio e
incentivo sempre.

Agradecimentos

À Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento da pesquisa.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa concedida nos 2 primeiros meses da pesquisa.

À Prof^a. Dr^a. Anésia Barros Frota, pela orientação valiosa, pela dedicação e presença constantes durante todo o mestrado, e acima de tudo, pela amizade sincera.

À Prof^a. Dr^a. Márcia Peinado Alucci, pela amizade, sabedoria, e pelas colocações na banca de qualificação.

Às Prof^{as}. Dr^{as}. Denise Duarte e Joana Gonçalves, pelas importantes e decisivas conversas sobre o plano de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Paulo Bruna, pela motivação e pelas colocações na banca de qualificação.

Às arquitetas e companheiras de pesquisa, Andréa Vosgueritchian, Gisele De Benedetto, Mônica Marcondes, Alessandra Prata e Rita Buoro, pela amizade, pelas importantes conversas, pela presença *on-line* em todos os momentos, pelo incentivo e pela disponibilidade em ajudar, sempre.

À arquiteta Daniela Laudares Pereira, pela amizade sincera desde os nossos tempos como 'aluna especial', pela fundamental presença durante todo o mestrado, e pela ajuda na reta final da pesquisa.

Aos amigos pesquisadores do Labaut, Rafael Brandão, Carolina Leite, José Ovídio Ramos, Norberto Moura, Marcos Yamanaka, e às arquitetas mestrandas Diana Csillag e Sandra Regina Pinto, pela troca de experiências e aprendizados.

Às funcionárias do AUT/FAUUSP Silvana, Lúcia e Viviane, pela simpatia e disponibilidade, sempre.

Aos amigos Luciana Naccache, Rodrigo Gebara e Fabiano D'Amato, pela participação e incentivo durante o processo.

À Avany Ferreira, gerente de Planejamento e Projetos da FDE, pela disponibilidade e auxílio ao acesso de materiais e informações fundamentais para essa pesquisa.

Um desperdício de energia consumida para pensar, amar, criar, atuar, opinar, transformar, sentir, projetar, executar. Essas energias não se esgotam nunca. Pelo contrário. A humanidade precisa de um consumo cada vez maior delas. As outras – as que movem o mundo material, as que resfriam e aquecem os nossos edifícios – cuidemos delas!

Lúcia Mascaró, 1986.

Resumo

A pesquisa intitulada de **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto** tem como objeto de estudo o espaço físico onde são realizadas as atividades de ensino e aprendizagem em uma escola.

O objetivo final é exemplificar, através de estudos preliminares para um anteprojeto de uma escola pública de 1º grau, o processo metodológico para a elaboração de projetos com qualidade ambiental (térmica, luminosa, acústica, visual e ergonômica).

A metodologia da pesquisa compreende: a revisão bibliográfica sobre conforto ambiental em escolas e arquitetura bioclimática; a proposta de etapas que configuram uma metodologia de projeto com enfoque ambiental; os estudos preliminares para um anteprojeto de escola; a verificação do desempenho térmico e luminoso das salas de aula propostas.

Essa pesquisa busca mostrar que é possível, dentro da rotina habitual e do exercício profissional dos arquitetos, incorporar a metodologia de projeto aqui apresentada para se alcançar a relação ótima entre forma, estética, racionalidade construtiva, custo, conforto ambiental e eficiência energética.

Palavras-chave: escola, projeto, qualidade ambiental, conforto ambiental, arquitetura bioclimática, desempenho.

Abstract

This research, entitled **Teaching and learning spaces with environmental quality: the methodological process for building's design** has the space where the teaching and learning activities take place in a school as the main subject.

The final goal is to use a design of a public elementary school to give an example of the methodological process of projects building with environmental quality (thermal, lighting, acoustic, visual and ergonomic).

The research methodology involves: the bibliographic revision of environmental comfort in schools and bioclimatic architecture; one proposal of stages to build together a project methodology with environmental focus; the preliminary studies for a school project; thermal and lighting performance verification of the proposed classrooms.

This research aims to show that it is possible - during the architects' routine and professional activity - to adopt the methodological process presented here in order to achieve the optimal ratio among shape, esthetics, constructive rationality, economic cost, environmental comfort and energy efficiency.

Keywords: school, project, environmental quality, environmental comfort, bioclimatic architecture, performance.

Lista de Figuras

Figura 1 - Giaudrone Middle School, EUA. Fonte: < http://www.tacoma.k12.wa.us/distinfo/facilities >. Acesso em: 11 jan. 2006.....	8
Figura 2 - <i>Somerville Intermediaty School</i> , Nova Zelândia. Fonte: < http://www.designshare.com/projects/ >. Acesso em: 25 abr. 2006	9
Figura 3 - Peel Education and TAFE Campus, Austrália. Fonte: < http://www.designshare.com/projects >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	9
Figura 4, 5 - <i>Dena Boer Elem. School</i> , Califórnia, EUA. Fonte: < http://www.fsec.ucf.edu/bldg/pubs/manual/ >. Acesso em: 28 mar. 2006	10
Figura 6 - <i>Yocha-de-He Preparatory School</i> , California, EUA. Fonte: < http://www.designshare.com/projects >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	11
Figura 7 - <i>Hachoresch Elem.School</i> , Israel. Fonte: < http://www.designshare.com/projects/ >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	11
Figura 8, 9 - <i>Edisto Beach Interpretive Center, Edisto Island</i> , Carolina do Sul, EUA. Fonte: < http://www.designshare.com/projects/view.asp?p=images&pid=436&img=3396 >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	12
Figura 10 - Somerville Interm. School, Nova Zelândia. Fonte: < http://www.designshare.com/projects/ >. Acesso em: 25 abr. 2006	13
Figura 11 - Captação da água da chuva. Fonte: < http://www.researchmatters.harvard.edu/story.php?article_id=711 >. Acesso em: 25 abr. 2006	13
Figura 12 - Alternativa de locomoção. Fonte: < http://www.transport2000.org.uk/goodpractice/KesgraveSchool.htm >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	14
Figura 13 - Alunos aprendendo sobre energia gerada por painéis fotovoltaicos. Fonte: www.wiconsun.org/learn/learn_school.shtml . Acesso em: 12 jul. 2005.....	14
Figura 14 - Hachoresch Elementary School, Israel. Fonte: < http://www.designshare.com/projects/ >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	17
Figura 15 - Arquitetura como elemento definidor da imagem do edifício. Edifício escolar <i>Lycée Polyvalent</i> , Frejus, França, 1993 (Norman Foster). Fonte: Hawkes, 2002, p. 39	17
Figura 16 - <i>Roy Lee Walker Elem. School</i> , Texas, EUA. Fonte: < www.innovativedesign.net >. Acesso em: 10 abr. 2006.....	36
Figura 17 - <i>Zhangde Primary School</i> , Singapura. Fonte: < http://www.designshare.com/projects/ >. Acesso em: 20 abr. 2006.....	37

Figura 18 - <i>The New Montessori School</i> , Holly Springs, NC, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006	37
Figura 19 - <i>Santa Rita School</i> , Califórnia, EUA. Fonte: <http://www.designshare.com/projects/ >. Acesso em: 20 abr. 2006	37
Figura 20, 21 - <i>R.D. & Euzelle P. Smith; Clayton Middle School</i> , EUA, respect. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso: 10 abr. 2006	38
Figura 22, 23 - Escola em Fresno, Califórnia, EUA. Fonte: California Energy Commission (2003b)	43
Figura 24 - <i>Durant Road Middle School</i> , Califórnia, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 12 abr. 2006	44
Figura 25 - <i>Luz Heritage Middle School</i> , Califórnia, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 12 abr. 2006	44
Figura 26 - <i>Reim Elementary School</i> , Israel. Fonte: <http://www.designshare.com/projects/>. Acesso em: 20 abr. 2006	44
Figura 27 - <i>Noble High School</i> , EUA. Fonte: <http://www.designshare.com/projects>. Acesso em: 20 abr. 2006	45
Figura 28 - High Tech High, EUA. Fonte: <http://www.designshare.com/projects/>. Acesso em: 20 abr. 2006.....	45
Figura 29 - Exterior da sala de aula da <i>Santa Rita School</i> , Los Altos, Califórnia, EUA. Fonte: <http://www.designshare.com/projects/view.asp?pid=514&p=>. Acesso em: 20 abr. 2006.....	46
Figura 30 - Interior da sala de aula da <i>Santa Rita School</i> , Los Altos, Califórnia, EUA. Fonte: <http://www.designshare.com/projects/view.asp?pid=514&p=>. Acesso em: 20 abr. 2006.....	46
Figura 31 - <i>Heritage Middle School</i> , Califórnia, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006.....	46
Figura 32 - <i>Four Oaks Elementary School</i> , EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006	46
Figura 33 - <i>Four Oaks Elementary School</i> , EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006	46
Figura 34 - Sala de aula durante a medição. Fonte: Nelson (2003)	48
Figura 35 - Sala de aula durante a medição. Fonte: Nelson (2003)	49
Figura 36 - Tipos de divisórias leves. Fonte: Seep et al. (2000).....	55
Figura 37 - Propagação do ruído através de divisórias. Fonte: Seep et al. (2000).....	55
Figura 38 - Portas desencontradas. Fonte: Seep et al. (2000)	56

Figura 39 - <i>Greenman Elementary School</i> , Illinois, EUA. Fonte: < http://www.designshare.com/projects >. Acesso em: 20 abr. 2006	63
Figura 40 - <i>Paschalis School</i> , Holanda. Fonte: < http://www.designshare.com/projects >. Acesso: 20 abr. 2006.....	63
Figura 41 - Pré-escola. Fonte: < http://www.dmsa-online.com/federicoginer >. Acesso em 24 abr. 2006.....	64
Figura 42 - <i>Chloe Clark Elem. School</i> , Seattle, EUA. Fonte: < http://www.dlrgrouppeducation.com/education/portfolio >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	64
Figura 43 - Adaptação do mobiliário em uma escola pública no Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Eyer (2003)	66
Figura 44 - 'Mesa' em uma escola no Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Eyer (2003)	67
Figura 45 - Escola pública no Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Eyer (2003).....	67
Figura 46 - Carteiras agrupadas. Fonte: < www.tomsextonfurniture.com/catalog1.htm >. Acesso em: 24 abr. 2006	70
Figura 47 - <i>Shiprock Alterna. School</i> , New Mexico, EUA. Fonte: < http://www.reznetnews.org/student/051202_hogan/ >. Acesso em: 25 abr. 2006.....	70
Figura 48- Carta psicrométrica com plotagem dos dados climáticos de São Paulo. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.	86
Figura 49 - Fluxograma do Programa arquitetônico. Fonte: Ferreira e Mello (2006). Montagem: MUELLER, C.M.....	116
Figura 50 - Foto aérea da região do HU/ USP. Fonte: Google Earth. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.	119
Figura 51 - Foto aérea da região do HU/ USP. Fonte: Google Earth. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.	119
Figura 52 - Terreno pertencente à USP e destinado à FDE. Escala gráfica. Fonte: FDE. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.	120
Figura 53 - Vista 1 do terreno a partir do portão da R. Pangaré.....	120
Figura 54 - Vista 2 do terreno a partir da R. Baltazar Rabelo	120
Figura 55 - Vista 3 do terreno a partir do portão da R. Baltazar Rabelo	121
Figura 56 - Vista 4 do terreno a partir do estacionamento da USP	121
Figura 57 - Vista do terreno a partir da Av. Corifeu de Azevedo Marques.....	121
Figura 58 - Vista 6 da vizinhança da R. Pangaré	121

Figura 59 - Vista 5 da parte inferior do terreno a partir da esquina da R. São Remo com R. Pangaré	122
Figura 60 - Radiação solar por orientação para São Paulo. Fonte (dados climáticos): Normais climatológicas 1961-90 do INMET (1992). Fonte (programa computacional): <i>Climaticus</i>	123
Figura 61 - Dados climáticos horários de São Paulo plotados em Carta Psicrométrica com zonas bioclimáticas. Fonte (dados climáticos): DE BENEDETTO (2006). Fonte (programa computacional para plotagem dos dados): <i>Analysis Bio</i> . Montagem gráfica: MUELLER, C.M.	125
Figura 62 - Dados climáticos horários de São Paulo (solstícios e equinócios) plotados em Carta Psicrométrica com zonas bioclimáticas. Fonte (dados climáticos): DE BENEDETTO (2006). Fonte (programa computacional para plotagem dos dados): <i>Analysis Bio</i> . Montagem gráfica: MUELLER, C.M.....	126
Figura 63 - Frequência de ocorrência da direção e velocidade do vento ao longo do ano de referência. Fonte: De Benedetto (2006).....	128
Figura 64 - Implantação geral da escola FDE no terreno junto ao HU/USP no Butantã, São Paulo	131
Figura 65 - Acesso à escola	132
Figura 66 - Blocos de sala de aula.....	132
Figura 67 - Carta solar de São Paulo com máscara de sombreamento da marquise metálica na esquadria inferior da fachada norte.....	135
Figura 68 - Ângulo de insolação $h=22^\circ$, sendo que $h_v=23^\circ$ (rebatido para o plano de corte) na face sul (sol das 7h e 17h no solstício de verão).....	135
Figura 69 - Ângulo de insolação $h=h_v=43^\circ$ na face norte (sol das 12h no solstício de inverno)..	135
Figura 70 - Ângulo de insolação $h=h_v=65^\circ$ na face norte (sol das 12h nos equinócios)	135
Figura 71 - Marquise com réguas metálicas inclinadas: sombreamento e proteção do corredor..	136
Figura 72 - Fachada norte (bloco térreo): proteção solar da marquise metálica às 10h no verão	136
Figura 73 - Fachada norte (bloco térreo): incidência da radiação solar direta no peitoril às 10h no inverno (aquecimento solar passivo)	136
Figura 74 - Fachada norte (bloco elevado): radiação solar direta no peitoril e radiação filtrada pela marquise metálica na esquadria inferior às 10h no inverno	136
Figura 75 - Sol das 14h no inverno (<i>Sketch Up</i>)	137
Figura 76 - Sol das 12h no verão (<i>Ecotect</i>)	137
Figura 77 - Mancha de sol na sala às 10h no inverno (<i>Ecotect</i>).....	138

Figura 78 - Mancha de sol na sala às 15h no inverno (<i>Ecotect</i>)	138
Figura 79 - Ângulo de incidência do sol às 8h no solstício de inverno ($h_v=46^\circ$) com a prateleira de luz original.....	138
Figura 80 - Ângulo de incidência do sol às 8h no solstício de inverno ($h_v=46^\circ$) com a prateleira de luz estendida	138
Figura 81 - Ventilação de conforto em épocas quentes com vento de direção sul	141
Figura 82 - Ventilação de conforto em épocas quentes com vento de direção norte.....	141
Figura 83 - Ventilação de conforto em épocas frias com vento de direção sul	142
Figura 84 - Ventilação de conforto em épocas frias com vento de direção norte.....	142
Figura 85 - Módulo da sala de aula: sistema de aberturas e dimensões	143
Figura 86 - Esquema geral da ventilação sobre os blocos de salas de aula: direção, velocidade dos ventos, distância dos anteparos	143
Figura 87 - Integração com a terra	147
Figura 88 - Recreio coberto sob pilotis do Bloco Norte; esquadrias com vista para o anfiteatro...	148
Figura 89 - Salas de aula com propostas simples para melhoria da acústica interna	149
Figura 90 - Sala de aula do bloco sul	151
Figura 91 - Materiais de construção aplicados ao módulo de sala de aula.....	153
Figura 92 - Cores falsas de iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 08h no verão (céu claro). Fonte (programas de simulação): <i>Radiance</i> e <i>Ecotect</i>	159
Figura 93 - Curvas isolux na sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programas de simulação): <i>Radiance</i> e <i>Ecotect</i>	159
Figura 94 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programas de simulação): <i>Radiance</i> e <i>Ecotect</i>	159
Figura 95 - Fator de luz diurna na sala de aula do Bloco Sul. Fonte (programas de simulação): <i>Radiance</i> e <i>Ecotect</i>	160
Figura 96 - Estudos iniciais de implantação.....	183
Figura 97 - Implantação do conjunto; planta baixa dos edifícios.....	184
Figura 98 - Corte A - transversal aos blocos de salas de aula.....	185
Figura 99 - Planta ampliada do blocos de sala de aula	185
Figura 100 - Implantação geral do conjunto.....	186

Figura 101 - Vista parcial do conjunto; teto jardim sobre o bloco sul de salas de aula.....	186
Figura 102 - Acesso de pedestres ao conjunto da escola; percurso sob pérgola.....	187
Figura 103 - Anfiteatro e praça central da escola.....	187
Figura 104 - Conexão entre os blocos de salas de aula; inserção da construção à topografia do terreno	188
Figura 105 - Jardim entre os blocos de salas de aula	188
Figura 106 - Trajetória solar no solstício de verão	189
Figura 107 - Trajetória solar no solstício de inverno.....	190
Figura 108 - Trajetória solar nos equinócios	191
Figura 109 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de verão (fachadas Norte)	192
Figura 110 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de verão (fachadas Norte)	193
Figura 111 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de verão (fachadas Sul)	194
Figura 112 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de verão (fachadas Sul).....	195
Figura 113 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de inverno (fachadas Norte).....	196
Figura 114 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de inverno (fachadas Norte)	197
Figura 115 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de inverno (fachadas Sul).....	198
Figura 116 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de inverno (fachadas Sul)	199
Figura 117 - Relatório de impressão do cálculo de ventilação por efeito chaminé para uma sala de aula feito no programa Chaminé.....	200
Figura 118 - Planilha das propriedades, áreas e contribuição de perda e ganho de calor por material (Bloco Sul).....	201
Figura 119 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Sul no verão (método do CSTB). Fonte (planilha): MUELLER, C.M.	202
Figura 120 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Sul no inverno (método do CSTB). Fonte (planilha): MUELLER, C.M.	203
Figura 121 - Planilha das propriedades, áreas e contribuição de perda e ganho de calor por material (Bloco Norte).	204
Figura 122 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Norte no verão (método do CSTB). Fonte (planilha): MUELLER, C.M.	205

Figura 123 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Norte no inverno (método do CSTB). Fonte (planilha): MUELLER, C.M.....	206
Figura 124 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	207
Figura 125 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	207
Figura 126 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	208
Figura 127 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	208
Figura 128 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	209
Figura 129 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	209
Figura 130 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	210
Figura 131 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	210
Figura 132 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	211
Figura 133 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	211
Figura 134 - Curvas <i>isolux</i> da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	212
Figura 135 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	212
Figura 136 - Curvas <i>isolux</i> da sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	213
Figura 137 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	213
Figura 138 - Curvas <i>isolux</i> da sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	214

Figura 139 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	214
Figura 140 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	215
Figura 141 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	215
Figura 142 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	216
Figura 143 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	216
Figura 144 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	217
Figura 145 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	217
Figura 146 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	218
Figura 147 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	218
Figura 148 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	219
Figura 149 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	219
Figura 150 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	220
Figura 151 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	220
Figura 152 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	221

Figura 153 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	221
Figura 154 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	222
Figura 155 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	222
Figura 156 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	223
Figura 157 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	223
Figura 158 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	224
Figura 159 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	224
Figura 160 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	225
Figura 161 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	225
Figura 162 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	226
Figura 163 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): <i>Radiance</i>	226
Figura 164 - Planilha de estimativa de iluminância interna e potencial de economia de energia para a sala de aula (prateleira de luz original) numa situação de céu encoberto, considerando 300 lux o nível de iluminação geral a ser atingido. Fonte (planilha de cálculo: PEREIRA (2006)	227
Figura 165 - Planilha de estimativa de iluminância interna e potencial de economia de energia para a sala de aula (prateleira de luz original) numa situação de céu encoberto, considerando 450 lux o nível de iluminação geral a ser atingido. Fonte (planilha de cálculo: PEREIRA (2006)	228
Figura 166 - Planilha de estimativa de iluminância interna e potencial de economia de energia para a sala de aula (prateleira de luz original) numa situação de céu encoberto, considerando 900 lux o nível de iluminação na mesa de trabalho. Fonte (planilha de cálculo: PEREIRA (2006).....	229
Figura 167 e 168 - Fachada e detalhe da esquadria do edifício de Ciências da <i>Barry University</i> . Fotos de set. 2005.....	232

Figura 169 e 170 - Corredores das salas de aula do edifício de Ciências da <i>Barry University</i> . Fotos de set. 2005.....	233
Figura 171 - Sala de aula padrão na <i>Barry University</i> . Vista para a única janela da sala. Foto de set. 2005.....	233
Figura 172 e 173 - Edifício que abriga as faculdades de Arquitetura, Biologia, Matemática e outras atividades. Fotos de set. 2005.....	234
Figura 174, 175, 176 - Edifício que abriga atividades administrativas. Fotos de set. 2005.....	235
Figura 177 - Sala de aula da Faculdade de Arquitetura. Foto de set. 2005.....	235
Figura 178, 179, 180 - Circulação interna do edifício que abriga a Faculdade de Arquitetura e outras. Fotos de set. 2005.....	236
Figura 181, 182, 183 - Edifício com circulação externa. Fotos de set. 2005.....	236
Figura 184 - Sala de aula padrão dos edifícios com balcão e circulação externa. Foto de set. 2005.....	237
Figura 185, 186 - Espaços abertos em Kendall Campus. Fotos de set. 2005.....	237
Figura 187, 188, 189 - Percursos de pedestres em Kendall Campus. Fotos de set. 2005.....	237
Figura 190, 191, 192 - Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005.....	238
Figura 193, 194, 195 - Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005.....	239
Figura 196, 197 - Ateliê de projeto da Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005.....	239
Figura 198, 199, 200 - Edifício administrativo da Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005.....	240
Figura 201, 202 - Escola em Fort Lauderdale: edifício principal ao fundo, salas de aula temporárias a frente. Fotos de mar. 2006.....	241
Figura 203, 204 - <i>Floranada Elementary School</i> (esquerda); <i>Sunset Learning Center</i> (direita), Flórida. Fonte: < http://www.zyscovich.com/ >. Acesso em: 30 abr. 2006.....	242
Figura 205, 206, 207 - Fachadas de diferentes edifícios do <i>Campus</i> Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	244
Figura 208, 209, 210 - Fachadas de diferentes edifícios do <i>Campus</i> Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	245
Figura 211, 212, 213 - Edifício da Engenharia da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	245
Figura 214, 215 - Fachadas de diferentes edifícios do <i>Campus</i> Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	246

Figura 216, 217, 218 - Corredores externos de diferentes edifícios do <i>Campus</i> Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	246
Figura 219, 220 - Balcão/ corredor externo da Faculdade de Arquitetura (esquerda) e da Faculdade de Engenharia (direita) da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	247
Figura 221, 222, 223 - Corredores internos de diferentes edifícios do <i>Campus</i> Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	247
Figura 224, 225 - Salas de aula de diferentes Engenharias da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	248
Figura 226, 227 - Ateliê da Faculdade de Arquitetura (esquerda) e sala de aula da Faculdade de Engenharia (direita) da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	248
Figura 228, 229 - Salas de aula da Faculdade de Ciências (esquerda) e da Faculdade de Biologia (direita) da UNAM. Fotos de fev. 2006	249
Figura 230, 231, 232 - Arquitetura e volumetria de diferentes edifícios do <i>Campus</i> Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	249
Figura 233, 234 - Mesma sala de aula (com e sem luz artificial) da Faculdade de Engenharia da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	250
Figura 235, 236 - Espaços de convívio entre as Faculdades de Matemática e Física (esquerda) e entre as Faculdades de Biologia (direita) no <i>campus</i> da UNAM. Fotos de fev. 2006	250
Figura 237, 238 - Espaços de convívio na Faculdade de Engenharia (esquerda) e na Faculdades de Arquitetura (direita) no <i>campus</i> da UNAM. Fotos de fev. 2006	251
Figura 239, 240, 241 - Pátio interno da Faculdade de Ciências da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	251
Figura 242, 243, 244 - Edifício da Engenharia no <i>campus</i> da UNAM. Fotos de fev. 2006.....	252
Figura 245, 246, 247, 248 - Fachadas de diferentes edifícios no <i>campus</i> Coyoacán da UNITEC. Fotos de fev. 2006.....	253
Figura 249, 250, 251 - Praça semi-aberta na entrada principal da UNITEC e detalhe da cobertura (direita). Fotos de fev. 2006.....	254
Figura 252, 253 - Praça aberta em frente ao edifício da <i>Preparatoria</i> e do auditório. Foto de fev. 2006.....	254
Figura 254, 255, 256 - Pátio interno do edifício de Licenciaturas no <i>campus</i> Coyoacán da UNITEC. Fotos de fev. 2006.....	255
Figura 257, 258, 259 - Pátio interno do edifício de Licenciaturas no <i>campus</i> Coyoacán da UNITEC. Fotos de fev. 2006.....	255
Figura 260, 261, 262 - Escolas do ensino fundamental na Cidade do México. Fotos de dez. 2005	257

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultados que demonstram a melhoria no desempenho dos estudantes em salas de aula com iluminação natural (dados coletados entre o outono e a primavera na Escola do Distrito de Capistrano, Califórnia)	19
Tabela 2 - Limites das zonas de conforto térmico de diferentes autores. Fonte: GOULART et al. (1994)	33
Tabela 3 - Limites das zonas de conforto térmico da ISO 7730 (1994).....	94
Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	95
Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	96
Tabela 6 - Limites das zonas de conforto térmico da NR 15.....	97
Tabela 7- Valores de temperatura operativa e umidade relativa equivalentes a algumas temperaturas efetivas.....	99
Tabela 8 - Programa arquitetônico para uma escola de ensino fundamental (ciclo I) da FDE	117
Tabela 9 - Quadro resumo do diagnóstico climático e estratégias de projeto resultantes para São Paulo	127
Tabela 10 - Cenários de ventilação e áreas de abertura correspondentes	144
Tabela 11 - Fluxo e número de trocas de ar da ventilação de conforto e higiênica	144
Tabela 12 - Temperatura e umidade relativa do ar para São Paulo no mês mais quente e mais frio	155
Tabela 13 - Média das Temperaturas Efetivas horárias para São Paulo no mês mais quente e mais frio	155
Tabela 14 - Resumo do cálculo de desempenho térmico no verão e inverno para a sala de aula 3 (Bloco Sul).....	156
Tabela 15 - Resumo do cálculo de desempenho térmico no verão e inverno para a sala de aula 9 (Bloco Norte).....	156
Tabela 16 - Iluminância interna média para a sala de aula do Bloco Sul nos solstícios e equinócios (sob condição de céu claro)	160

Lista de Gráficos

- Gráfico 1 - Comparação entre o modelo adaptativo de conforto proposto por Dear, Bragger e Cooper (1997) e o modelo estático proposto por Fanger (1967) aplicados a edifícios naturalmente ventilados. Fonte: *ASHRAE FINAL REPORT RP-884*..... 97
- Gráfico 2 - Temperaturas Efetivas de Conforto para São Paulo, segundo modelo adaptativo de conforto. Planilha de cálculo para originar o gráfico: LABAUT. Fonte (dados climáticos): De Benedetto (2006). Montagem gráfica: MUELLER, C.M.....100
- Gráfico 3 - Temperaturas Efetivas de Conforto para São Paulo, segundo modelo adaptativo de conforto. Planilha de cálculo para originar o gráfico: LABAUT. Fonte (dados climáticos): De Benedetto (2006). Montagem gráfica: MUELLER, C.M.....157

Lista de Reduções

Abreviaturas

To = Temperatura Operativa

Tbs = Temperatura de Bulbo Seco

Tbu = Temperatura de Bulbo Úmido

Tc = Temperatura de Conforto

ET = Temperatura Efetiva (termo em inglês)

TE = Temperatura Efetiva

Trm = Temperatura Média Radiante

Siglas

ABRAVA = Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ANSI = American National Standards Institute (EUA)

ANVISA = Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil)

ARI = The Air Conditioning and Refrigeration Institute (EUA)

ASA = Acoustical Society of America (EUA)

ASE = Alliance to Save Energy (EUA)

ASHRAE = American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (EUA)

BRE = Building Research Establishments

CHPS = The Collaborative for High Performance Schools (EUA)

CSTB = Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (França)

CTA = Centro Técnico Aeroespacial (Brasil)

DOE = Department of Energy (EUA)

EDR = Energy Design Resources (EUA)

EPA = Environmental Protection Agency (EUA)

EUA = Estados Unidos da América

FAU/ USP = Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (Brasil)

FDE = Fundação para o Desenvolvimento Escolar (Brasil)

FLD = Fator de Luz Diurna

FUPAM/ USP = Fundação para Pesquisa Ambiental da Universidade de São Paulo (Brasil)

IAE = Instituto de Aeronáutica e Espaço (Brasil) ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brasil)

IBF = Instituto Brasileiro do Frio

ISO = International Standards Organization (EUA)

LABAUT/ USP = Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Universidade de São Paulo (Brasil)

LABEEE/ UFSC = Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil)

NBR = Norma Brasileira de Registro (Brasil)

NCEF = National Clearinghouse for Educational Facilities (EUA)

NREL = National Renewable Energy Laboratory (EUA)

OMS = Organização Mundial de Saúde

PGE = The Pacific Gas and Electric Company (EUA)

RT = Recomendação Técnica (Brasil)

SBIC = Sustainable Buildings Industry Council (EUA)

SEE = Secretaria de Estado da Educação (Brasil)

Sumário

Agradecimentos.....	II
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Lista de Figuras.....	VII
Lista de Tabelas.....	XVIII
Lista de Tabelas.....	XVIII
Lista de Gráficos.....	XIX
Lista de Reduções.....	XX
1. Introdução e justificativa da pesquisa.....	1
1.1. Porque projetar edifícios com qualidade ambiental?.....	2
1.2. Porque estudar os espaços de ensino-aprendizagem?.....	4
1.3. As características de uma escola com qualidade ambiental.....	7
1.4. Os benefícios de uma escola com qualidade ambiental.....	18
2. O espaço físico escolar.....	23
2.1. O ambiente térmico e a qualidade do ar interno.....	23
2.1.1. Como as variáveis térmicas afetam o organismo.....	23
2.1.2. Como a qualidade do ar interno afeta o organismo.....	26
2.1.3. O conforto térmico: da evolução do conceito à prática projetual.....	30
2.1.4. Exemplos.....	36
2.2. O ambiente luminoso.....	38
2.2.1. Como a luz afeta o organismo.....	38
2.2.2. O conforto luminoso em prática.....	41
2.2.3. Exemplos.....	43
2.3. O ambiente acústico.....	47
2.3.1. Como o ruído afeta o organismo.....	47
2.3.2. O conforto acústico em prática.....	52
2.4. O ambiente visual.....	57
2.4.1. Como as cores e revestimentos afetam os usuários.....	58
2.4.2. O conforto visual em prática.....	60
2.4.3. Exemplos.....	63
2.5. O ambiente ergonômico.....	65
2.5.1. Ergonomia do mobiliário e do espaço físico e a influência no aprendizado.....	65
2.5.2. Exemplos.....	70
3. O processo metodológico para elaboração de projetos com qualidade ambiental.....	71
3.1. Análise do programa arquitetônico.....	73
3.2. Análise do terreno e entorno.....	73
3.2.1. Visita ao terreno.....	73
3.2.2. Documentação fotográfica e vídeo.....	74
3.2.3. O clima na região.....	74

3.2.3.1. A caracterização do clima	75
3.2.3.2. Bancos de dados climáticos	76
3.2.3.3. Programas computacionais	79
3.2.3.4. Os fenômenos físicos já ocorridos na região	80
3.2.4. Insolação, radiação e luz natural na região	80
3.2.4.1. Programas computacionais	81
3.2.5. O ruído no terreno	83
3.2.5.1. Programas computacionais	84
3.2.6. Verificação e/ou retificação do Norte.....	84
3.2.6.1. Programas computacionais	84
3.2.7. Entrevista com moradores e usuários da vizinhança	85
3.2.8. Pesquisa sobre as leis de ocupação do terreno.....	85
3.3. Aplicação da bioclimatologia à arquitetura	85
3.3.1. Do diagnóstico climático à aquisição de diretrizes de projeto	86
3.3.1.1. Cartas bioclimáticas.....	86
3.3.1.2. Programas computacionais	89
3.3.2. Escolha dos componentes construtivos.....	90
3.3.3. Busca pela forma ótima, racionalidade construtiva e exiçuidade da obra	91
3.4. Avaliação do desempenho do edifício	91
3.4.1. Critérios para avaliação: parâmetros de conforto	92
3.4.1.1. Parâmetros de conforto térmico	92
3.4.1.2. Parâmetros de conforto luminoso	101
3.4.1.3. Parâmetros de conforto acústico	102
3.4.2. Cálculos preliminares e programas computacionais de simulação de desempenho	103
3.4.2.1. Desempenho térmico	103
3.4.2.2. Desempenho luminoso	107
3.4.2.3. Desempenho acústico.....	110
3.5. Reavaliação e detalhamento do projeto.....	111
4. Exemplificação do processo metodológico.....	113
4.1. Programa arquitetônico	114
4.2. Diagnóstico físico-climático do terreno e entorno.....	118
4.2.1. Análise do terreno e entorno.....	118
4.2.2. Análise do ruído no terreno	122
4.2.3. Análise da insolação no terreno	123
4.2.4. Análise do clima na região.....	124
4.2.5. Análise dos ventos na região	128
4.3. Estratégias de projeto e Partido arquitetônico.....	129
4.3.1. Implantação.....	129
4.3.2. Insolação.....	132
4.3.3. Ventilação.....	139

4.3.4. Massa/ inércia térmica	146
4.3.5. Sistema de aberturas.....	148
4.3.6. Acústica.....	149
4.3.7. Vegetação e espaços abertos	150
4.3.8. Ergonomia	151
4.3.9. Materiais e sistema construtivo.....	152
4.4. Avaliação do desempenho térmico e luminoso das salas de aula	154
4.4.1. Desempenho térmico	154
4.4.2. Desempenho luminoso.....	158
5. Considerações finais.....	163
6. Referências	169
6.1. Bibliografia referenciada	169
6.2. Bibliografia consultada.....	176
6.3. Programas computacionais utilizados.....	180
7. Anexos.....	181
ANEXO A – Estudos preliminares para um anteprojeto de escola.....	183
ANEXO B - Cálculos e simulações de desempenho.....	189
Insolação	189
Desempenho térmico	200
Desempenho luminoso	207
8. Apêndice: Relatório de visita aos ambientes escolares no México e Estados Unidos	231

1. Introdução e justificativa da pesquisa

A pesquisa intitulada de **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto** tem como essência principal a conscientização do dever do homem em projetar um espaço visando o uso racional da energia para proporcionar proteção, conforto e bem-estar aos usuários, atendendo às condições de habitabilidade para o desenvolvimento das tarefas, sejam elas trabalhar, estudar ou descansar.

No entanto, não se pretende aqui ensinar o que é conforto, até porque a bibliografia existente é bastante extensa. Parte-se do pressuposto que as definições básicas do que é conforto, das variáveis térmicas, luminosas e acústicas já são conhecidas por todos, assim como as propriedades físicas dos materiais, os mecanismos de troca de calor, os mecanismos de distribuição da luz e da propagação do ruído.

Pretende-se mostrar como é possível aplicar a metodologia para a elaboração de projetos que visam alcançar a relação ótima entre forma, estética, racionalidade construtiva, custo, conforto ambiental e eficiência energética, na prática profissional do arquiteto atual. Para isso, a aplicação dessa metodologia será exemplificada através de um exercício de projeto, com estudos preliminares para uma escola pública de 1º grau em São Paulo, objetivo final e também produto dessa pesquisa.

A pesquisa foi estruturada em 4 partes:

- Parte 1 - Justificativa da pesquisa: foram apresentados argumentos favoráveis à necessidade e à importância de se projetar considerando a qualidade ambiental dos edifícios, principalmente daqueles que abrigam os espaços de ensino-aprendizagem.
- Parte 2 - O espaço físico escolar: foi feita uma revisão bibliográfica sobre o ambiente escolar e seu conforto térmico, luminoso, acústico, visual e ergonômico, apresentando os conceitos básicos, algumas estratégias que contribuem na qualidade ambiental desse ambiente e alguns exemplos de escolas com tal característica.
- Parte 3 – O processo metodológico para elaboração de projetos com qualidade ambiental: baseadas nas ferramentas, métodos e tecnologia hoje disponíveis para projeto de arquitetura, foram propostas etapas que configurassem uma metodologia projetual focada em atingir bons resultados formais, de conforto ambiental e de eficiência energética.
- Parte 4 – Exemplificação do processo metodológico: foram desenvolvidos estudos preliminares para uma escola primária em São Paulo, e posteriormente analisados os desempenhos térmico e luminoso das salas de aula.

1.1. Porque projetar edifícios com qualidade ambiental?

Geralmente, o tempo disponível para a criação e o desenvolvimento de um projeto arquitetônico é consideravelmente restrito. Então, por que se deve destinar parte desse tempo envolvendo-se com o clima de um dado local, ou estudando a insolação, ou calculando o desempenho térmico e luminoso dos edifícios?

De antemão, podem-se apresentar alguns benefícios imediatos resultantes desse envolvimento: conforto físico, satisfação dos usuários, economia de energia, redução do custo de operação do edifício e redução dos impactos ambientais.

A adaptação de um ambiente às condições climáticas locais é a melhor forma de alcançar uma arquitetura consciente de seus resultados energéticos e financeiros, pois reflete diretamente sobre os custos fixos de manutenção do edifício.

Segundo Corbella e Yannas (2003), essa arquitetura tem como objetivo prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional, que minimize a instalação da potência elétrica, e que diminua a produção de poluição.

Esta deveria ser a premissa fundamental de uma proposta arquitetônica, principalmente porque vivenciamos um momento de crise energética mundial e num cenário alarmante de aquecimento global.

De acordo com Heschong (2002), há 50 anos praticamente todas as escolas e espaços de trabalho utilizavam a luz natural como principal fonte de iluminação, assim como as estratégias de condicionamento natural dos ambientes. Porém, com o advento da energia barata, o uso de luminárias fluorescentes nas décadas de 50 e 60 fez com que se abandonassem os requisitos (códigos prediais) de uma taxa mínima de iluminação natural nos ambientes internos.

Além do uso indiscriminado de iluminação artificial, o resfriamento e aquecimento dos ambientes tornaram-se a solução para uma arquitetura de grandes painéis transparentes. No entanto, a partir da década de 70, os países dependentes do petróleo tiveram que repensar a demanda exagerada pela energia elétrica quando os países produtores deste produto elevaram o preço do barril. Apesar da evolução tecnológica, os recursos naturais são finitos e o agravamento da crise energética mundial ficou inadiável.

Givoni (1994) comenta que o interesse no uso de energia natural renovável como substituta das fontes convencionais de energia nos edifícios surgiu a partir dessa crise, só que se voltou primeiramente para o uso de energia solar de aquecimento. Apenas em 1978 começou-se a pensar nos sistemas passivos de resfriamento, devido ao alto preço da eletricidade (especialmente nos picos de demanda) para o condicionamento artificial nos dias quentes de verão. Outra razão seria o interesse pela redução da emissão de gases que contribui para o aquecimento global terrestre.

Emergencialmente, os vidros foram pintados com tinta fosca e escura e foram acrescentados painéis isolantes na tentativa de se reduzir o ganho de calor pelas janelas, mas, obviamente, houve uma drástica redução da quantidade de luz natural dentro dos ambientes (HESCHONG, 2002).

Estudos mais sérios e aprofundados começaram então a ser requeridos. Assim, a bibliografia sobre a arquitetura de baixo impacto ambiental é vasta, porém recente. Desde então, grandes nomes da arquitetura mundial têm assinado projetos de edifícios de baixo impacto ambiental que são exemplos de como podemos usar a tecnologia não só em favor do homem, como também em favor do meio ambiente.

Segundo Müller (2002), os pioneiros da tecnologia de baixo impacto ambiental são: Joachim Eble, Vandkunsten, Lucien Kroll, Peter Hübner, Norwegian Sverre Fehn, Jourda & Perraudin, Paolo Soleri, Frank Lloyd Wright. As estrelas da alta tecnologia são: Norman Foster, Renzo Piano, Richard Rogers, Thomas Herzog, Françoise-Hélène Jourda, Gilles Perraudin, *Read Group (Renewable Energies in Architecture and Design)*. O autor cita ainda Behnisch como representante do Humanismo ambiental e os demais como do Minimalismo ambiental: D´Inka+Scheible, Kauffmann Theilig, Mahler Günster Fuchs, Glück & Partner, Schaudt Architects, Baumschlager & Ebeler, Hermann Kaufmann, Swiss Metron, Werk Gruppe Lahr, Peter van Gerwen, Brochet+Lajus+Pueyo, Philippe Pascal+Art´ur, Pierre Bonnet+Christian Bridel.

Mas em muitos países, principalmente naqueles em desenvolvimento, vê-se o descomprometimento com as questões energéticas e ambientais como, por exemplo, edifícios que ignoram os ventos¹ e o Sol² - e o que ele poderia contribuir como fonte de iluminação natural, de aquecimento passivo de ambientes e de geração de energia elétrica.

Apesar da importância do tema, no Brasil essa preocupação apenas começou a tomar força a partir da crise energética de 2001, devido à ocorrência dos apagões³. Um grande volume de pesquisas e publicações⁴ encontrado no país visa, no final do processo, a economia de energia e a preservação ambiental, entre os quais podem-se destacar trabalhos que abordam aspectos como a caracterização das exigências humanas, das condições climáticas, do comportamento térmico de

¹ A importância da utilização dos ventos para a climatização natural das edificações é explicada por Frota e Schiffer (2001): "a renovação do ar dos ambientes proporciona a dissipação de calor e a desconcentração de vapores, fumaça, poeiras, poluentes..."

² Segundo Roméro, o Sol manifesta-se como "a tecnologia mais emergente e disponível neste fim de século" em prefácio do livro *Iluminação e Arquitetura* (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

³ Segundo Akutsu et al. (1998), as regiões brasileiras que consomem mais energia não possuem mais fontes energéticas convencionais passíveis de exploração econômica, restando a opção de importar essa energia de outras regiões. Com isso, as regiões consumidoras ficam muito próximas do seu limite operacional, uma vez que há o problema da geração e da distribuição da energia elétrica entre as usinas e pólos consumidores.

⁴ Segundo Vianna (2001), existem cerca de 1877 títulos na área de conforto ambiental no Brasil, sendo 273 teses e dissertações, 751 artigos em revistas especializadas e 853 artigos científicos em eventos técnicos da área.

edificações e a formulação de diretrizes de projeto – Alucci (1981, 1993), Frota e Schiffer (2001), Lamberts (1998), Akutsu et al. (1987, 1998), Mascaró (1978, 1991), Roriz (1991), Scarazzato (1987), entre outros.

Porém, na prática, ainda realizam-se poucos projetos que visam às questões de conservação energética, sustentabilidade e conforto ambiental no Brasil. Os edifícios que não foram adequados ao clima na fase de projeto, provavelmente necessitarão de adequações posteriores para solucionar problemas de conforto ambiental ou de eficiência energética. Com isso, o seu custo apresenta-se superior ao dos edifícios bioclimáticos.

Os edifícios deveriam ser apropriados para receber as atividades humanas de maneira que o homem não precisasse recorrer a vestimentas especiais para desenvolvê-las, ou mesmo passar por sensação de desconforto para tal fim. Deveriam ser projetados para oferecer uma qualidade ambiental interna, otimizando assim a produtividade dos ocupantes ao aproveitar melhor os recursos humanos.

Olgyay (1998) alerta que o processo lógico seria trabalhar com as forças da natureza e não contra elas. Aquelas estruturas que, em um dado entorno, reduzem as tensões inadequadas aproveitando todos os recursos naturais que favorecem o conforto humano, podem denominar-se como climaticamente equilibradas.

Segundo Corbella e Yannas (2003), antes de projetar um edifício, deve-se saber como lidar com esses aspectos. As soluções que ajudarão a propiciar o conforto térmico, as que permitirão gozar um conforto visual, e as que criarão um ambiente com conforto acústico, devem ser tratadas em conjunto no projeto de arquitetura.

Por fim, Baker e Steemers (2000) colocam que o grande propósito da boa arquitetura é conciliar o projeto de baixo consumo energético com o conforto interno dos ocupantes, sem prejudicar ou reduzir a qualidade de vida dos mesmos.

1.2. Porque estudar os espaços de ensino-aprendizagem?

A importância do tema se justifica quando nos deparamos com uma quantidade preocupante de escolas⁵ que não oferecem as mínimas condições físicas para que ali sejam realizadas as atividades básicas a que se propõem.

⁵ Entendem-se aqui como escolas quaisquer instituições públicas ou particulares que tenham como objetivo principal oferecer educação ao público que assim o demanda (do ensino básico ao superior).

O estado físico das escolas públicas é alarmante, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil. A conservação desses espaços é precária, e soma-se a esse problema a qualidade do projeto arquitetônico e da execução da construção.

Sem necessitar maiores aprofundamentos no assunto, sabe-se que as cores ou falta de pintura nas paredes, a má iluminação, o excesso de frio ou calor, a má ventilação, as trepidações, os ruídos e os ambientes escolares improvisados são condições extremamente prejudiciais para o processo de ensino-aprendizagem. Isso porque a qualidade do ar interno é essencial para a saúde dos mesmos; a iluminação natural é essencial para a melhor absorção do aprendizado; a temperatura do ar, a umidade e os níveis de ruído são essenciais na concentração e no desenvolvimento da imaginação e da criatividade.

A arquitetura escolar sempre teve destaque nas discussões, porém, foi a partir dos anos 70 que começou a ser discutida com mais critério a influência da arquitetura no processo de aprendizado, através de vários setores de pesquisa, e principalmente em discussões e estudos realizados por agentes de ensino, e agora, pelos construtores destes espaços.

A revisão de Jago e Tanner (1999) cita resultados de 17 estudos (desenvolvidos desde 1930 até 1997) sobre a qualidade e a quantidade da luz adequada ao aprendizado. Ainda, encontram-se os estudos de Mayron et al. em 1974 e de Dunn et al. em 1985 (SCHNEIDER, 2002). Segundo ele, o consenso de todas essas pesquisas apontou para a melhora do desempenho escolar e do comportamento dos alunos na presença de uma boa iluminação.

Harner, em 1974, encontrou que o intervalo de temperatura do ar interno que melhor oferecia condições para o aprendizado de leitura e matemática era entre 20 e 23°C e que o desempenho era afetado quando a temperatura do ar interno ultrapassava esse limite superior. Em 1979, King e Marans concluíram que quando se elevam a temperatura e a umidade do ar, o desconforto dos estudantes aumenta e seu desempenho e atenção diminuem (SCHNEIDER, 2002).

Johnson e Myklebus⁶ (1983 apud LEUCZ, 2001) colocam que o sucesso do processo de aprendizagem depende da conjunção de dois fatores: a integridade dos sistemas neuro-psico-emocionais (mecanismos sensoriais) e uma oportunidade adequada (espaço físico).

A neurologia da aprendizagem ressalta que o cérebro precisa receber, categorizar, armazenar e integrar as informações para definitivamente aprender (LEUCZ, 2001), portanto, o ambiente escolar⁷ tem que ser capaz de oferecer as condições perfeitas para que isso aconteça.

⁶ JOHNSON, D.; MYKLEBUST, H. Distúrbios de aprendizagem. São Paulo: Pioneira, 1983.

⁷ Entende-se como ambiente escolar o espaço físico do edifício que abriga atividades de ensino e de aprendizagem, atividades recreativas e esportivas e demais serviços fundamentais para o bom funcionamento da escola. O ambiente escolar também é aqui entendido como a atmosfera das relações entre professores e alunos e entre os mesmos e o espaço físico.

Não basta o estudante possuir boas capacidades mentais. O ambiente de ensino-aprendizagem, além de permitir a boa interação entre as pessoas, deve permitir o desenvolvimento da criatividade e da inteligência do mesmo. Isso tudo se aplica à aprendizagem formal e à aprendizagem especial. Estudantes que apresentam certos graus de alterações sensoriais, de memória, de inteligência e de maturação motora e até estudantes estrangeiros precisam de ambientes escolares ainda mais preocupados em oferecer condições físicas ótimas para que seu desenvolvimento seja normal.

A preocupação com o espaço físico de ensino-aprendizagem torna-se ainda mais imperativa quando pensamos no número de horas que um estudante e um professor passam dentro de uma escola. No Brasil, por exemplo, para atender às exigências da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, nº 9.394⁸, um aluno chega a permanecer 17 anos dentro de uma escola (somatório dos ensinos infantil, básico, fundamental, médio e superior) onde a maior parte do tempo esse passa sentado dentro de um ambiente fechado, para então cumprir os 200 dias letivos. Já o professor, este permanece quase a totalidade do seu dia de trabalho em pé e, durante toda a sua carreira.

O espaço físico é importante no sentido em que também favorece as relações didático-pedagógicas. É nesse espaço onde se estabelecem as ligações entre o professor e o aluno, fundamental para o processo de ensino-aprendizagem de qualidade. Se as condições físicas encontradas no ambiente de ensino forem apropriadas, as relações entre as pessoas que ali ensinam e/ou aprendem serão otimizadas. Da atividade escolar, que ocorre num mesmo espaço físico organizacional e cultural, participam professores e estudantes de idade cronológica e psicológica diferentes. O ambiente de ensino-aprendizagem deve ser adequado a essas diferentes demandas.

Ainda, ambientes saudáveis trazem um retorno financeiro para a escola, pois são responsáveis por diminuir o número de faltas e aumentar a média diária de presenças, aumentar a satisfação e retenção dos professores na escola, reduzir os custos com manutenção e operação e reduzir os riscos de exposição a dívidas e responsabilidades legais. Além disso, construções desse tipo reduzem os impactos ambientais, pois aumentam a eficiência energética dos sistemas, fazem bom uso da água e reduzem a emissão de poluentes e resíduos.

Portanto, a temática é importante e os espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental devem ser uma realidade para todas as escolas do mundo, porque acima de tudo, preservam os recursos do meio ambiente.

⁸ BRASIL. Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1996. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em: 27 dez. 2005.

1.3. As características de uma escola com qualidade ambiental

Essa escola possui qualidades que melhoram as atividades de ensino e aprendizado devido às condições de conforto ambiental oferecidas, enquanto economiza energia e recursos naturais, reduz os custos de operação e manutenção, a emissão de poluentes e resíduos, e faz bom uso da água.

Segundo Olson e Kellum (2003), essa escola melhora a saúde dos estudantes e funcionários, reduz o absenteísmo e melhora o desempenho escolar. Espaços mais saudáveis e mais confortáveis ajudam a escola a manter a satisfação de todos os usuários e, em especial, ajudam a manter o quadro de professores que, logo em seguida, serão responsáveis por explicar aos alunos a importância de espaços como esse. O retorno na saúde, na produtividade/ desempenho e na economia é resultado de uma ação integrada de projeto, que se inicia desde as etapas de planejamento e se estende durante todo o ciclo de vida da escola.

Atualmente existem as chamadas escolas verdes, escolas sustentáveis, escolas ecoeficientes, escolas bioclimáticas, escolas com qualidade ambiental, escolas de alto desempenho energético, entre outras, principalmente nos países norte-americanos e europeus.

Numerosos órgãos governamentais e não governamentais, entidades de pesquisa, grupos de trabalho etc., começaram a pensar, discutir, trocar informações, fornecer dados, publicar manuais e guias com diretrizes de projeto, e finalmente a construir escolas preocupadas em oferecer melhores condições de conforto ambiental e em economizar os recursos naturais.

Muitos órgãos governamentais e não governamentais europeus publicam material de qualidade, e entre eles pode-se citar o *Open House*⁹, uma organização beneficente inglesa para educação em arquitetura, que promove a discussão de arquitetura ambiental através de pesquisa, consultoria e colaboração.

No continente americano, os Estados Unidos são os que mais publicam pesquisas sobre o tema e os que mais constroem as chamadas escolas ecoeficientes. Vale destacar a preocupação exemplar de órgãos do Estado da Califórnia. Assim, elencam-se abaixo os principais órgãos norte-americanos envolvidos nesse contexto: *United States Department of Energy* (DOE) e seus programas *Energy Smart Schools* e *Rebuild America*, *The Collaborative High Performance Schools* (CHPS¹⁰), *California Energy Commission*, *The Pacific Gas and Electric Company* (PGE), *Sustainable Buildings Industry Council* (SBIC), *Alliance to Save Energy* (ASE), *Design Share* (*The International Forum for Innovative School*), *Ed Facilities*, *National Clearinghouse for Educational Facilities*

⁹ Mais informações na página: <www.openhouse.org.uk>.

¹⁰ CHPS - *The Collaborative for High Performance Schools* – é um grupo governamental e de outras organizações que provê informações para projetos de alto desempenho, serviços, treinamento e incentivos diretos para distritos escolares e projetistas na Califórnia. Outras informações podem ser encontradas na página: <www.chps.net>.

(NCEF), *Energy Design Resources* (EDR), *Educational Facility Planner* (EFP), *Environmental Protection Agency* (EPA), *Innovative Design*, *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

Com base nos manuais e guias publicados por estes órgãos norte-americanos, elegeu-se uma lista de características apresentadas por uma escola com qualidade ambiental e alto desempenho energético:

É saudável e confortável



Figura 1 - Giardrone Middle School, EUA.
Fonte: <http://www.tacoma.k12.wa.us/distinfo/facilities>. Acesso em: 11 jan. 2006

Preocupa-se com todos os fatores internos e externos que podem influenciar na saúde e no conforto dos usuários, como a temperatura e umidade, o nível de iluminação e de ruído, e a qualidade do ar e poluentes. A escola sabe da suscetibilidade principalmente das crianças a todos esses fatores e se preocupa em oferecer recintos saudáveis e confortáveis para os usuários. Utiliza, da melhor maneira possível, os benefícios da luz solar e das brisas da região; respeita o *habitat* local e o usa em seus pátios internos; aproveita as boas vistas para o exterior a fim de descansar os olhos e a mente.

É energeticamente eficiente

A escola é energeticamente eficiente porque possui menor custo de operação, reduz a emissão de poluentes ao meio ambiente, e com isso evita o aquecimento global e as chuvas ácidas. Para tanto, apresenta sistemas de energia renovável como a luz natural, tecnologias de energia solar e eólica, coletores fotovoltaicos (já integrados à arquitetura do edifício como em paredes e coberturas), aquecimento solar passivo para ambientes em climas frios e para água quente de chuveiros e cozinhas.



Figura 2 - *Somerville Intermediary School*,
Nova Zelândia. Fonte: <
<http://www.designshare.com/projects/> >.
Acesso em: 25 abr. 2006

A escola apresenta um eficiente sistema mecânico de condicionamento, pois considera o custo inicial do equipamento e prevê os gastos com manutenção e operação. Também implementa estratégias que utilizam adequadamente o ar fresco.

A escola apresenta um eficiente projeto de instalações elétricas porque seleciona lâmpadas que: possuem mais *lumens* por *watt*, têm uma vida útil maior, necessitam de menos manutenção, e são compatíveis com a luz natural. Implanta sensores tipo fotocélulas que permitem a dimerização dos níveis de luz artificial em detrimento da quantidade de luz natural no ambiente. Incorpora sensores de presença para o acendimento automático das luzes e considera estratégias de iluminação indireta para evitar o ofuscamento.

É termicamente agradável



Figura 3 - *Peel Education and TAFE Campus*,
Austrália. Fonte: <
<http://www.designshare.com/projects> >. Acesso
em: 25 abr. 2006

A escola termicamente agradável apresenta condições para que os usuários não sintam nem calor nem frio enquanto estão ensinando, aprendendo ou trabalhando.

Possui um bom projeto de envoltórias, respondendo às condições climáticas locais: boa isolamento, barreiras radiantes e cores claras para diminuir o ganho de calor pelas coberturas, estratégias de controle de infiltração do ar, massa térmica nas paredes, etc.

Inclui o desenho de esquadrias eficientes, com a correta escolha dos materiais, cores, películas protetoras e elementos sombreadores.

Além de ser termicamente agradável, a escola se preocupa com a qualidade do ar interno e considera as diferentes estratégias de ventilação e renovação do ar interno. Separa a ventilação de áreas com demandas diferentes e cria zonas de vegetação entre o tráfego e as áreas com

aberturas para a ventilação natural. Ainda, utiliza a ventilação noturna para melhor desempenho energético.

É visualmente agradável



Figura 4, 5 - *Dena Boer Elem. School*, Califórnia, EUA. Fonte: < <http://www.fsec.ucf.edu/bldg/pubs/manual/> >. Acesso em: 28 mar. 2006

A escola visualmente agradável apresenta boa qualidade luminosa nos ambientes, além de qualidades espaciais que enriquecem a vivência nesses espaços, como a interação visual com o ambiente externo através da geometria do edifício, *layout* e janelas.

A escola necessita de menos reparos e manutenção para o seu funcionamento, pois utiliza a luz natural em todas as áreas da escola: salas de aula, administração, ginásio etc.

A escola com esse tipo de preocupação utiliza e planeja corretamente o uso das luzes (natural e artificial) e cores, contribuindo para aumentar a satisfação no trabalho ou estudo, melhorar a produtividade ou desempenho escolar, reduzir a fadiga e os acidentes, além de reduzir a carga de resfriamento e a carga elétrica.

Essa escola cria estratégias de iluminação natural de modo a utilizá-la em pelo menos 2/3 do dia e a eliminar a entrada de luz diretamente sobre o plano de trabalho do professor e dos alunos. Para isso, desenvolve o projeto de estrutura do edifício já pensando em integrar as estratégias de luz natural e em minimizar elementos estruturais redundantes.

Utiliza as cores e os materiais de acabamento das superfícies internas de modo a refletir melhor a luz natural, porém cuidando para controlar o brilho e aumentar o conforto visual.

É acusticamente agradável



Figura 6 - *Yocha-de-He Preparatory School*, California, EUA. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects>>. Acesso em: 25 abr. 2006

A escola acusticamente agradável apresenta condições ideais para que os professores e estudantes possam falar e ouvir melhor, melhorando tanto o desempenho acadêmico quanto o rendimento e a disposição dos professores ao ensinar e dos demais funcionários ao trabalhar.

Portanto, os ruídos do sistema de ventilação e condicionamento são eliminados das salas de aula; e os ruídos externos (rua, comércio e indústria) e os ruídos internos da própria escola (pátio interno, ginásio, sala de música) são amenizados.

Utiliza-se para isso a própria arquitetura como elemento formal que reduz a reverberação e melhora a compreensão da palavra falada. São utilizadas também as barreiras acústicas e os materiais de acabamento que reduzem a reverberação e que absorvem o som.

Possui uma planejada e eficiente inserção ao sítio



Figura 7 - *Hachoresch Elem. School*, Israel. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/>>. Acesso em: 25 abr. 2006

A escola é inserida no terreno de maneira responsável e eficiente, pois realiza estudos preliminares das condições do solo, vegetação, áreas de preservação, áreas alagáveis, vias de acesso, orientação solar e direção dos ventos do local, para posteriormente prosseguir com os estudos de implantação.

O projeto de implantação providencia fácil e seguro acesso aos pedestres. Fornece também acesso fácil aos veículos, não produzindo alterações no tráfego das vias circundantes. Faz a conexão aos caminhos de pedestres e ciclistas das áreas vizinhas à escola. Aproveita os acidentes naturais como barreiras acústicas e a área verde existentes no terreno.

É ambientalmente responsável pelo sítio que ocupa



Figura 8, 9 - *Edisto Beach Interpretive Center, Edisto Island, Carolina do Sul, EUA.* Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/view.asp?p=images&pid=436&img=3396>>. Acesso em: 25 abr. 2006.

Uma escola com essa característica entende que este sítio é o elemento essencial para o bom desempenho do edifício, e com isso, conserva áreas naturais/ecossistemas existentes, restaura áreas danificadas, minimiza alagamentos, controla a erosão, e incorpora produtos e tecnologias que não poluem e tampouco degradam o ambiente.

Assim, planeja a ocupação no terreno e o projeto de implantação: orienta o edifício para um melhor acesso solar, utiliza acidentes e elementos naturais para prover sombra e barrar ruídos, considera as variações sazonais de direção e velocidade do vento, e integra a escola à vizinhança.

É ambientalmente responsável pelo lixo que produz

A escola possui uma política responsável e eficiente de produção, destinação e reaproveitamento do lixo. Para tanto, implementa estratégias a longo prazo para reduzir a produção do mesmo; promove o reuso eficiente de materiais e edifícios pré-existentes; contrata empresas especializadas para coletar e reaproveitar o lixo gerado pela construção do edifício; utiliza pontos estratégicos para separação e coleta mais eficiente do lixo; utiliza produtos que geram pouco lixo após o uso e que são posteriormente reaproveitados e/ou reciclados; utilizam produtos que não possuem embalagens ou que já são recicladas; e envolve os estudantes e funcionários nessa consciência.

Utiliza materiais eficientes



Figura 10 - Somerville Interm. School, Nova Zelândia. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/>>. Acesso em: 25 abr. 2006

A escola seleciona responsabilmente os materiais que farão parte da sua construção e de toda sua vida útil.

São materiais preferencialmente locais, de fácil disponibilidade e que minimizam o seu transporte. São materiais reciclados ou produzidos com pouca energia e de maneira que conservam os materiais virgens da natureza. São materiais duráveis, que requerem menos manutenção ou podem ser reciclados ou reutilizados. São materiais que reduzem a descarga de lixo durante a construção do edifício.

Utiliza a água de maneira eficiente



Figura 11 - Captação da água da chuva. Fonte: <http://www.researchmatters.harvard.edu/story.php?article_id=711>. Acesso em: 25 abr. 2006

A escola utiliza a água de maneira responsável porque reduz a depredação dos mananciais e o uso de água distante do sítio. Reduz também o uso, o descarte de água e o tratamento de esgoto durante todo o seu ciclo de vida, incluindo a construção. Reutiliza e busca outras maneiras de captar a água.

Seu projeto de paisagismo absorve a vegetação existente e minimiza as demandas por irrigação. Se a irrigação for requerida, a faz com o uso de água da chuva ou de lavatórios, e programa a irrigação para o período noturno, onde ocorre menos perda por evaporação.

É fácil de operá-la

A escola é gerida por uma comissão específica de manutenção através de um processo sistemático que checa se o desempenho de todos os sistemas do edifício está de acordo com os documentos contratuais. Todo esse sucesso na gestão do edifício reflete fortemente na economia de operação e

manutenção do mesmo, possibilitando a realocação dos custos aqui economizados para a compra de novos materiais para a escola, como computadores, livros, etc.

A operação é realizada com sucesso porque os funcionários da escola são treinados para que usem todos os sistemas eficientemente.

Pensa no seu sistema de transporte e deslocamento interno



A escola que pensa no seu sistema de transporte e deslocamento interno inicialmente já pensou na sua implantação e no projeto de espaços abertos, pois favorece, preferencialmente, o deslocamento de pedestres e ciclistas.

Se o complexo escolar necessita de transporte motorizado para circular por suas áreas (caso de *campus* universitário, por exemplo), privilegia meios de transporte público e que emite poucos gases, utiliza biodiesel, metanol, energia solar ou elétrica para se locomover.

Figura 12 - Alternativa de locomoção. Fonte: < <http://www.transport2000.org.uk/goodpractice/KesgraveSchool.htm> >. Acesso em: 25 abr. 2006

É usada como ferramenta de ensino



A escola com qualidade ambiental permite o convívio e o aprendizado com o meio ambiente, pois é uma valiosa ferramenta de ensino para os professores.

Demonstram, na prática, temas como energia, água e materiais eficientes, e também, fenômenos físicos, científicos e matemáticos como aquecimento, ventilação, iluminação, óptica, movimentos do sol.

Figura 13 - Alunos aprendendo sobre energia gerada por painéis fotovoltaicos. Fonte: www.wisconsun.org/learn/learn_school.shtml. Acesso em: 12 jul. 2005

O primeiro exemplo disso está na implantação do edifício, onde, através da observação do caminho do sol, os estudantes podem perceber a importância da maximização das aberturas para as orientações norte e sul, assim como da minimização para o leste e oeste. Se devido aos fatores naturais (como brisas ou vista para o exterior) forem demandadas aberturas para o leste ou oeste, os estudantes podem observar as regras e ferramentas utilizadas para evitar os efeitos prejudiciais do meio ambiente no edifício, como a excessiva insolação. Além disso, os estudantes podem aprender mais sobre a orientação direcional, os atributos do sol e outras condições físicas.

Outro exemplo é a iluminação natural como tema de ensino. Com o desenho diferenciado de prateleiras de luz, de coberturas, zenitais, *sheds* e marquises, podem-se mostrar aos estudantes como os esses artificios arquitetônicos funcionam, e como o resultado visual se modifica ao longo do dia e quando se manipulam os aparatos móveis.

Os jardins, espaços abertos ou pátios podem ser usados como sala de aula, pois ao preservar as plantas nativas da região, ao proteger os ecossistemas e ao permitir o seu crescimento, os estudantes aprendem sobre o ambiente natural e real herdado.

A ventilação natural oferece oportunidades únicas para estudar a velocidade do vento, a pressão do ar, a aerodinâmica, a convecção e outros fenômenos físicos. Os estudantes podem manusear a abertura das janelas e/ou *sheds*, monitorando o desempenho do sistema de ventilação natural proposto.

Mesmo quando instaladas na escola pequenas fontes de geração de energia eólica ou de energia solar (painéis fotovoltaicos), os estudantes podem avaliar a eficiência dessas fontes, os benefícios trazidos e o destino da energia gerada.

O uso e exposição dos materiais adequados ambientalmente durante a construção da escola explicam o funcionamento de muitos fenômenos físicos, assim como oferecem a oportunidade aos estudantes de testarem os sistemas e avaliarem o desempenho dos mesmos. Ainda, a seleção dos materiais usados na construção da escola, quando documentados, catalogados e disponíveis para o manuseio, agrega aos estudantes o interesse pela pesquisa desses e de outros materiais que venham de recursos renováveis, de baixo custo energético e de baixa dispersão de volumes de poluentes quando de sua fabricação.

A exposição de sistemas mecânicos de condicionamento oferece a oportunidade ao professor de explicar como os mesmos funcionam.

O uso de sensores de temperatura, umidade, velocidade do vento, iluminância (visíveis e disponíveis em escolas americanas, por ex.) permite que os estudantes acompanhem o desempenho e as mudanças do meio ambiente¹¹.

Outros sistemas alternativos também ensinam muitos fenômenos físicos e químicos aos alunos e despertam nos mesmos uma consciência mais responsável pelo uso dos recursos naturais. São eles: a ventilação natural, o aquecimento solar passivo de água, de envoltórias e de ambientes, o resfriamento evaporativo, resfriamento por condução ou por convecção de superfícies geladas, o armazenamento de água da chuva ou o reaproveitamento de água, separação do lixo orgânico e inorgânico.

É segura

A escola é segura quando, através do projeto arquitetônico, delimita os espaços que são ou não acessíveis aos alunos, oferece oportunidades de relacionamento com a natureza e permite o acesso aos portadores de necessidades especiais aos mesmos espaços que os demais alunos freqüentam. O projeto de arquitetura e o serviço de execução e acabamento da construção não oferecem riscos de acidentes. A escola ilumina os caminhos de pedestres, ciclovias, áreas de estacionamento e sinais de atenção. Para isso, muitas vezes utiliza a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, e assim ainda fornece energia a cabines telefônicas de emergência. Todas essas aplicações trazem mais segurança para os usuários da escola.

Envolve a comunidade local

Esse tipo de escola prova que, com o apoio e o envolvimento constante dos pais e dos vizinhos, tanto no projeto e construção da escola quanto no andamento e na gestão da mesma, o resultado é o inevitável sucesso.

Para isso, a escola releva a importância histórica ou afetiva que a comunidade tem para com o lugar, incorporando elementos de projeto e materiais locais que reflitam a sua inserção respeitosa.

¹¹ Todos os outros artifícios citados anteriormente podem ser introduzidos à realidade brasileira, no entanto, acredito que no caso dos sensores, os estudantes brasileiros (tanto de escolas públicas quanto de escolas privadas) ainda não têm maturidade e responsabilidade suficientes para conviver com eles. Para isso, é necessária a conscientização da importância desses sensores para a escola e para o seu próprio aprendizado, evitando assim o roubo ou a danificação dos mesmos. Contornar essa situação através da proteção dos sensores em gaiolas de aço, por exemplo, não vai ao encontro à política de atitudes responsáveis, premissa básica quando da criação de uma escola ecoeficiente.



Figura 14 - Hachoreh Elementary School, Israel.
Fonte: < <http://www.designshare.com/projects/> >. Acesso em: 25 abr. 2006

Ainda, enfatiza para a comunidade a importância da compra de materiais, produtos e equipamentos locais para a construção e manutenção da escola, assim como a contratação de mão-de-obra por moradores da vizinhança. Enfatiza também o quanto está economizando de energia elétrica e água com as estratégias adotadas pela escola, e o quanto está deixando de poluir o ambiente ao usar outras estratégias. A escola permite o uso comunitário em horários apropriados do ginásio, quadra de esportes, sala de multimídia, biblioteca e salas de aula. Incorpora e integra ao seu terreno os caminhos de pedestres e de ciclistas presentes na vizinhança.

Possui uma arquitetura estimulante



Figura 15 - Arquitetura como elemento definidor da imagem do edifício. Edifício escolar *Lycée Polyvalent*, Frejus, França, 1993 (Norman Foster). Fonte: Hawkes, 2002, p. 39

A escola ecoeficiente possui um projeto arquitetônico fundamentado e que responde às condições ambientais externas, usando a criatividade e os artifícios tecnológicos a favor de uma imagem impactante do edifício, mas ao mesmo tempo, bem inserida e na escala do entorno imediato.

A arquitetura é repleta de detalhes, porém sem ser rebuscada e sem parecer cara e ostensiva. Esses detalhes têm sempre uma função, onde o objetivo final é oferecer conforto ambiental aos usuários e aumentar o desempenho energético do edifício. A arquitetura é comunicativa e expressiva, sem ser óbvia e imatura. Enfim, a escola usa a arquitetura para se promover e para promover o uso consciente dos recursos naturais.

1.4. Os benefícios de uma escola com qualidade ambiental

Os benefícios apresentados a seguir são alcançados apenas quando os proprietários e demais envolvidos no projeto estabelecem, desde o início, as metas de projeto, e lutam para isso durante todo o processo de seu desenvolvimento (CHPS, 2002a).

Melhor desempenho escolar

A aprendizagem é um processo dinâmico e complicado, que pode e ocorre em qualquer tipo de ambiente. Porém, os argumentos de que existe uma relação direta do aumento desempenho do estudante com a alta qualidade do espaço escolar estão sendo cada vez mais comprovados.

A qualidade do ar interno tem um efeito direto e profundo no aprendizado. Como explicado por CHPS (2002a), uma ventilação inadequada favorece a concentração de dióxido de carbono e outros poluentes dentro do edifício, agentes esses responsáveis pelo desconforto e pela incapacidade de concentração. A exposição a esses poluentes, assim como aos compostos orgânicos voláteis, pode causar sintomas agudos relacionados à baixa concentração e à dificuldade na assimilação das informações: olhos vermelhos, dificuldade na respiração, crises asmáticas, dor de cabeça, distúrbio mental, problemas de comportamento e fadiga.

A importância da luz natural é explicada pelos estudos de Heschong Mahone Group¹² (1999), que foram amplamente divulgados também nas publicações de Heschong (2002), CHPS (2002a) e Plympton et al. (2000). Comprovaram que há uma forte correlação entre o aumento da luz natural e a melhora do desempenho do estudante.

Esses estudos constataram que na Califórnia, por exemplo, estudantes em salas de aula com mais luz natural progrediram 20% mais rápido em exames de matemática e 26% mais rápido em exames de leitura do que os estudantes em salas de aula com menor quantidade de luz natural. Também, estudantes em salas de aula com mais área de janelas, progrediram, respectivamente, 15% e 23% mais rápido do que em salas com menos janelas. Estudantes em salas de aula com um bom dispositivo de luz zenital progrediram 20% mais rápido do que os estudantes sem esse dispositivo.

Já em Washington e Colorado, o desempenho dos estudantes foi de 7 a 18% mais elevado quando expostos a um maior nível de iluminação natural. Para obter esses resultados, as condições do ar condicionado e da ventilação também foram coletadas e incluídas no modelo estatístico.

¹² Estudos realizados em 1999 com resultados das provas de 21 mil estudantes de escolas da Califórnia, Washington e Colorado.

Daylighting Conditions In Classrooms	Percent Average Improvement (Probability that Observed Association with Improved Test Scores is Due to Chance)	
	Reading	Math
Classrooms with most overall daylighting (from skylight and windows) relative to classrooms with least overall daylighting	26% (0.1%)	20% (0.1%)
Classrooms with most window area compared to classrooms with least window area	23% (0.1%)	15% (0.1%)
Skylight A (diffused illumination with manual operation for controlling illumination level) relative to no skylight	19% (0.3%)	20% (0.1%)
Skylight B (direct illumination with no controls) relative to no skylight	-21% (5.1%)	—
Operable windows, relative to classrooms without operable windows	8% (0.4%)	7% (0.1%)

Tabela 1 - Resultados que demonstram a melhoria no desempenho dos estudantes em salas de aula com iluminação natural (dados coletados entre o outono e a primavera na Escola do Distrito de Capistrano, Califórnia)

Vale lembrar que a presença da luz não traz necessariamente somente benefícios, pois a qualidade da luz é fator fundamental. Esses estudos também comprovaram que estudantes em salas de aula com luz zenital proveniente de vidro transparente (portanto, luz direta) e suscetíveis a ofuscamentos e desequilíbrios na distribuição da mesma tiveram um progresso em seu desempenho escolar 21% mais lento.

Um exemplo de como a simples entrada indevida da luz pode atrapalhar no aprendizado é apontado por *California Energy Commission* (2003b): o brilho muito intenso da luz dentro do ambiente prejudica o aprendizado do aluno, especialmente quando se trata do aprendizado de matemática, onde a instrução (o passo-a-passo do problema) é passada mais frequentemente no quadro do professor. Portanto, o reflexo no quadro deve ser sempre evitado.

California Energy Commission (2003b) ainda coloca que a penetração solar direta em salas de aula, especialmente aquela proveniente das faces leste, oeste e sul (para o caso do hemisfério norte), é associada ao mau desempenho escolar porque causa ofuscamento, reflexos e desconforto térmico.

Vale destacar ainda na pesquisa de Heschong Mahone Group que estudantes em salas de aula com janelas que permitiam a abertura para a ventilação natural obtiveram um progresso 8% mais rápido do que estudantes em salas com janelas fixas, mal conservadas ou com ar condicionado, confirmando assim a importância da qualidade do ar interno.

Depois dos estudos de Kuller e Lindsten¹³ (1992 apud CHPS, 2002a; PLYMPTON et al., 2000), baseados na observação do comportamento, dos níveis de hormônios e da saúde de crianças suecas de oito anos, concluiu-se que o trabalho em salas de aula sem iluminação natural pode

¹³ Kuller, R.; Lindsten, C. Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology* 12. 1992.p. 305-317.

interferir nos hormônios básicos das crianças, influenciando assim na capacidade de concentração e no crescimento corporal anual das mesmas.

Mesmo sendo evidente que o ruído atrapalha o rendimento escolar, os resultados das pesquisas relacionando a acústica e aprendizado são consistentes e convincentes: a boa acústica é fundamental ao bom desempenho acadêmico.

Segundo Earthman e Lemasters¹⁴ (1998 apud SCHNEIDER, 2002) os estudantes que obtêm mais sucesso nos seus resultados vêm de escolas que têm menos ruído externo. Uma revisão bibliográfica feita por Crandell et al.¹⁵ em 1995 e por Nabelek¹⁶ em 1994 (apud SCHNEIDER, 2002) relacionou os níveis de ruído e reverberação em sala de aula às habilidades de leitura e ortografia, ao comportamento, à atenção, à concentração e ao rendimento acadêmico. Já Evans e Maxwell¹⁷ (1999 apud SCHNEIDER, 2002) examinaram 100 alunos de duas escolas em Nova Iorque que estão na rota dos aviões que vão ao aeroporto. Esses alunos, expostos ao ruído do tráfego aéreo, apresentaram um rendimento 20% mais baixo na atividade de leitura do que alunos de outra escola. Porém, Lucas¹⁸ (1981 apud SCHNEIDER, 2002) completou que o ruído externo atrapalha mais o rendimento dos professores do que dos alunos. Isso porque se qualidade do ensino e a disposição do professor ao ensinar uma matéria pioram, o aprendizado dos alunos será mais ainda prejudicado.

Portanto, estudantes em uma sala de aula silenciosa, bem iluminada e apropriadamente ventilada (com uma boa qualidade do ar) aprenderão mais rápido porque eles se encontram mais confortáveis, podem ver e ouvir melhor, e se distraem menos. Ao mesmo tempo, professores ensinarão melhor em uma sala de aula com as mesmas características.

Ambientes com uma iluminação deficiente, uma acústica deficiente e uma qualidade do ar deficiente são barreiras para a educação. Ambientes com alto desempenho removem essas barreiras, permitindo que professores e estudantes trabalhem sob melhores condições.

¹⁴ Earthman, G. I.; Lemasters, L. Where children learn: A discussion of how a facility affects learning. (Apresentado em THE ANNUAL MEETING OF VIRGINIA EDUCATIONAL FACILITY PLANNERS, Blacksburg, Va., Fev. 1998).

¹⁵ Crandell, C.; Smaldino, J.; Flexer, C. Sound field FM amplification: theory and practical applications. Los Angeles, Califórnia: Singular Press, 1995.

¹⁶ Nabelek, A.; Nabelek, L. Room acoustics and speech perception. In Handbook of clinical audiology (3ª ed.). Baltimore, Md.: Williams and Wilkins, 1994.

¹⁷ Evans, G.W.; Maxwell, L. Chronic noise exposure and reading deficits: The mediating effects of language acquisition. Environment and Behavior 29 (5): 1999. p. 638–656.

¹⁸ Lucas, J. Effects of noise on academic achievement and classroom behavior. Sacramento, Califórnia: California Department of Health Services, 1981.

Aumento da média diária de frequência

Outro importante quesito de avaliação da qualidade do espaço escolar é o aumento da média diária de frequência, pois ilustra a mais importante preocupação ao se projetar uma escola: a proteção da saúde dos estudantes. Muitos fatores podem influenciar nessa frequência média diária, mas o espaço físico com infra-estrutura inadequada é o que mais acarreta em problemas físicos, que por sua vez, levam ao absentismo.

Certas características do ambiente interno podem mudar o estado de saúde, o comportamento e o desempenho dos estudantes. A asma, por exemplo, é um dos problemas mais freqüentes diagnosticados quando de um ambiente físico não saudável. Investir na qualidade do ambiente interno proporciona, por exemplo, melhores condições para o ar interno, pois controlam as fontes de contaminação, providenciam adequada ventilação e previnem a acumulação de poluentes. Com isso, os estudantes ficarão menos dias doentes.

Os resultados de estudos canadenses (PLYMPTON et al., 2000) realizados num período de dois anos com crianças expostas a iluminação natural e à convencional mostraram que houve menos dias de absentismo durante um ano na primeira situação.

Aumento da satisfação e retenção dos professores na escola

Várias escolas têm que conviver com o alto absentismo e a alta rotatividade dos professores, e com isso a instituição de ensino é obrigada a pagar por um professor substituto ou a financiar o recrutamento e o treinamento de um número significativo de novos professores. Parte desse problema é proveniente de um ambiente de trabalho não agradável¹⁹.

Por outro lado, um espaço de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental, com conforto térmico e visual, com boa acústica e com um ar interno fresco e limpo, torna-se fator minimizador do problema, no sentido em que aumenta a satisfação do corpo docente com seu ambiente de trabalho. Junto a isso, certamente, a satisfação dos professores é otimizada quando há também relações amistosas entre os mesmos, entre os demais funcionários e entre os estudantes.

¹⁹ No Brasil encontra-se o mesmo problema e este é agravado pela falta de incentivo salarial e pelas péssimas condições empregatícias, principalmente nas escolas públicas.

Redução do custo de operação

Esse importante benefício trazido para a escola é apontado por CHPS (2002a) como consequência de um projeto que utilize conceitos de custo do ciclo de vida dos materiais, pois minimizam os custos com operação e manutenção. Utilizando-se menos água e energia do que as escolas tradicionais, esses custos serão menores²⁰, e com isso, a economia alcançada pode ser convertida em melhoria no sistema de informática da escola, em compra de livros para a biblioteca, em novas salas de aula, em cursos para professores e em salários.

Redução da exposição a dívidas e responsabilidades legais

Para o CHPS (2002a), ao enfatizar a preocupação com a saúde e com a qualidade do ambiente interno, as escolas de alto desempenho reduzem a exposição a problemas relacionados à saúde, a processos legais e à perda de credibilidade. A prevenção desses problemas é o melhor investimento, pois os custos legais podem ser muito maiores do que os investimentos em qualidade ambiental.

Ainda não há no Brasil uma tradição em processar, em lutar judicialmente por nossos direitos, em reclamar por melhores condições, etc, como encontrada intensamente nos Estados Unidos. No entanto, a população já está sabendo melhor seus direitos e deveres, aprendendo a questionar as situações, muitas vezes impostas, recorrendo a órgãos de defesa do consumidor e à Justiça. Então, é melhor que as escolas já sejam construídas buscando evitar possíveis desentendimentos quanto às condições ambientais oferecidas a seus alunos.

Redução dos impactos ambientais

As escolas de alto desempenho são conscientemente pensadas para que causem pouco impacto ambiental. Elas são energeticamente eficientes, são duráveis, usam materiais não-tóxicos, energia renovável não-poluente e podem se auto-reciclar. Ainda, preservam áreas naturais e recuperam outras já danificadas. Como consequência, configuram-se como boas inserções no meio ambiente, isto é, inserções não danosas.

²⁰ Segundo CHPS (2002a), economia anual de 20 a 40% em escolas novas e de 20 a 30% em escolas reformadas.

2. O espaço físico escolar

O espaço físico escolar influencia diretamente no aprendizado dos estudantes, na capacidade de ensinar dos professores, e no andamento do trabalho dos funcionários de uma escola. Portanto, o espaço físico é o espaço de trabalho em questão, e também, o objeto de estudo.

Segundo Santos e Fialho²¹ (1997 apud LEUCZ, 2001), o espaço de trabalho é tudo o que está relacionado às condições físicas, químicas, biológicas e ambientais, os quais podem exercer condicionantes sobre as atividades de trabalho dos usuários.

O espaço de ensino-aprendizagem aqui será dividido em ambiente térmico, ambiente luminoso, ambiente acústico, ambiente visual e ambiente ergonômico.

2.1. O ambiente térmico e a qualidade do ar interno

Ambiente térmico é aquele que utiliza preferencialmente a própria arquitetura do edifício para trazer condições térmicas internas ideais (temperatura e umidade relativa do ar, temperatura radiante das superfícies, velocidade e qualidade do ar interno) aos ocupantes deste ambiente, através do uso dos recursos naturais existentes.

Pode-se dizer que se está em conforto térmico quando o corpo humano se sente em neutralidade em relação às trocas térmicas com o ambiente. Para a ASHRAE (1992), conforto térmico para uma pessoa é “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que a envolve”.

A seguir, será abordada a importância do conforto térmico em espaços de ensino-aprendizagem sob o ponto de vista da influência das variáveis térmicas e da qualidade do ar interno sobre o organismo humano. Logo após, será resumidamente descrita a evolução dos estudos de conforto térmico até se chegar à prática projetual de ambientes com as características citadas acima.

2.1.1. Como as variáveis térmicas afetam o organismo

A temperatura é a variável térmica mais perceptível aos usuários de um espaço, portanto, exige muita atenção aos projetistas quando estes buscam criar adequadas condições ambientais de trabalho. Há temperatura que nos dá sensação de conforto, enquanto outras se tornam desagradáveis ou até prejudiciais à saúde.

²¹ SANTOS, N.; FIALHO, F. Manual de análise ergonômica do trabalho. Curitiba: Gênese Editora, 1997. 2.ª ed.

Muitos fatores contribuem para que uma temperatura seja agradável ou não, incluindo fatores físicos (como a associação a outras variáveis térmicas) e fatores humanos (idade, sexo, raça, vestuário, hábitos sociais, costumes, características pessoais).

Segundo Santos e Fialho (1997 apud LEUCZ, 2001), além de afetar a saúde, a presença de temperaturas elevadas em um espaço, fechado ou não, afeta a produtividade e pode provocar acidentes. Mesmas conseqüências podem-se atribuir a temperaturas muito baixas.

De acordo com Balaras (1996), o corpo humano é como uma máquina complexa de combustão interna. Para alcançar o conforto térmico, o corpo precisa balancear os ganhos e as perdas de calor, ajustando as funções metabólicas (respiração, suor, por exemplo), enquanto responde às condições ambientais (temperatura e umidade). Portanto, o equilíbrio térmico do corpo humano é um balanço dinâmico entre a produção de calor (metabolismo) e a transferência do mesmo para o ambiente, através da convecção, condução, radiação e evaporação.

Segundo estudos realizados em Portugal²², no caso de temperaturas altas, ou seja, quando o calor cedido pelo organismo ao meio ambiente é inferior ao calor recebido ou produzido pelo metabolismo total (metabolismo basal + metabolismo de trabalho), o organismo tende a aumentar sua temperatura, e para evitar esta hipertermia (aumento da temperatura corporal) usa outros mecanismos entre os quais pode-se citar:

- Vaso-dilatação sangüínea (aumento das trocas de calor);
- Ativação das glândulas sudoríparas (aumento do intercâmbio de calor por troca do estado de suor líquido a vapor);
- Aumento da circulação sanguínea periférica (podendo-se chegar a 2,6 l/min/m²);
- Troca eletrolítica de "suor" (podendo-se chegar a uma perda de NaCl de 15 g/litro).

Os primeiros problemas são de natureza subjetiva ou psicológica (como incômodo, mal estar), passando depois para os de natureza psico-fisiológica (aumento da sobrecarga do coração e aparelho circulatório), atingindo no fim o limite físico de tolerância com os problemas de natureza patológica (agravamento de doenças).

Existe também uma classificação racional de transtornos causados a altos níveis de calor ambiental. As conseqüências da hipertermia poderão ser:

- Transtornos psiconeuróticos: fadiga térmica;

²² Esses estudos atendem ao Programa de Apoio às Escolas de Portugal e recebe o apoio e a participação do Ministério da Educação/ DREC de Portugal. Publicação disponível na página <http://www.prof2000.pt/users/eta/Amb_termico.doc>. Acesso em: 20 nov. 2005.

- Transtornos sistemáticos: "calambre" por calor, síncope de calor, colapso de calor; esgotamento por calor (deficiência circulatória, desidratação, dessalinização, *anidrosis*), golpe de calor;
- Transtornos na pele: erupção (miliaria rubra); anidrose (deficiência de suor), deficiência congênita das glândulas sudoríparas, queimaduras solares (devido às radiações ultravioletas);

No caso de temperaturas baixas²³, ou seja, quando o calor cedido ao meio ambiente, é superior ao calor recebido ou produzido por meio do metabolismo basal ou de trabalho, devido à atividade física que se está exercendo, o organismo tende a esfriar-se e, para evitar esta hipotermia (decréscimo da temperatura do corpo), usa múltiplos mecanismos, entre os quais pode-se citar:

- Vaso-constricção sangüínea (diminuir a doação de calor ao exterior);
- Desativação das glândulas sudoríparas;
- Diminuição da circulação sanguínea periférica;
- Tiritona (produção de calor pela transformação química em mecânica/térmica);
- Autofagia das gorduras armazenadas (transformação química de lipídios - gorduras armazenadas - a glicídios de metabolismo direto);
- Encogimento (apresentar a mínima superfície de pele em contato com o exterior).

As conseqüências da hipotermia poderão ser: mal estar geral; diminuição da destreza manual; redução da sensibilidade tátil; anquilosamento das articulações; comportamento extravagante (hipotermia do sangue que rega o cérebro); congelamento dos membros (as mais afetadas são as extremidades); frieiras, eritrocianose, pé das trincheiras; enregelamento (temperaturas inferiores a -20°C); morte por falha cardíaca (quando a temperatura interior é inferior a 28°C).

O mecanismo do termorregulação é relativamente limitado em ambos os casos, pois se a temperatura do ambiente for muito elevada ou muito baixa, o organismo não consegue manter a temperatura central do corpo em torno de 36°C, ocorrendo uma desregulação térmica.

Além da temperatura do ar, o ambiente térmico é configurado pela participação das demais variáveis térmicas: velocidade do ar, umidade do ar e temperatura radiante das superfícies. A partir das modificações destas variáveis é possível reduzir, ou mesmo suprir os efeitos incômodos provocados sobre os usuários. Ou seja, o ambiente térmico é controlado através da aplicação de medidas técnicas (construtivas), de práticas no âmbito da organização do trabalho (organizacionais) e da utilização de proteção individual.

²³ No Brasil, o problema de temperaturas muito baixas é de pequena relevância, em virtude das condições climáticas do país.

Os estudos realizados em Portugal analisaram ambientes de fábricas e indústrias. Porém, aqui serão mostradas somente as medidas cabíveis a ambientes escolares. Para ambientes com temperaturas elevadas, aconselham-se as seguintes medidas construtivas: uso de ventilação geral, climatização, chaminés aspiradoras evacuando o ar quente por convecção natural, proteção de paredes opacas (tetos em particular) e de superfícies envidraçadas.

Como medidas organizacionais aconselham-se: a introdução de períodos de climatização, a introdução de períodos de descanso, a distribuição do trabalho ao longo do tempo, a realização de atividades que despendam mais energia nos períodos mais frescos do dia, o fornecimento de bebidas frescas em quantidades apropriadas e de comidas leves e sem gordura aos usuários do espaço.

Como medidas de proteção individual aconselham-se roupas leves, flexíveis e com elevado grau de reflexão.

Já em ambientes com temperaturas baixas, aconselha-se como medida construtiva o fornecimento de calor/ aquecimento. Como medida organizacional aconselham-se períodos de descanso para aclimatação, e alimentação rica em calorias. E, como medida de proteção individual, aconselham-se roupas adequadas ao frio²⁴ com isolamento apropriado.

De qualquer modo, providenciar uma arquitetura que minimize o esforço para o corpo humano entrar em equilíbrio térmico é obrigação de todo o projetista ao pensar em espaços de trabalho, logo, em espaços de ensino-aprendizagem.

2.1.2. Como a qualidade do ar interno afeta o organismo

Esse é um dos assuntos mais discutidos pelos órgãos norte-americanos preocupados com a educação, com a qualidade ambiental e o desempenho energético de edifícios escolares.

E a preocupação em oferecer espaços saudáveis aos alunos e demais ocupantes de uma escola cresce proporcionalmente à constatação dos resultados publicados em dezenas de estudos²⁵ realizados nessa área. Abaixo alguns deles:

²⁴ No entanto, principalmente em países tropicais como o Brasil, deve-se levar em conta que o clima não é tão rigoroso no inverno e que as crianças e jovens em idade escolar despendem muita energia, não sendo necessárias roupas tão pesadas.

²⁵ Pode-se encontrar um grande número de publicações com esse tema, desenvolvidos principalmente por: *National Clearinghouse for Educational Facilities* (<http://www.edfacilities.org>), *United States Department of Energy* (www.doe.gov; www.energy.gov), *United States Department of Education* (www.ed.gov), e a mais ativa nessa área, *United States Environmental Protection Agency* (www.epa.gov).

- De acordo com as estatísticas do DOE²⁶ (1999 apud OLSON; KELLUM, 2003), 115 mil escolas norte-americanas têm problemas relacionados com a qualidade do ar interno.
- De acordo com os dados da *American Lung Association* (apud OLSON; KELLUM, 2003), a asma contabiliza, sozinha, 14 milhões de faltas nas escolas norte-americanas por ano, sendo a líder de causa de absenteísmo.
- Um estudo europeu desenvolvido por Myhrvold et al.²⁷ (1996 apud EPA, 2003) apresentou dados provenientes de uma pesquisa com 800 estudantes de 8 escolas em relação aos problemas de saúde e habilidade de concentração quando se alterava a qualidade do ar interno. Aumentando-se a concentração de dióxido de carbono a concentração dos alunos diminui; se a taxa de ventilação reduz, aumenta a taxa de poluição interna, e com isso o desempenho cai.
- O estudo de Wargocki e Wyon et al.²⁸ (1999 apud EPA, 2003) usou o carpete²⁹ como fonte de contaminação e foram testados: capacidade de digitação, aritmética, raciocínio lógico, memória e criatividade. Sem carpete, o desempenho geral melhorou de 2 a 6%. Quando o carpete se fez presente, prevaleceu a dor de cabeça e a dificuldade de concentração. Quando mantido, porém com uma taxa de ventilação maior, o desempenho melhorou significativamente. Esse mesmo estudo avaliou a temperatura e a umidade no contexto da qualidade do ar interno. Quando a umidade relativa e a temperatura do ar eram altas, o desempenho mental era afetado, como concentração, adição, multiplicação e compreensão. Quando o ambiente estava mais frio, houve melhoria e rapidez em atividades manuais e mentais.
- Outro estudo analisou a influência do computador como fonte de poluição porque emite uma variedade de gases voláteis. Com uma ventilação mais fresca sobre o mesmo, a capacidade de digitação melhorou.
- Em geral, estudos mostraram uma melhora na saúde, no conforto e no desempenho quando a taxa de ventilação é maior. Mesmo com a divulgação desses resultados, ainda é alarmante o número de escolas que utilizam o ar condicionado ou a ventilação natural com uma taxa de renovações do ar abaixo da recomendada.

²⁶ U.S. DOE. High-Performance Commercial Buildings: A Technology Roadmap. Out. 2000. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/schools/index.cfm>>.

²⁷ MYHRVOLD, A.N.; OLSEN, E.; LAURIDSEN, O. Indoor Environment in Schools: Pupils' Health and Performance in regard to CO₂ Concentrations. In: Indoor Air '96 (Apresentado em THE SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, 1996). Vol. 4, p. 369–371.

²⁸ WARGOCKI, P.; WYON, D.P. et al. Perceived air quality, SBS-symptoms and productivity in an office at two pollution loads. In: Indoor Air '99 (Apresentado em THE EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, 1999). Vol. 2, p. 131–136.

²⁹ No Brasil não há o costume de se usar carpete em escolas, sendo mais comum o seu uso em escritórios. Podemos, em contra-partida, encontrar a cortina para bloquear a luz e a radiação solar nas salas de aulas.

- Alarmantes também são os níveis internos de poluição, que podem ser de 2 a 5 vezes mais altos que os externos, e às vezes, até 100 vezes maior (EPA, 2003).

Segundo EPA (2003), a má qualidade do ar interno tem várias conseqüências: aumenta os problemas de saúde dos alunos e funcionários da escola (a curto e longo prazo); influencia na capacidade de aprender dos alunos (reduz a habilidade para o cálculo, reduz a concentração, a memória, entre outros) e no desempenho dos funcionários; acelera a deteriorização e reduz a eficiência do espaço físico e equipamentos da escola; aumenta a chance da escola ser fechada para manutenção ou dos ocupantes serem realocados; piora as relações entre pais, professores e administradores da escola; cria uma publicidade negativa para a mesma, podendo até mesmo acarretar em problemas judiciais.

Os principais sintomas a curto prazo provenientes da má qualidade do ar interno são: asma, sintomas alérgicos, olhos, nariz e garganta irritados, congestão nasal, coriza, respiração curta, tosse, espirro, febre, fadiga, letargia, dor de cabeça, náusea, e problemas na pele. Os principais sintomas a longo prazo são: asma crônica, pneumonia, bronquite, infecções respiratórias, câncer, perda de audição, mudança de personalidade, danos neurológicos e desordens reprodutivas (EPA, 2003).

No entanto, existem casos onde não são diagnosticadas enfermidades, porém, o simples fato de uma indisposição (como letargia e dor de cabeça, por exemplo) já é um indício preocupante, pois já está afetando o desempenho da pessoa. A não reclamação das condições do ar interno não quer dizer que as mesmas não devam ser melhoradas (EPA, 2003).

Mas afinal, quais são os fatores que afetam a qualidade do ar interno?

Segundo EPA (2003) são as fontes poluidoras internas, externas, canalizações poluidoras, temperatura e umidade elevadas, pouca ventilação e o sistema de ar condicionado. Como fontes poluidoras internas têm-se: acumulação de pessoas, solventes, tintas, adesivos, pesticidas, produtos voláteis, produtos de cuidado pessoal e outros usados na fabricação de móveis, produtos de limpeza, pó de giz, áreas de impressão e cópias, área de fumantes, laboratórios, sanitários, áreas de preparo de comidas, insetos, etc. Como fontes poluidoras externas têm-se: pólen de flores, fumaça, fungos, emissões industriais e veiculares, chaminés, gases, monóxido de carbono, córregos, rios, etc.

Os estudos de Smedje e Norback³⁰ (1997 apud OLSON; KELLUM, 2003) também confirmaram que as enfermidades provenientes da baixa qualidade do ar interno são decorrentes principalmente da alta umidade relativa do ar, da alta concentração de compostos voláteis, do mofo e de bactérias.

³⁰ SMEDJE, G.; NORBACK, D.; EDLING, C. Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment. *Clinical & Experimental Allergy*. 1997; 27(11), p. 1270-8.

O problema da ocupação é que as pessoas interferem na saúde ambiental do local e que o local influencia diretamente na saúde das pessoas. Além de apresentar os sintomas já anteriormente descritos, os ocupantes também sofrem com o estresse ambiental, como iluminação inapropriada, ruídos, vibrações, superlotação, ergonomia e problemas psico-sociais, que juntamente com a qualidade do ar interno, culminam em uma péssima experiência por estar ocupando um lugar naquele espaço.

As pessoas mais predispostas a essas interferências são: pessoas alérgicas, asmáticas, com problemas respiratórios, pessoas sob o efeito da quimioterapia e da radiação, e aquelas que usam lentes oculares (EPA, 2003).

Mas como saber se um espaço está com problemas na qualidade do ar interno?

Para EPA (2003), diagnosticar um espaço 'doente' pode ser um pouco difícil porque os sintomas a curto prazo são similares a uma gripe, alergia, cansaço ou resfriado. Porém, há certos indicadores que podem sugerir um local em potencial com problemas na qualidade do ar; são eles: os sintomas são recorrentes em todas as salas de aula; os sintomas desaparecem quando os alunos e funcionários saem da escola; os sintomas aparecem logo depois da escola ter sido pintada ou detetizada; as pessoas com alergias, asma ou sensíveis à química têm reações dentro e não fora das salas de aula; um doutor diagnostica uma enfermidade culpando o ar interno em que o paciente convive.

Como evitar problemas com a qualidade do ar interno?

EPA (2003) sugere outras estratégias para que se evite sintomas e conseqüências relacionadas à baixa qualidade do ar interno:

- Administração dos locais poluidores (paradas de ônibus, locais de fumantes, entre outros) para que esses não fiquem próximos às janelas das salas de aula ou aos pontos de captação de ar externo para o ar condicionado. Se não houver opção, esse ar externo deve ser muito bem controlado e filtrado antes de entrar ao ambiente³¹.
- Encapsulação ou barreiras contra as fontes poluidoras através de arbustos e divisórias de madeira, por exemplo.
- Exaustão específica junto a locais geradores de contaminantes (sanitários, cozinhas, laboratórios).

³¹ A filtragem do ar externo é tão importante que é válido citar aqui a conclusão feita por *California Energy Commission* (2003b) após os estudos na escola de Fresno: a ventilação mecânica (com uma filtragem do ar adequada) melhorou o desempenho dos estudantes quando comparado às salas com janelas operáveis, pois ao abri-las para a ventilação natural, os alunos eram prejudicados com a contaminação e com o ruído externos vindo de uma rodovia próxima.

- Substituição de materiais por aqueles menos tóxicos e/ou a utilização dos mesmos (tintas, solventes) longe dos ocupantes ou em dias em que os mesmos não estarão (por ex.: fazer a limpeza forte dos pisos na sexta-feira, após o término das aulas, porque teremos o sábado e o domingo para o odor se dispersar).
- Implantação de um programa de educação/ advertência aos usuários sobre como eles podem estar poluindo um ambiente e como os mesmos podem fazer para controlar essa poluição. Sugere também que a escola ensine aos usuários como manusear os sistemas de condicionamento, ventilação e exaustão da mesma.

2.1.3. O conforto térmico: da evolução do conceito à prática projetual

Muitos estudos sobre o conforto térmico foram realizados com o intuito de descobrir quais as condições que um ambiente devia oferecer para que uma pessoa tivesse um bom funcionamento dos seus sistemas orgânicos, para que se sentisse confortável e assim realizasse bem suas tarefas. Ou seja, naquela época, o objetivo real final sempre buscava a melhor produtividade e as condições ideais para tal.

A origem das pesquisas sobre conforto térmico se confunde com o estudo das condições ambientais para trabalho em fábricas e minas no início do século XX. Desde então vários autores desenvolveram e ainda vêm desenvolvendo escalas e/ou índices de conforto térmico.

Já em 1905, Haldane sugeriu a Temperatura de Bulbo Úmido como um índice de estresse térmico, baseado nos seus estudos sobre condições térmicas em minas da Inglaterra (LIM³², 1983 apud GOULART et al., 1994).

Em 1923, Yaglou (apud JABARDO, 1984) desenvolveu estudos nos EUA para a ASHRAE, a fim de obter que condições de temperatura, umidade e velocidade relativa do ar trariam a mesma sensação térmica para um dado grupo de pessoas. Definiu-se a Temperatura Efetiva, que seria a temperatura de um ambiente de ar saturado e de velocidade nula do ar que provoca a mesma sensação térmica que o ambiente real, resultante de uma combinação de temperatura, umidade e velocidade relativa do ar.

No entanto, a Temperatura Efetiva ainda não poderia ser vista como um critério de conforto, pois não definia um intervalo de temperatura que representasse conforto para um número significativo de pessoas e não considerava fatores importantes como o tipo de vestimenta, a atividade das pessoas e a temperatura radiante média.

³² LIM, B.B.P. Energy conservation in buildings and the indoor environment – a review. Architecture Science Review, 26 (1), 1983. p. 6-12.

Mais tarde, novos estudos testaram a Temperatura Efetiva como indicadora de conforto: Grocott em 1948 no Irã, Mookerjee e Murgai em 1952 na Índia; Rao em 1952 em Calcutá, Ellis em 1953 em Singapura, Ambler em 1955 na Nigéria, e Koch et al. em 1960. O próprio Yaglou et al. a aperfeiçoou incluindo as trocas por radiação em 1950 (LIM, 1983 apud GOULART et al., 1994).

Outros estudos prosseguiram tentando sugerir outros índices de conforto. Destacam-se:

- a Carta Bioclimática proposta por Olgyay em 1963, com uma zona de conforto baseada no indivíduo (idade, sexo, peso, metabolismo, dieta, aclimatação e vestimenta); em 1968 a adaptou aos trópicos, expandindo os limites da zona de conforto em resposta à aclimatação.
- a Equação Geral de Conforto proposta por Fanger em 1967, que, em 1972 foi incorporada no conceito de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD). Esse conceito foi usado posteriormente na norma ISO 7730 (1984) com o recurso do Voto Médio Estimado (PMV) e na ASHRAE (1981) para limitar a zona de conforto.
- a Carta Bioclimática proposta por Givoni em 1969, que propôs uma correção em função da temperatura interna do edifício; e a de 1979, que foi aperfeiçoada com outras estratégias de projeto, porém destinadas a climas mediterrâneos subtropicais.
- a Carta Bioclimática proposta por Koenisberger em 1977, que adaptou a carta de Olgyay para a Austrália.
- a Carta Bioclimática proposta por Watson e Labs em 1983, baseada na carta de Givoni, mas com os limites de temperatura e umidade da ASHRAE.
- a Carta Bioclimática proposta por Gonzalez et al. em 1986 para a Venezuela, baseada em todas as cartas e estudos anteriores.
- a Carta Bioclimática proposta por Szokolay em 1987, baseada na carta de Givoni de 1979, que apresentou mais aplicabilidade a outros contextos climáticos, pois a zona de conforto varia em função da temperatura média local.
- a Carta Bioclimática proposta por Givoni em 1992, que foi adaptada países de climas quentes, expandindo os limites da zona de conforto em resposta à aclimatação das pessoas nesses locais; neste mesmo ano a ASHRAE também alterou o limite inferior de umidade absoluta e o superior de umidade relativa.

É importante ressaltar que valores estipulados como os de conforto não podem e não devem ser adotados por todas as regiões climáticas do mundo, pois apresentarão estratégias de projetos não apropriadas àquela realidade e, se for o caso, sistemas de condicionamento artificial superdimensionados.

Estudos recentes como os de Brager e Dear (1998), Olesen e Parsons (2002), Feriadi e Wong (2004) reafirmam o que antes já havia sido constatado por Olgyay (1968), Givoni (1992) e Busch (1992): pessoas que residem em locais de clima quente, principalmente em países em desenvolvimento, aceitam e convivem com valores maiores de temperatura e umidade do ar.

Segundo Goulart et al. (1994), Givoni provou que em países em desenvolvimento é possível elevar a temperatura máxima de conforto em 2°C e a umidade absoluta em 2g/kg. Mostrou também a alteração possível nos limites de conforto quando a velocidade do ar pudesse ser elevada de 0,1m/s (ASHRAE) para 1,5m/s. Defendeu essa hipótese se baseando nos estudos experimentais de Wu et al., que provaram ser possível 30°C em países desenvolvidos e 32°C em países quentes em desenvolvimento e para pessoas aclimatadas quando a velocidade do ar interna está a 2m/s.

Segundo o autor, o próprio Fanger mostrou que se o movimento de ar interno não for prejudicial ao trabalho, produzindo o efeito de levantar papéis, por exemplo, o mesmo pode ser utilizado como substituto do ar condicionado para resfriar ambientes no verão.

Pode-se concluir essa breve abordagem sobre parâmetros de conforto e sua aplicabilidade em diferentes contextos, apresentando um quadro resumo dos principais estudos que propuseram limites de temperatura e umidade do ar para configurar uma zona de conforto, feito por GOULART et al. (1994):

Tabela 2 - Limites das zonas de conforto térmico de diferentes autores. Fonte: GOULART et al. (1994)

		TEMPERATURA		UMIDADE		
METODOLOGIA	limite mínimo	limite máximo	limite mínimo	limite máximo	OBS.	
OLGYAY (EUA)	21,1°C	27,7°C	30%	65%	verão	
	20°C	24,4°C			inverno	
OLGYAY (trópicos)	23,9°C	29,5°C	20%	80%	verão	
	18,3°C	23,9°C			inverno	
ASHRAE 55-74	> 22,2°C TE*	< 25,6°C TE*	> 5 mm Hg	< 14 mm Hg		
ASHRAE 55-81	> 23 °C TE*	< 27 °C TE*	> 4 g/kg	< 12 g/kg	verão	
	> 20°C TE*	< 24°C TE*			inverno	
ASHRAE 55-92	> 23 °C TE*	< 26 °C TE*	> 4,5 g/kg e 30%	< 60 %	verão	
	> 20°C TE*	< 23,5°C TE*			inverno	
GIVONI original	> 21°C	< 26°C	> 5 mm Hg	< 17mmHg e 80%	baixas umid.	
		< 25°C			altas umid.	
GIVONI e MILNE	> 22,7 °C	< 27 °C	> 20%	< 80%	verão	
	>20 °C	< 24 °C			inverno	
GONZALEZ	> 22 °C	< 29 °C	> 4 g/kg	< 14 g/kg ou 75%	baixas umid.	
		< 26,5 °C			altas umid.	
GIVONI 92 Países Desenvolvidos	> 20 °C	< 27 °C	> 4,0 g/kg	< 80 % e 15g/kg	baixas umid.	
		< 25 °C			altas umid.	
GIVONI 92 Países em Desenvolvimento	> 25 °C	< 29 °C	> 4 g/kg	< 17 g/kg e 80%	baixas e altas	
		< 26 °C			umid. (verão)	
	> 18 °C	< 25 °C			(inverno)	
SZOKOLAY	TMA ± 2 K (SET)		> 4 g/kg	< 12 g/kg	limites variáveis c/ o clima local	
	TMM ± 1,75 K (SET)					
WATSON & LABS	> 20 °C TE*	< 25,6 °C TE*	> 5 mm Hg	< 80 %		
	Experiência na TAILÂNDIA	> 22 °C	< 28 °C			ar cond.
		< 31 °C				vent nat.

O ponto de partida da arquitetura escolar nos trópicos é entendê-la como agente responsável pela minimização do ganho de calor no edifício, e conseqüentemente pela redução da necessidade de resfriamento no mesmo. Segundo Givoni (1994), a redução do ganho de calor pelo edifício é dada

pela redução do tempo que o mesmo é exposto ao sol, e como as suas envoltórias reagem quando são expostas à radiação.

Assim, o ganho de calor solar depende das distribuições espacial e funcional da escola; da orientação dos ambientes e janelas em relação à insolação e aos ventos; do número, tamanho, localização, detalhes e sombreamento de janelas; das propriedades dos materiais; da resistência, da capacidade térmica e das cores das envoltórias; e depende também da vegetação próxima ao edifício.

Porém, mesmo adotando-se essa arquitetura que minimiza o ganho de calor solar, há ainda o ganho de calor interno proveniente das pessoas, equipamentos e iluminação. Para isso existem estratégias passivas e ativas de resfriamento.

As técnicas de resfriamento do sistema passivo geralmente são parte do próprio edifício, como o telhado, os materiais, ou o solo sob o edifício, por exemplo. No entanto, o termo "passivo" não exclui o uso de sistema mecânico (como ventiladores, por exemplo) quando sua aplicação vier para melhorar o desempenho do edifício.

A aplicabilidade dos diferentes tipos de sistemas de resfriamento passivo (ventilação, ventilação noturna, resfriamento por radiação, por evaporação direta e indireta, pelo solo e resfriamento de espaços abertos) depende da temperatura interna resultante no edifício. Os sistemas de resfriamento passivo só podem ser aplicados a certos tipos de edifício ou quando submetidos a condições climáticas específicas.

Os locais que não são climatizados mecanicamente e que estão sujeitos à ocupação intensa e prolongada deverão ser dotados de artifícios e estratégias de projeto que permitam a circulação do ar externo via natural ou mecânica.

Essa consciente intervenção da arquitetura, segundo Frota e Schiffer (2001), seria possível se houvesse também o domínio dos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais.

Quando os ambientes são climatizados mecânica ou artificialmente, possuem muito mais risco de apresentar problemas de contaminação do ar, porque muitas vezes trabalham com uma renovação abaixo da exigida por norma, dando margem à proliferação de bactérias e mofo.

Dados fornecidos pelo DOE³³ (2001 apud OLSON; KELLUM, 2003) apontaram para uma incidência menor de enfermidades em escolas que possuíam um recente sistema mecânico instalado ou em escolas que utilizavam mais a ventilação natural. Portanto, o mesmo alerta para a necessidade de

³³ U.S. DOE. Energy-Smart Building Choices, How School Administrators and Board Members are Improving Learning and Saving Money. U.S. DOE Office of Building Technology, State and Community Programs (BTS) Energy Smart Schools Brochure, - DOE/GO-102001-1430, Aug. 2001.

uma quantidade adequada de ar fresco em todas as áreas atendidas pelo sistema instalado e também para a minimização de sujeira, poeira e proliferação de micróbios no sistema.

A agência EPA (2003) complementa que o importante é saber que por onde o ar passa, ele leva, e também retira, partículas poluidoras, sempre de áreas de maior pressão para áreas de menor pressão. O importante é manter todas as aberturas, passagens e filtros limpos, assim como manter uma boa e constante ventilação.

Enfim, o ambiente fechado deve ser adequadamente ventilado, via natural, mecânica ou com ar condicionado, mesmo que esse não contenha fonte de poluição, e o mais importante, sua taxa de renovação de ar deve respeitar a natureza da atividade desenvolvida.

Se o clima e as condições do ar externo permitirem o uso de estratégias passivas de ventilação, a escola usufruirá uma melhor qualidade do ar interno enquanto obtém vantagens econômicas, melhores resultados escolares, e melhor desempenho dos funcionários. Se o clima e as condições do ar externo não oferecerem outra alternativa senão o uso de sistemas mecânicos, esses devem ser constantemente vistoriados para estar sempre limpos e em bom estado de funcionamento.

Portanto, além de se preocupar com o aquecimento e o resfriamento do edifício, é preciso atentar também para a qualidade do ar interno, pois todos esses componentes, tratados conjuntamente, serão responsáveis por oferecer ou não condições agradáveis dentro do espaço de ensino-aprendizagem.

Enfim, cuidar para que o ambiente interno da escola não ofereça condições piores que o ambiente externo é, no mínimo, a premissa obrigatória de um edifício que tem como objetivo básico oferecer abrigo aos usuários.

Algumas premissas de projeto que contribuem para o conforto térmico do edifício são apresentadas abaixo:

- Pensar o edifício de modo que esse ganhe o mínimo de calor no verão e perca o mínimo de calor no inverno.
- Resolver a forma e orientação mais conveniente para o volume, estabelecendo critérios de insolação e ventilação, quando existirem vários volumes.
- Aumentar a retirada da carga térmica do interior do edifício em épocas quentes, promovendo níveis maiores de ventilação quando a temperatura externa for inferior à interna.
- Remover o excesso de umidade do ambiente através da renovação do ar.
- Definir a densidade do edifício em sentido transversal para assegurar uma eficaz ventilação cruzada.

- Estabelecer um critério para a proporção de área envidraçada, para os tipos de proteção solar e de ventilação (higiênica e de conforto), analisando a eficácia global do sistema nos períodos de frio e calor, assim como o atendimento aos requisitos de iluminação natural.
- Controlar os ganhos de calor em épocas quentes, minimizando a energia solar que entra pelas aberturas e a energia solar absorvida pelas paredes externas.
- Transferir o calor para áreas do edifício com temperatura inferior ao do ambiente em épocas quentes (como depósitos, subsolos, etc.).
- Propor elementos construtivos e de paisagismo necessários para o condicionamento dos espaços externos.

2.1.4. Exemplos

Nesse contexto podemos destacar o estado da Califórnia (EUA), que vem construindo bons espaços de ensino-aprendizagem, além de publicar pesquisas e diretrizes de projeto para escolas de alto desempenho energético. Essas publicações estão auxiliando a construção de escolas em outros estados norte-americanos também. Abaixo foram selecionadas algumas imagens de espaços de ensino-aprendizagem que possuem qualidades projetuais que possivelmente³⁴ se refletem no conforto térmico dos usuários.



Destacam-se aqui o pátio interno (que permite a ventilação e a entrada de luz nas salas de aula), o desenho das fachadas (esquadrias em profundidade e prateleira de luz), e os *sheds* (que permitem a entrada de luz zenital aos espaços internos).

Figura 16 - *Roy Lee Walker Elem. School*, Texas, EUA.
Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006

³⁴ A palavra 'possivelmente' foi aqui utilizada porque a seleção dessas imagens se baseou em textos descritivos de terceiros, que apontavam, na maioria das vezes, características qualitativas desses espaços, e não quantitativas. A seleção se baseou também na minha capacidade de identificar os dispositivos arquitetônicos e as estratégias espaciais que geralmente trazem benefícios ao conforto (higrotérmico, luminoso, acústico, visual e ergonômico) daquele espaço.



Esse pátio interno foi projetado com vegetação local, água, diferentes texturas e superfícies. A combinação destes elementos proporciona um microclima diferenciado para a escola, trazendo benefícios climáticos e visuais para os ambientes que o circundam.

Figura 17 - *Zhangde Primary School*, Singapura. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/>>. Acesso em: 20 abr. 2006



O desenho diferenciado da cobertura permite a entrada da luz natural e o sombreamento das janelas inferiores.

Figura 18 - *The New Montessori School*, Holly Springs, NC, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006



A remodelação dessa escola trouxe luz natural através da abertura na cobertura, sombreamento das esquadrias inferiores pela projeção do telhado e a extensão da sala de aula para um jardim (recoo do terreno).

Figura 19 - *Santa Rita School*, Califórnia, EUA. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/>>. Acesso em: 20 abr. 2006



Destaca-se aqui o desenho das fachadas, onde as esquadrias são sombreadas pelo jogo de volumes e pela prateleira de luz.

Figura 20, 21 - R.D. & Euzelle P. Smith; Clayton Middle School, EUA, respect. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso: 10 abr. 2006

2.2. O ambiente luminoso

Ambiente luminoso é aquele que utiliza preferencialmente a luz natural para providenciar uma iluminação de qualidade ao ambiente interno, trazendo além do conforto visual, a economia de energia elétrica. O nível de integração da iluminação natural ao projeto de arquitetura, à iluminação artificial e aos demais sistemas afetará diretamente o resultado formal do edifício, afetará a qualidade espacial e o ambiente visual do mesmo.

Pode-se dizer que se está em conforto visual quando for possível ver bem, sem nenhum incômodo visual; quando o nível de iluminância é adequado à tarefa; quando não se têm contraste de luz que obrigue a forçar a vista; quando há a ausência de ofuscamentos provocados por áreas excessivamente iluminadas em relação aos demais pontos do ambiente; quando há a ausência de reflexos que produzam distúrbios visuais.

A seguir, será abordada a importância do conforto luminoso em espaços de ensino-aprendizagem sob o ponto de vista da influência da luz sobre o organismo humano. Logo após, será resumidamente descrita a evolução dos estudos de conforto luminoso até se chegar à prática projetual de ambientes com as características citadas acima.

2.2.1. Como a luz afeta o organismo

De um modo geral, o organismo utiliza a luz de uma maneira bem ampla, isto é, como um nutriente, similar à água e à comida durante um processo metabólico. Segundo Edwards e Torcellini (2002), a luz natural também está associada:

- à alta produtividade (alto desempenho escolar, no caso dessa pesquisa);
- ao baixo absenteísmo;
- à redução da ocorrência de erros e defeitos durante a realização de uma tarefa;
- à redução da fadiga e do cansaço visual;
- a atitudes positivas e à melhora do humor.

Quanto às atitudes positivas e à melhora do humor, essas podem ser explicadas também pela possibilidade de visão ao exterior, porque vistas a cenários externos (principalmente naturais) produzem respostas positivas, como a redução do estresse e da ansiedade, a conservação da atenção e a mudança de temperamento.

Estudos realizados por Ulrich em 1979, 1981 e 1986 e citados por Heerwagen (1986 apud EDWARDS; TORCELLINI, 2002) comprovaram que janelas voltadas para cenários com vegetação e água produzem efeitos psico-fisiológicos positivos nas pessoas, que se refletem num estado de ânimo mais relaxado, com menor tensão muscular e pressão sanguínea.

De acordo com Hathaway et al.³⁵ (1992 apud EDWARDS; TORCELLINI, 2002), a luz natural apresenta os mais altos níveis de luz necessários ao bom funcionamento biológico, como a formação, renovação e pigmentação da pele pela síntese de vitamina D, a redução de cavidades dentais, a visão, entre outros. Baseada nessa publicação, abaixo será explicado como a luz influencia no desempenho da visão, dos sistemas nervoso e endócrino, das glândulas, no aparecimento de cavidades dentais e no controle do ciclo circadiano.

Visão

Dr. Ott³⁶ (1997) explica que o olho humano funciona melhor quando recebe o espectro de luz completo proveniente da luz natural. Por outro lado, as lâmpadas fluorescentes encontradas na maioria das escolas e escritórios possuem um espectro de luz desbalanceado e impróprio para o sistema ocular humano (sensível à luz graças à pupila e à retina). Outros estudos provaram que a mudança no tamanho da pupila para adequação ao brilho da luz fluorescente afeta fortemente o desempenho da retina.

³⁵ HATHAWAY, W.E.; HARGREAVES, J.A.; THOMPSON, G.W.; NOVITSKY, D. A Study Into the Effects of Light on Children of Elementary School Age: A Case of Daylight Robbery. Alberta: Policy and Planning Branch, Planning and Information Services Division, Alberta Education, 1992.

³⁶ OTT BIOLIGHT SYSTEMS, Inc. If You are Indoors Under Artificial Lights...We Have Important News for You! Santa Barbara, California: Ott Biolight Systems, Inc., 1997.

Cavidades dentais

Existe uma forte relação entre a exposição das crianças ao sol e o seu nível de deterioração dental, fazendo com que a luz natural (associada à assimilação da vitamina D) seja um elemento muito importante para a prevenção de cáries nas mesmas.

Um estudo mostrou uma maior propensão ao aparecimento de cáries no inverno e primavera, quando as crianças despendem menos tempo do lado de fora das salas de aula. Descobriu-se também que a luz fluorescente de espectro completo (mais aproximada à luz natural) provocou um aparecimento de cáries nove vezes menor do que quando expostos à luz fluorescente convencional.

Sistemas nervoso e endócrino

Vários doutores e especialistas estudaram sobre os efeitos da luz sobre os sistemas nervoso e endócrino e separam as modificações endócrino-hormonais e metabólicas em duas categorias: quando a luz é recebida pela retina ou pela pele.

Wurtman e Neer em 1975 alertaram que a privação de luz à retina desregula as funções hormonais neuro-endócrinas responsáveis pela puberdade, ovulação e outra variedade de ritmos diários.

Já Danzig et al. afirmaram que desordens fisiológicas ocorrem quando a pele humana não recebe nenhum tipo de exposição à radiação solar (direta ou difusa) por longo período de tempo. A deficiência de vitamina D no organismo será seguida por um sistema de defesa debilitado e por problemas crônicos.

E Birren, em 1992, diz que a radiação ultra-violeta intensifica o processo enzimático metabólico, melhora as atividades do sistema hormonal, do sistema nervoso central e do sistema muscular.

Ciclos circadianos e glândulas

A luz que entra pela retina é transmitida ao hipotálamo³⁷ e assim é controlado nosso ritmo circadiano, ritmo responsável por sincronizar nosso relógio interno diário. Esse relógio interno produz uma duração de dia 'subjetivo', que difere habilmente as 24 horas de um dia. Segundo eles, os efeitos da luz sobre o ritmo circadiano podem ser estudados usando-se variáveis

³⁷ O hipotálamo é a parte do encéfalo que forma o pavimento e a parede lateral do terceiro ventrículo e que controla as atividades viscerais, o equilíbrio hídrico, a temperatura corporal e outras funções importantes. Fonte: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Hipot%C3%A1lamo>>. Acesso em: 28 mar. 2006.

fisiológicas como a temperatura corporal, os níveis de melatonina³⁸, a produção de urina, a atividade do córtex e a agilidade mental.

Bryan, em 1998, afirma que a secreção de melatonina pela glândula pineal³⁹ é intimamente seguida da secreção de cortisol pela glândula supra-renal, ambas as glândulas afetadas pela presença ou não da luz natural. O cortisol afeta a quebra de carboidratos, proteínas e gordura pelo organismo, o desenvolvimento de células sanguíneas brancas, a atividade do sistema nervoso e a regulação da pressão sanguínea.

2.2.2. O conforto luminoso em prática

Ao se projetar elementos arquitetônicos que providenciam ao ambiente uma luz natural de qualidade, serão reduzidas as cargas de iluminação e resfriamento, que por sua vez, reduzirão os custos financeiros (pois minimizarão o tamanho do equipamento de ar condicionado) e o custo de operação. Por último, todos os usuários ficarão mais satisfeitos. No caso de escolas, serão obtidos melhores rendimentos escolares, e no caso de ambientes de trabalho, serão obtidos maiores níveis de produtividade.

Para tanto, *Energy Design Resources*⁴⁰ (1999) recomenda que se tenham os seguintes princípios de projeto em mente:

- Tratar o edifício como uma luminária: pensar na geometria externa e interna e nas cores das superfícies do edifício para que a luz seja melhor distribuída no espaço, para que seja levada e redirecionada para onde é necessário, e para que sejam evitados os contrastes e ofuscamentos.
- Diferenciar os vidros que trarão a luz natural para o interior do edifício dos vidros com função apenas de permitir a visão para o exterior: especificar cada vidro de acordo com a função que exercerá e de acordo com a combinação de diversos fatores (orientação solar, presença ou não de elementos sombreadores externos, tamanho e localização das aberturas, condições

³⁸ Segundo Salares e Russell (1996 apud EDWARDS; TORCELLINI, 2002), a melatonina afeta o sono, o humor, a temperatura corporal, o começo da puberdade, o desenvolvimento de tumores.

³⁹ O papel fisiológico da glândula pineal é sinalizar para o meio interno, pela alternância entre a presença (ou maior concentração) e ausência (ou menor concentração) diária de seu principal hormônio (melatonina) na circulação e nos diversos líquidos corpóreos. Ainda, sinaliza se é noite ou dia no meio exterior, e qual é a estação do ano através das características do seu perfil plasmático noturno. Dessa forma, a glândula pineal constitui parte importante do sistema neuro-endócrino, responsável, em última instância, pela organização temporal dos diversos eventos fisiológicos e comportamentais (necessidade fundamental para a adaptação do indivíduo e da espécie às flutuações temporais cíclicas do meio ambiente). Fonte: <<http://www.crono.icb.usp.br/glandpineal.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2006.

⁴⁰ Instituição norte-americana que desenvolve estudos na área de arquitetura sustentável. Mais informações na página: <www.energydesignresources.com>.

climáticas locais, refletância das superfícies e das áreas externas, geometria do espaço interno, níveis internos de iluminância e contraste requeridos para as tarefas visuais).

- Integrar o sistema de iluminação natural com a arquitetura: ao diferenciar as funções das janelas (iluminação ou visão) através de uma criativa arquitetura, o resultado formal dessa articulação de superfícies aproximará o conceito de escala humana às fachadas do edifício.
- Fornecer luz de modo a buscar os pontos visuais e de interesse: com ou sem a ajuda da luz artificial, focar e iluminar uma área que mereça destaque tanto por sua atividade quanto por sua localização.
- Fornecer luz de modo a suprir as demandas das tarefas visuais: com ou sem a ajuda da luz artificial, focar e iluminar cada área de acordo com a tarefa a ser realizada ali, segundo os níveis de iluminância e contraste exigidos pelo regimento local.
- Integrar o sistema de iluminação natural aos outros sistemas do edifício: além de influenciar o sistema de iluminação artificial, o projeto de iluminação natural também pode afetar outros aspectos do edifício, como o sistema estrutural (tipo, tamanho e localização), o pé-direito, o sistema mecânico, a locação de dutos no espaço, os materiais de acabamento interno e a seleção de mobiliários.

Complementando, recomendam-se estratégias específicas de projeto para que se tenha um espaço de ensino-aprendizagem com qualidade luminosa:

- Minimizar o uso de vidro nas fachadas leste e oeste e maximizar a luz natural de qualidade com aberturas para norte e sul.
- Trabalhar com a relação comprimento/ largura e com o pé-direito do ambiente, para alcançar a uniformidade da distribuição da luz.
- Incrementar o coeficiente de reflexão interna com cores claras nas paredes opostas às janelas e no teto, a fim de melhorar a distribuição do FLD (Fator de Luz Diurna).
- Utilizar luz zenital através do jogo de coberturas (a evitando se não puder controlar o aquecimento através dessa no verão).
- Obstruir a entrada da radiação solar direta para evitar ofuscamento direto ou refletido.
- Propiciar um espectro luminoso parecido com o solar.
- Utilizar prateleiras de luz (com vidros diferenciados abaixo e acima dessas) para iluminar zonas mais profundas.

- Utilizar elementos externos móveis (como *brises*, por exemplo) que bloqueiam a radiação solar direta sobre as janelas.
- Utilizar elementos internos móveis (como aletas, persianas ou tecidos desenroláveis, por exemplo) para escurecer o ambiente quando for preciso (por motivo de alguma apresentação multimídia, por exemplo).
- Integrar o sistema de luz natural com o artificial, para que os circuitos possam ser acionados de forma independente, complementando a natural de acordo com a curva de distribuição do FLD.
- Incorporar sensores e dimerizadores para controlar o nível de iluminância interna.

2.2.3. Exemplos

Abaixo foram selecionadas algumas imagens de espaços de ensino-aprendizagem que possuem qualidades projetuais que possivelmente⁴¹ se reflitam no conforto luminoso dos usuários.



Figura 22, 23 - Escola em Fresno, Califórnia, EUA. Fonte: California Energy Commission (2003b)

A luz natural é proveniente da orientação norte (esquerda) e da sul (direita). Utilizou-se o teto inclinado como refletor interno da luz natural.

⁴¹ A palavra 'possivelmente' foi aqui utilizada porque a seleção dessas imagens se baseou em textos descritivos de terceiros, que apontavam, na maioria das vezes, características qualitativas desses espaços, e não quantitativas. A seleção se baseou também na minha capacidade de identificar os dispositivos arquitetônicos e as estratégias espaciais que geralmente trazem benefícios ao conforto (higrotérmico, luminoso, acústico, visual e ergonômico) daquele espaço.



Figura 24 - *Durant Road Middle School*, Califórnia, EUA.
Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 12 abr. 2006

A luz natural é proveniente do dispositivo zenital na cobertura, onde as aletas refletoras internas auxiliam no direcionamento da luz para que a mesma não incida diretamente nos espaços de trabalho.



Figura 25 - *Luz Heritage Middle School*, Califórnia, EUA.
Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 12 abr. 2006

A luz natural aqui também se apresenta suave e bem distribuída devido às aletas refletoras internas junto ao dispositivo zenital. Essas aletas são feitas de material translúcido claro.



Figura 26 - *Reim Elementary School*, Israel. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/>>. Acesso em: 20 abr. 2006

O aproveitamento da sala para a realização de atividades múltiplas é otimizado devido à rica luz natural proveniente do zenital. Conforme a descrição do projeto encontrada na página indicada na legenda, muitas atividades são aqui desenvolvidas para que as crianças sintetizem melhor a vitamina D logo pela manhã.



Figura 27 - *Noble High School*, EUA. Fonte:
<<http://www.designshare.com/projects>>.
Acesso em: 20 abr. 2006

A abertura na cobertura do pátio interno das salas de aula permite a entrada da luz natural e a saída da ventilação. Destaque para o uso de materiais locais (como a madeira). Nota-se que a abertura fornece uma quantidade ideal de luz ao ambiente, pois as luminárias estão desligadas.



Figura 28 - *High Tech High*, EUA. Fonte:
<<http://www.designshare.com/projects/>>.
Acesso em: 20 abr. 2006

Essa abertura na cobertura possui lâminas automatizadas externas que direcionam a luz natural para dentro deste ambiente.

Abaixo, seguem imagens externas do conjunto escolar, que apresentam uma geometria diferenciada das coberturas, proporcionando a entrada da luz natural.



Figura 29 - Exterior da sala de aula da Santa Rita School, Los Altos, Califórnia, EUA. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/view.asp?pid=514&p=>>. Acesso em: 20 abr. 2006

Figura 30 - Interior da sala de aula da Santa Rita School, Los Altos, Califórnia, EUA. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects/view.asp?pid=514&p=>>. Acesso em: 20 abr. 2006



Figura 31 - Heritage Middle School, Califórnia, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006



Figura 32 - Four Oaks Elementary School, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006



Figura 33 - Four Oaks Elementary School, EUA. Fonte: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 abr. 2006

2.3. O ambiente acústico

Ambiente acústico é aquele que utiliza preferencialmente a própria arquitetura do edifício (juntamente com seus materiais de construção) para oferecer condições ideais à boa audição e locução dentro do mesmo.

Segundo Prado (1962), essa arquitetura deve resolver o problema do controle do som nos ambientes e do isolamento contra os sons indesejados, pois interessa que todas as pessoas escutem nitidamente, com suficiente intensidade e sem distorções.

Embora a acústica não seja o foco dessa pesquisa, cabe aqui estudá-la porque possui forte relação com os resultados térmicos, luminosos e visuais provenientes dos mecanismos de ventilação, dos tipos de esquadria, da escolha dos materiais, entre outros.

Portanto, será abordada a importância do conforto acústico em espaços de ensino-aprendizagem sob o ponto de vista da influência do som/ ruído sobre o organismo humano, e logo após, será resumidamente descrita a evolução desses estudos até se chegar à prática projetual de ambientes com as características citadas acima.

2.3.1. Como o ruído afeta o organismo

Para entender o porquê da importância do estudo de ambientes escolares com qualidade acústica é preciso conhecer os efeitos negativos que o ruído provoca no nosso organismo. Portanto, abaixo foram relacionadas algumas experiências e pesquisas com esse fim.

Os resultados de 1999 do *U.S. Architectural and Transportation Barriers Compliance Board*⁴² (SCHNEIDER, 2002) apontam os altos níveis de ruído de fundo, que afetam muito (mais que as condições térmicas) um ambiente de aprendizado destinado a crianças com problemas de audição, crianças que estão temporariamente com infecção no ouvido, crianças que estão aprendendo um novo idioma, ou aquelas que têm problemas de atenção. Essas crianças requerem condições ainda melhores para a compreensão da palavra falada e também para se comunicar.

Recente pesquisa de Nelson et al. (2003) sobre acústica em salas de aula mostrou que as crianças necessitam muito mais de silêncio e de um espaço com menos reverberação para ouvir e entender as palavras do que os adultos. As crianças (principalmente menores de 13 anos) têm um sistema de audição ainda imaturo e têm dificuldade mental de separar os sinais verbais do ruído de fundo. Enquanto os adultos, com o sistema de audição já desenvolvido, conseguem entender o que está

⁴² Agência independente do Órgão Federal Americano que se preocupa com a acessibilidade de pessoas com dificuldades.

sendo falado mesmo quando a diferença entre o nível do ruído de fundo e o nível da fala for pequena.

Segundo Oiticica e Gomes (2004), quanto maior esta diferença, melhor a compreensão do aluno e menor o nível de estresse do professor, uma vez que sua preocupação e esforço físico para transmitir seu conhecimento são reduzidos. Esta relação, que é chamada SNR (*Signal to Noise Ratio*), deve ter valores mínimos entre 10 e 15 dBA⁴³.

A pesquisa de Nelson et al. (2003) mediu os níveis sonoros internos de várias salas de aula de uma escola norte-americana do ensino fundamental. A relação SNR foi calculada e está exemplificada nas fotos abaixo:



Nessa situação, onde os 17 alunos estavam estudando individualmente, o nível de ruído de fundo ficou compreendido entre 59 e 62 dBA, e a voz do professor foi medido entre 60 e 62 dBA. Portanto, os alunos estavam perdendo informações importantes da aula do professor.

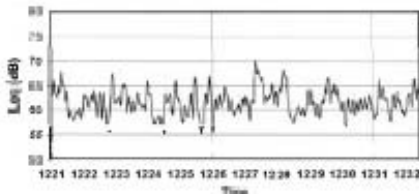


Figura 34 - Sala de aula durante a medição. Fonte: Nelson (2003)

Seep et al. (2000) aponta que na maioria das salas de aula dos EUA, a taxa de compreensão da palavra falada por alunos com sistema auditivo normal é de 75% ou menos, e que esta taxa depende da quantidade de ruído e da reverberação interna. A baixa compreensão da palavra falada resulta na redução do entendimento e do aprendizado.

⁴³ Conforme Nelson (2003), caso as escolas atendam a norma ANSI/ASA S12.60-2002 o valor do SNR será de 15 dBA.

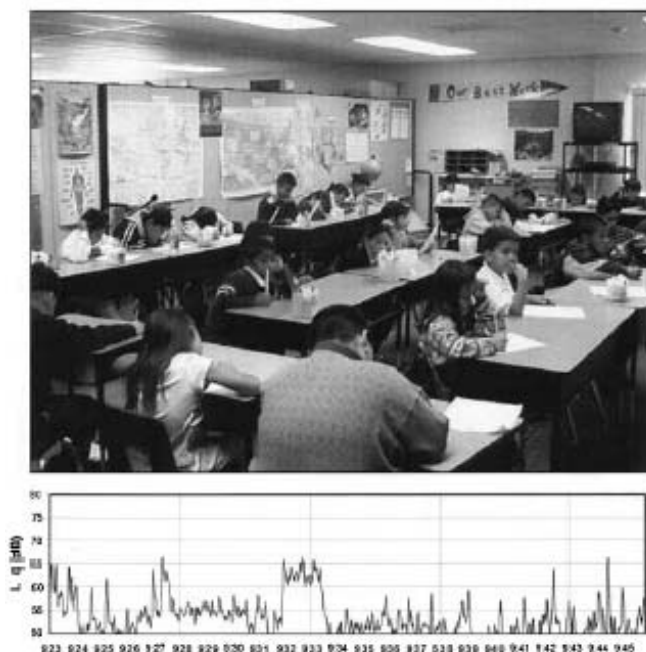


Figura 35 - Sala de aula durante a medição. Fonte: Nelson (2003)

Nessa situação, os 25 alunos estavam realizando uma prova escrita em uma sala de aula compartilhada (a parede do fundo possui uma parte aberta) e os níveis de ruído de fundo registrados ficaram compreendidos entre 50 e 56 dBA, com exceção de uns ruídos pontuais vindos da sala adjacente, que marcaram mais de 65 dBA. Nesse momento, os alunos se distraíram e interromperam a atividade que estavam realizando, o que numa situação de prova é muito ruim.

No entanto, não são somente as pessoas de menos idade que sofrem com a influência do ruído no seu organismo. A reclamação do nível de ruído no espaço urbano é constante, e afeta a vida cotidiana das pessoas, durante o trabalho (ou escola), durante o repouso em sua casa e durante o sono. E muitas vezes, ocorrem hospitalizações decorrentes dessa exposição ao ruído excessivo.

Isso pôde ser comprovado na pesquisa estatística publicada pelo *European Journal of Epidemiology* (SAINZ, 2004) onde se buscou identificar quais foram as variáveis ambientais (ruído, frio, calor, ozônio, partículas, etc.) que mais causaram ingressos hospitalares entre 1994 e 2000 na Espanha. E, o ruído, mais que a temperatura e a qualidade do ar, foi a variável ambiental mais relacionada às enfermidades com baixa em hospitais.

Além dos prejuízos no sistema auditivo, pode-se relacionar uma série de sintomas não auditivos provenientes da exposição do ouvido humano a um nível de ruído inapropriado. Entre eles, Sainz (2004) cita:

- Aumento da atividade dos hormônios relacionados com o estresse, como a adrenalina, por exemplo.
- Alterações do sono, pois se estamos submetidos ao ruído durante o mesmo, produzem-se efeitos no sistema nervoso vegetativo, como o aumento da pressão arterial e do ritmo cardíaco, vaso constrição, alterações da frequência respiratória e de movimentos corporais.

- Aumento do nível de colesterol e de triglicérides, devido à aparição de problemas digestivos ou ao risco cardiovascular provocado pela exposição a níveis sonoros superiores a 85 dBA.
- Nascimento de bebês abaixo do peso e com má formação quando grávidas vivem perto de aeroportos.
- Impossibilidade de realização de uma tarefa complexa quando submetido a um nível sonoro acima de 65 dBA, pois tem-se a dificuldade de concentração, a perda da atenção ou a interferência na comunicação.
- Problemas de aprendizagem.

Quanto ao estresse, pode-se dizer que a exposição a níveis elevados de ruído conduz o indivíduo a diferentes níveis do mesmo. Cantrell, em 1974, submeteu 20 jovens (média de idade: 21 anos) a 60 dias de ruído de fundo de 50 e 70 dBA, dia e de noite, respectivamente; com 3% do tempo de pico tonal médio de 85 dBA (o que não deve ultrapassar 52 e 71 dBA em média). O resultado dessa exposição foi um aumento médio de 25% no colesterol e de 68% no cortisol sanguíneo (CARVALHO, 1996).

Quanto à aprendizagem, Schneider (2002) coloca que se o ambiente possuir inapropriados níveis de ruído e/ou se for reverberante, esse influenciará na pressão sanguínea do aluno. Também reduzirá a absorção do conhecimento, prejudicará a interação verbal, a concentração, a compreensão da leitura e da palavra falada, e induzirá o aluno a sentimentos de abandono e desamparo.

Corbella e Yannas (2003) complementam como efeitos da exposição ao ruído:

- Perda da audição.
- Perda da qualidade de vida, como regiões próximas a aeroportos e rodovias.
- Interferência com sons e informações desejadas.
- Perda de atenção na tarefa que se deseja realizar.
- Perda de dinheiro tentando reduzir o ruído.

Como visto até agora, as crianças em idade escolar e os adolescentes são os que mais sofrem com a influência negativa do ruído. Por isso o interesse em oferecer condições acústicas adequadas em espaços ocupados por esse público para que esse não carregue consigo as conseqüências negativas do mau uso do seu sistema auditivo, conseqüências essas que podem, inclusive, permanecer por toda a vida.

Mas quais são as causas desses sintomas e prejuízos observados acima?

- Ruído vindo do exterior do edifício, como tráfego aéreo e veicular.
- Ruído vindo de espaços adjacentes e de pátios internos da própria escola.
- Ruído gerado pelo sistema de condicionamento artificial ou mecânico (ventiladores).
- Ruído gerado pelos computadores ou equipamento multimídia.
- Presença de muitas superfícies duras e reflexivas na sala de aula, gerando assim reverberação excessiva.

Como resolver esse problema? O que tem sido feito para obter salas de aula com conforto acústico? Quais as publicações e estudos realizados nessa área?

Nos EUA, *U.S. Architectural and Transportation Barriers Compliance Board* desenvolveu, juntamente com o setor privado (*Acoustical Society of America – ASA*), uma nova norma para acústica em salas de aula, devido à preocupação com o rendimento escolar das crianças com dificuldade de audição. Concluída em 2002, foi aprovada como ANSI/ASA S12.60-2002: *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools*. Especifica o nível máximo de ruído de fundo como 35 dBA e 55 dBC e o tempo de reverberação de 0,6 a 0,7 segundos (em salas desocupadas).

No entanto, Schneider (2002) já alertou para o problema que as escolas terão para implementar essa norma, porque a maioria dos sistemas de ar condicionado produz um ruído de fundo que ultrapassa o limite especificado. *E DESIGN* (1999) também expôs a problemática do atendimento aos limites da norma ao mostrar que salas de aula tradicionais geralmente apresentam níveis de ruído de fundo de 35 dBA (sala desocupada com ar condicionado desligado) e de 45 dBA (sala desocupada com ar condicionado ligado). Quando a sala está ocupada, esses valores sobem para 58 e 62 dBA, respectivamente.

Outro estudo⁴⁴ encomendado por *The Air Conditioning and Refrigeration Institute (ARI)* à *Armstrong, Torseth, Skold & Rydeen, Inc. (ATS&R)* teve como objetivo avaliar o impacto econômico que essa nova norma trouxe para as escolas já existentes. Para isso avaliou o desempenho acústico de 48 salas de aula de 16 escolas em Minnesota (EUA) e comparou os resultados coletados aos valores especificados na norma:

- Os níveis de ruído de fundo variaram entre 36 e 58 dBA, e a média deste valor nas salas de aula foi de 47 dBA (portanto, acima do limite máximo exigido pela norma).
- Todas as salas de aula apresentaram um tempo de reverberação acima do exigido pela norma.

⁴⁴ Estudo da *THE AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE (ARI)* divulgado na página <http://www.ari.org/er/documents/ARI_clsrm_exc_sum.pdf>. Acesso em: 12 abril 2006.

- Todas as salas de aula apresentaram níveis de isolamento ao ruído externo superiores ao da norma.

Concluiu-se que, para atender à norma ANSI/ASA S12.60-2002, a construção de salas novas teria um custo entre 4 e 16% mais elevado e a remodelação de salas antigas teria um custo entre 5 e 19% mais elevado.

Em contrapartida, Seep et al. (2000) alertou que os custos para se obter uma sala de aula com conforto acústico não são elevados, e que com uma pequena porcentagem a mais de investimento financeiro na construção das escolas, as salas de aula poderiam obter o conforto acústico.

Para isso, esse investimento deveria ser somado ao fato de que os arquitetos, construtores e investidores tenham em mente a questão da acústica desde o início do projeto. Além disso, os problemas acústicos poderiam ser evitados tendo-se um pouco mais de cuidado no momento de projetar e de construir, ou fazendo-se um diferente arranjo dos mesmos materiais.

De qualquer modo, o custo da remodelação de salas de aula será sempre menor que o custo social que as salas de aula problemáticas provocam no aprendizado e no desempenho de milhões de estudantes e professores.

2.3.2. O conforto acústico em prática

Os espaços de ensino-aprendizagem que possuem qualidade ambiental apresentam soluções arquitetônicas que trazem conforto térmico através da ventilação natural e conforto luminoso através da iluminação natural, por exemplo. Porém, todas essas soluções interferem no conforto acústico do espaço.

Segundo Prado (1962), a acústica deve ser considerada como uma das diretrizes mestras dos projetos e de sua execução e podem-se harmonizar as exigências acústicas com outros requisitos de conforto ou de estética.

A relação entre a ventilação e a acústica deve ser cuidadosamente tratada, até porque em alguns casos, uma estratégia de projeto pode e/ou deve ser privilegiada em relação à outra.

A relação entre a iluminação e a acústica deve ser também cuidadosamente tratada porque geralmente ambientes com muita superfície de vidro possuem uma qualidade acústica inferior. Se por um lado as janelas laterais e as aberturas para luz zenital (como *sheds*, clarabóias, *dômus*, etc) trazem luz natural para dentro do ambiente, por outro lado, o expõem termicamente e prejudicam a acústica do mesmo.

Conforme estudos desenvolvidos por *California Energy Commission* (2003b), onde foi avaliado o desempenho escolar de 8000 alunos do 3° ao 6° período distribuídos em 450 salas de aula da

escola de Fresno na Califórnia, constataram-se que salas de aula com luz natural possuíam mais ruído proveniente do exterior (através das janelas) e as salas de aula com menos luz natural (menos área de janelas) possuíam mais ruído proveniente de outras salas de aula, através das paredes e espaços compartilhados.

Concluiu-se ainda que as salas de aula com luz natural tendem a ter níveis de reverberação acima dos exigidos por norma. Os espaços que possuem grandes superfícies de vidro são reverberantes, porque a reverberação é maior na presença de superfícies duras e quando há uma distância maior entre essas superfícies refletoras. A reverberação é medida como o tempo que o som, após suas várias reflexões, leva para morrer num determinado espaço (*CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2003b*).

Para o problema de controle do som no ambiente, Prado (1962) coloca que é preciso distribuir bem a potência irradiada pelas fontes de som e evitar os defeitos acústicos, tais como certos ecos, a reverberação excessiva, etc., que impedem a clareza da audição ou alteram o timbre dos sons (falta de fidelidade).

Seep et al. (2000) aponta duas maneiras de diminuir a reverberação de um espaço:

- O volume do mesmo deve ser diminuído. O decréscimo do volume do recinto nem sempre é uma opção executável, pois não são todas as escolas com pé direito alto. Nessa situação, adicionar um forro suspenso com materiais absorventes pode melhorar bastante a acústica do espaço, porém essa estratégia requer novo sistema de iluminação artificial e requer cuidado para não interferir na entrada de luz natural através das janelas altas.
- A área de absorção do som deve ser aumentada com materiais macios/ porosos, como fibra de vidro, carpete e tetos acústicos. Essa estratégia apresenta melhores resultados quando os materiais não estão concentrados em apenas uma parede, piso ou teto. Uma sala de aula com teto acústico suspenso diminuirá a reverberação, mas não evitará o eco provocado pelas paredes e esquadrias (materiais duros).

É preciso atentar para a colocação de certos materiais absorventes, como cortina, por exemplo, porque mesmo diminuindo a reverberação interna, essa pode prejudicar o conforto térmico e luminoso do ambiente. A colocação de carpete também deve ser cuidadosa porque esse pode ser uma fonte de contaminação (afetando a qualidade do ar interno) e pode apresentar problemas de manutenção (pois a escola necessita de espaços limpos, frescos e de fácil limpeza).

De acordo com Seep et al. (2000), o som que se reflete várias vezes entre duas superfícies planas, duras e paralelas produz o efeito de eco. Essas reflexões podem ocorrer entre duas paredes ou entre o piso e o teto. Para evitar essas reflexões indesejáveis, o autor sugere:

- que se cubra uma das superfícies com material absorvente (a parede do fundo, por exemplo, para que o som seja absorvido e não retorne para o professor),

- que se cubra uma das superfícies com um material difusor (para que o som seja refletido para várias direções)
- ou que uma das paredes seja inclinada 8° (para que assim não fique paralela com a outra).

Seep et al. (2000) também coloca que às vezes, em vez de usar material de absorção para evitar a reflexão, a sala de aula deve aproveitar as superfícies como refletoras para que o som atinja o local almejado antes que seja absorvido. Esse caso é corrente em salas de aula grandes e com pequeno tempo de reverberação, pois a palavra do professor some antes dos alunos da última fila a escutarem. Para isso, o espaço deve ser estudado de modo a possuir superfícies refletoras, mas também materiais absorventes, principalmente do centro para o final da sala. É válido lembrar que essa estratégia depende do método de ensino do professor, porque não é válida para salas de aula que realizam trabalhos em grupo e para laboratórios.

O ruído gerado por equipamentos mecânicos (ventilação, ar condicionado) é preocupante no sentido em que o mesmo piora a relação SNR, necessária para a boa compreensão da palavra falada. Esse ruído compete com a voz do professor e as conseqüências são a fadiga vocal do mesmo e a distração dos alunos. O ruído pode ser gerado de uma ou mais fontes, e em casos complexos é melhor ter a consultoria de um profissional da área de acústica ou do próprio sistema.

Para evitar o ruído gerado por equipamentos mecânicos, Seep et al. (2000) aconselha:

- localizar o equipamento mecânico de forro e as unidades de *fan-coils* longe dos pontos críticos, isto é, das salas de aula.
- selecionar equipamentos silenciosos já no momento da especificação do projeto.
- dimensionar os dutos de modo a gerar uma velocidade do ar baixa.
- despender maior atenção e custo nos dutos mais longos para evitar manutenção em trechos complicados e que atrapalhem o atendimento de boa parte da escola.
- evitar o uso de ventiladores, unidades *fan-coils* e *splits* nas salas de aula, pois o ventilador e o compressor desses sistemas são geralmente ruidosos.

De qualquer modo, é válido lembrar que o mau planejamento do sistema se torna ainda mais custoso se o mesmo necessitar de reparação em salas de aulas já em funcionamento. No entanto, Seep et al. (2000) coloca que o ruído gerado pelo sistema pode ser eliminado com pouco ou nada de custo extra, caso ele seja bem projetado já no início.

O som proveniente de espaços contíguos (fontes internas de ruído), hoje se tornou um problema constante porque as construções atuais estão usando paredes divisórias com pouca massa, objetivando a redução do custo e do peso para a estrutura. As construções antigas, feitas com paredes maciças de tijolo ou concreto, não apresentavam esse problema.

No entanto, existem paredes leves boas e ruins. Dentre as boas, Seep et al. (2000) aponta as duplas paredes de gesso com material absorvente internamente:

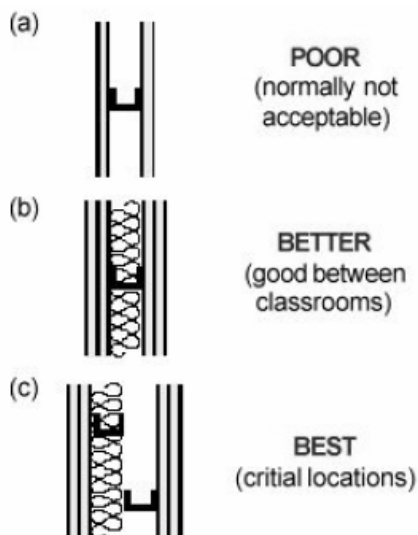


Figura 36 - Tipos de divisórias leves. Fonte: Seep et al. (2000)

Ainda a fim de evitar a propagação do ruído gerado internamente, aconselha-se checar todas as frestas de portas, janelas, grelhas, entre outros, e também sugere a construção da parede até a laje do piso superior ou até a cobertura, e não até o forro leve, caso esse exista.

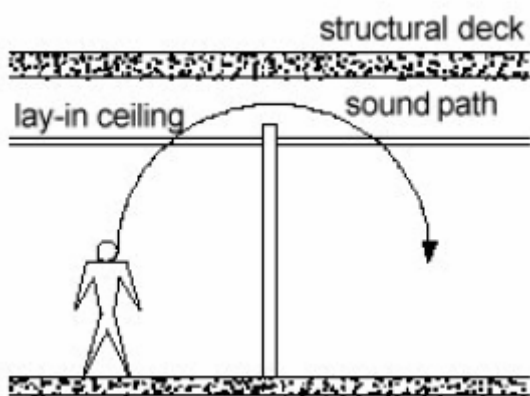


Figura 37 - Propagação do ruído através de divisórias. Fonte: Seep et al. (2000)

A própria distribuição espacial da escola pode evitar a propagação do ruído gerado internamente. Para isso, basta segregar os ambientes mais ruidosos (sala de máquinas, ginásio, lanchonete, pátios) das áreas que necessitam de mais silêncio (salas de aula, biblioteca, administração) através das áreas neutras e de transição (corredores, sanitários e depósitos).

Seep et al. (2000) demonstra que os percursos (a) e (b) são mais eficientes porque são mais longos e evitam que o som de uma sala se misture com a outra. Já os percursos (c) e (d) não são indicados porque são mais curtos e permitem que o ruído gerado em uma sala de aula invada a outra.

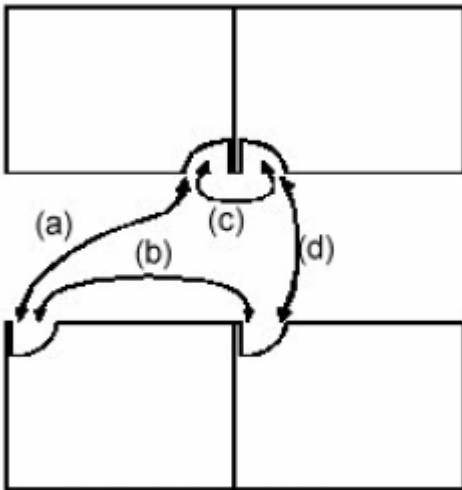


Figura 38 - Portas desencontradas. Fonte: Seep et al. (2000)

Muitas escolas são construídas com tijolo ou concreto nas suas paredes externas, sendo assim, uma boa barreira para o ruído externo. No entanto, o ruído passa pelas janelas que estão abertas ou mal vedadas. Para amenizar esse problema, o projeto de implantação e de distribuição espacial das atividades no terreno deve ser criterioso. Deve considerar as fontes de ruído externo (avião, rodovia, ônibus, caminhões, estacionamento, parques, etc) e afastar as atividades que exigem mais atenção dessas fontes ruidosas.

Prado (1962) ressalta também a importância da redução das vibrações e trepidações das estruturas (pisos, paredes, etc.), provocadas pelo funcionamento de máquinas ou pela passagem de veículos nas proximidades.

Segundo a norma brasileira de desempenho de edifícios NBR 15220-1 (ABNT, 2005a), as premissas de projeto devem considerar:

- o nível de ruído externo à edificação e os valores limites estabelecidos para uso interno dos ambientes.
- a redução do ruído requerida entre o lado externo e o lado interno de ambientes de uso específico, inclusive fachadas.
- as condições de geração, propagação e recepção dos sons na edificação.

- os ruídos contínuos, variáveis e de impactos, e das vibrações de equipamentos, como motores-bomba, elevadores, válvulas de descarga, motores geradores de energia, tubulações de água e esgoto, ventilação e ar condicionado.

Complementando o que já foi tratado anteriormente, aconselham-se as estratégias de projeto:

- Conhecer a fonte do ruído e afastar o edifício o máximo possível desta.
- Se existir uma fonte de ruído próxima, a fachada não deve possuir muitas aberturas, as paredes devem ser pesadas e com revestimentos porosos.
- Localizar obstáculos, paredes, painéis absorventes ou refletores para evitar ou diminuir o ruído que chega às aberturas.
- Trabalhar com os coeficientes de absorção do som pelo solo: 0 para lajes de concreto, granito; 0,2 para madeira, reboco, pedras irregulares; 0,5 para solo natural irregular com vegetação densa (CORBELLA; YANNAS, 2003).
- Zonear as atividades do edifício conforme as solicitações por níveis de ruído para a realização de tarefas. Atividades que não necessitam de tanto silêncio, como salas de educação física podem ficar próximas a ruas e demais áreas de recreação.
- Conhecer o caminho que o ruído percorre.
- Conhecer o receptor do ruído.

2.4. O ambiente visual

O ambiente visual é agradável de se ver, de se sentir e de nele se encontrar. Ele é acolhedor, luminoso; é influenciado pelo espaço que o circunda e pela possibilidade de vistas para o exterior; é composto por cores, superfícies, materiais, texturas e revestimentos que o enriquecem.

O ambiente visual interno tornou-se mais importante a partir do momento em que as pessoas começaram a despender mais tempo dentro do que fora do edifício. Estados de pressão, melancolia e cansaço visual são conseqüências comuns à permanência prolongada a um ambiente não agradável visualmente. Por isso, podemos usar as cores e outros artifícios para tornar os ambientes de trabalho mais agradáveis, para amenizar a monotonia de uma tarefa, para melhorar o humor e a produtividade de uma pessoa.

O ambiente visual em escolas afeta o aprendizado, a motivação, o desempenho e também o comportamento dos usuários (incluindo vandalismo dos alunos). Pode-se dizer inclusive que o estado de ânimo ao fim da jornada de estudo ou trabalho de cada um dependerá e muito de como esse foi influenciado pelo ambiente.

Portanto, a importância do estudo do ambiente visual no âmbito da arquitetura escolar está inicialmente justificada, mas como desdobramento do assunto, será abordada a seguir a influência psico-fisiológica das cores e revestimentos internos sobre os usuários, além de alguns estudos sobre o conforto visual e como este está sendo aplicado na prática.

As cores são complementos ao ambiente, capaz de, se bem usadas, amenizar condições naturalmente desfavoráveis.

2.4.1. Como as cores e revestimentos afetam os usuários

O homem apresenta diversas reações às cores e as mesmas possuem diferentes simbologias, associações e superstições, que variam de acordo com a região e a cultura. As cores quentes e cores frias fazem as pessoas perceberem diferentemente a temperatura de um ambiente.

Em relação ao significado das cores, Thompson (2003) as descreve da seguinte maneira: vermelho e laranja são estimulantes, amarelo é alegre, azul e verde são relaxantes.

Para Lang (1996), as cores claras tendem à aproximação, avanço; as cores sombrias e escuras tendem ao retrocesso, à desistência.

Os estudos de Torrice (apud ENGELBRECHT, 2003) propõem que os sistemas humanos são assim influenciados pelas cores/ tons:

- O vermelho influencia a nossa atividade motora;
- O laranja influencia o nosso sistema circulatório;
- O amarelo influencia o sistema cardio-pulmonar;
- O verde influencia a nossa habilidade de comunicação;
- O azul influencia a visão, o olfato e a audição;
- O violeta influencia as atividades não verbais.

Segundo Engelbrecht (2003), ambientes monocromáticos são considerados negativos, enquanto ambientes coloridos são considerados positivos. O ambiente monocromático induz a sentimentos de ansiedade, medo e distração, resultando na sub-estimulação. A falta de estimulação gera inquietação, impaciência, dificuldade de concentração e irritação. Já a presença de cores na sala de aula estimula passivamente a atividade cerebral, ajudando o aluno e o professor a manterem-se focados na tarefa que está sendo realizada. A cor também pode criar um sistema de ordem e ajudar a distinguir coisas importantes das não importantes nos ambientes, principalmente em crianças que estão aprendendo a se orientar em um novo espaço.

Em 1976, Kuller⁴⁵ (apud KHOUW, 2002) realizou um estudo sobre o efeito das cores em dois diferentes ambientes. Para isso, 6 homens e 6 mulheres foram monitorados através do exame de encefalograma e da pulsação, quando submetidos a um ambiente colorido e complexo, e depois a outro cinza e sóbrio. Os resultados mostraram que os batimentos cardíacos foram mais rápidos no ambiente cinza, e que os homens se demonstraram, em geral, mais estressados que as mulheres.

No entanto, três anos depois, Failey et al.⁴⁶ (1979 apud JAGO; TANNER, 1999) descobre que cores quentes e o brilho da luz aumentam a tensão muscular, a frequência da respiração, o batimento cardíaco, a pressão sanguínea e atividade cerebral. Cores frias, escuras e luz sombria trazem relaxamento muscular e mais facilidade para dormir.

Além disso, Kuller (1976 apud KHOUW, 2002) demonstrou como as diferentes cores e acabamentos afetam não só o córtex⁴⁷ como também todo o sistema nervoso central. Também demonstrou que a cor altera o nível cerebral alfa, que comanda o estado de vigília e alerta de uma pessoa. Ainda, quando a cor atinge o olho humano, o cérebro libera o hormônio hipotálamo, que afeta o humor, a clareza mental e o nível de energia.

Boyatzis e Varghese (1994) realizaram estudos a cerca da relação emocional de 60 crianças (30 meninos e 30 meninas, entre 5 e 6 anos e meio) às cores⁴⁸. Elas foram questionadas sobre quais suas cores preferidas e como elas se sentiam em relação às mesmas. Quase 70% das crianças apresentaram respostas positivas em relação às cores, como excitação, alegria, etc. E mais, elas apresentaram reações positivas a cores claras e vibrantes (rosa, azul, vermelho) e emoções negativas a cores escuras (marrom, preto, cinza).

As mesmas conclusões foram feitas por Thompson (2003): as crianças de 5 a 8 anos rejeitam cores como preto, branco, cinza e marrom.

Outro fator que influencia no ambiente visual é possibilidade de vista para o exterior. Segundo *California Energy Commission* (2003b) uma sala de aula com vista para vegetação, atividade humana ou paisagem, influencia positivamente no aprendizado.

⁴⁵ KULLER, R. The Use of Space: Some Physiological and Philosophical Aspects (Apresentado em THE THIRD INTERNATIONAL ARCHITECTURAL PSYCHOLOGY CONFERENCE, University Louis Pasteur, Strasbourg, France, 1976). 1976.

⁴⁶ FAILEY, A.; BURSOR, D.E.; MUSEMECHE, R.A. The impact of color and lighting in schools. Council of Educational Facility Planners Journal, 1979. p. 16-18.

⁴⁷ Córtex é a camada mais exterior ou periférica de um órgão. O córtex cerebral corresponde à camada mais externa do cérebro (rica em neurônios) e ao local do processamento neuronal mais sofisticado. Fonte: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3rtex>>. Acesso em 21 br. 2006.

⁴⁸ Pesquisa desenvolvida pelo Departamento de Desenvolvimento Infantil da Universidade do Estado da Califórnia.

A quantidade de luz em um ambiente também caracteriza um ambiente visual como agradável ou não. E as cores também exercem influência significativa nos aspectos relacionados à iluminação natural e artificial. Por exemplo, a aplicação de cores claras em grandes superfícies, além de resultar em economia de consumo de energia de até 30%, pode aumentar a produtividade na ordem de 80 a 90%, e também pode reduzir as ocorrências de ofuscamento e fadiga visual (IIDA⁴⁹, 1993 apud LEUCZ, 2001).

A penetração direta do sol, além de provocar desconforto térmico, provoca o ofuscamento, e esses fatos influenciam negativamente o aprendizado dos alunos. Interessantes observações foram feitas por *California Energy Commission* (2003b) nas salas de aula de Fresno⁵⁰, centro da Califórnia, em relação ao quadro do professor: quando esse era branco, o rendimento dos alunos era menor, porque a luz que reflete sobre ele gerava ofuscamento na sala de aula. Em contrapartida, o aprendizado em matemática era melhor em quadros brancos do que em quadros escuros (negros ou verdes), porque os professores gostam de usar mais o primeiro tipo, estendendo mais a explicação.

2.4.2. O conforto visual em prática

Segundo Lang (1996), as superfícies polidas sugerem dureza, solidez, mais que as superfícies e texturas ásperas, rugosas. A cor, assim como uma estampa ou uma textura, pode ser adicionada ao ambiente através do seu uso em um móvel, no tratamento da esquadria ou no recobrimento de um piso.

Porém, no momento de melhorar o ambiente visual da escola, substituir um móvel pode não ser tão fácil quando repintar uma parede. A troca de cor da pintura é provavelmente o meio mais rápido e menos custoso para melhorar visualmente um ambiente de ensino-aprendizagem. Para isso, sugere-se escolher cores e materiais simples, e que estejam posteriormente ainda disponíveis no mercado no caso da necessidade de repintura ou substituição de alguma peça.

Em escolas antigas, por exemplo, uma pintura nova traz outro visual, renova toda a atmosfera do lugar, reanima as pessoas. E ao envolver os alunos nessa atividade, o processo criativo e a imaginação estarão sendo instigados.

Os materiais de acabamento em escolas devem ser duráveis, rápidos de limpar e de fácil substituição, se for o caso, porque a percepção da limpeza e da 'idade' do ambiente influencia o desempenho dos usuários.

⁴⁹ IIDA, I. Ergonomia – projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher, 1995. 3ª ed.

⁵⁰ Foi estudado o ambiente físico da escola de Fresno e como esse influencia no desempenho escolar de 8000 alunos do 3º ao 6º período, distribuídos em 450 salas de aula.

Isso foi comprovado ao observar uma escola que estava recém pintada e a outra não: as médias escolares tinham aumentado na escola que havia passado por uma melhoria da sua aparência (LANG, 1996). Esse fato pode ser explicado de várias maneiras, e entre elas podemos dizer que os alunos que estudam em escolas mais bem conservadas e com melhor aparência possuem um senso de orgulho e se sentem honrados de ali estudarem, refletindo no desempenho escolar. Podemos ainda dizer que os alunos e professores precisam se sentir estimulados e motivados para passar horas de estudo e trabalho dentro de um ambiente fechado. Se a escola proporcionar uma vivência mais prazerosa nos seus ambientes, através das cores, superfícies, acabamentos, efeitos visuais, entre outros, o desempenho de todos será melhor.

Nas escolas, os trabalhos são feitos em sala de aula e a sua exposição nas paredes é uma atividade recorrente e importante. Portanto, as superfícies devem ter cores neutras para não competir com os trabalhos que ali serão expostos. Pode-se indicar os painéis de cortiça, pois além de possuir cor neutra, possuem propriedades absorventes, que evitam a reverberação e o eco em sala de aula.

Baseando-se em Thompson (2003), Mahnke (apud ENGELBRECHT 2003), Pile (1997 apud JAGO; TANNER, 1999), listam-se abaixo algumas recomendações em relação à pintura e aspectos visuais dos espaços da escola:

- A pintura de cada sala de aula deve ser adequada à faixa etária dos alunos a qual é destinada e à função/ atividade ali desenvolvida.
- Pré-escolas (crianças): cores pastéis, suaves, calmantes, acolhedoras (como branco e creme)⁵¹. As cores mais fortes e vibrantes são recomendadas para dar destaque a um ponto de interesse.
- Ensino fundamental/ médio (adolescentes): as cores básicas aqui são vista como imaturas, e esse público, influenciado pela moda, rejeita cores neutras em favor do azul, do marinho e do laranja. Aceitam bem o azul e o verde, que favorecem a concentração.
- Escolas técnicas: a presença constante de computadores provoca brilho excessivo e fadiga visual, portanto, cores suaves a médio tom em paredes e piso podem reduzir o contraste entre as estações de trabalho e o espaço circundante.
- Salas de aula em culturas e climas diferentes: para locais com sol o ano inteiro, o laranja pode provocar uma superestimulação; para locais com inverno rigoroso, o cinza não é apropriado; para locais liberais, as cores brilhantes, como laranja, azul e verde cítrico são as escolhas mais

⁵¹ Como antes colocado por Lang (1996), as paredes devem ser neutras para não competir com os trabalhos expostos dos alunos.

populares; para locais conservadores, os tons fechados e pastéis são os preferidos; para locais com vegetação densa, as cores mais saturadas são as mais indicadas.

- A diferença do brilho entre a cor do teto e do material de acabamento dos móveis não deve exceder a razão de 3 para 1.
- A diferença do brilho geral dentro do ambiente não deve exceder a razão 5 para 1.
- A parede do fundo da sala⁵² deve ter uma refletância de 50 a 60%, enquanto as demais podem ser brancas, areia ou creme.
- A parede frontal deve possuir uma cor forte, para que contraste com o quadro branco, verde claro ou azul. Ou deve possuir uma cor mais profunda ou mais clara que as paredes laterais, por dois motivos: para atrair a atenção dos alunos para o professor e para descansar a visão dos mesmos.
- Corredores e escadas: devem ser pintados com cores brilhantes em algumas áreas (como portas e final do corredor) para que proporcionem variedade e estimulação enquanto as pessoas por ali transitam. Devem ser coloridos e criativos porque conferem personalidade à escola. Ainda, o uso estratégico de cores auxilia visualmente a encurtar um percurso ou ampliar um espaço.
- Biblioteca: não deve ser um local sombrio, monótono e triste. O uso de cores quentes e claras encoraja os estudantes a ler, enquanto a cor verde claro favorece o sossego e a concentração. No entanto, como a biblioteca geralmente possui computadores, é necessário atentar para cores que evitem o ofuscamento e melhorem a fadiga visual.
- Auditórios, ginásios e lanchonetes, geralmente com grandes dimensões, tornam a escolha de cores um tanto crítica. Por isso, aconselha-se o uso de tons claros ou neutros como cor principal para fortalecer o espaço.
- Em todos os ambientes citados acima, é importante considerar o índice de reflexão luminosa das tintas e materiais de acabamento quando for fazer a seleção dos mesmos, pois as superfícies podem funcionar como uma segunda fonte luminosa para o espaço.
- Para um resultado ainda mais satisfatório, as paredes, os mobiliários, as máquinas e os equipamentos deverão seguir as cores planejadas. Da mesma forma, uma seleção e combinação convenientes de cores podem tornar um recinto mais amplo, mais alto, mais

⁵² Engelbrecht (2003) diz que o tratamento da parede do fundo da sala alivia a monotonia visual e estimula a atividade cerebral dos alunos.

acolhedor e mais apropriado a cada público, pois pode corrigir desproporções dimensionais da construção.

Após mostrar os benefícios das cores e como usá-las, CHPS (2002b) faz uma recomendação importante quando à característica das tintas: as tintas menos tóxicas (que sejam nada ou pouco voláteis) minimizam a poluição interna e os riscos à saúde dos pintores e dos usuários do espaço; as tintas à base de água são seguras, reduzem os riscos à saúde e evitam a contaminação do lixo, além das superfícies com elas pintadas serem mais fáceis de limpar.

2.4.3. Exemplos

Abaixo, alguns exemplos de escolas que utilizaram as cores em seus espaços de ensino-aprendizagem:



O corredor de acesso às salas de aula possui diferentes materiais, texturas, superfícies e cores. Essa dinamicidade de acabamentos aumenta a curiosidade e o repertório das crianças que ali estudam.

Figura 39 - *Greenman Elementary School*, Illinois, EUA. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects>>. Acesso em: 20 abr. 2006



Além da presença das cores nas esquadrias e piso, esse ambiente de circulação recebe a luz zenital através dos vidros laminados com películas coloridas.

Figura 40 - *Paschalis School*, Holanda. Fonte: <<http://www.designshare.com/projects>>. Acesso: 20 abr. 2006



A sala de aula para crianças apresenta cores primárias no mobiliário, brinquedos e tapetes. O piso e as paredes, por sua vez, possuem cores mais neutras.

Figura 41 - Pré-escola. Fonte: <<http://www.dmsa-online.com/federicoginer>>. Acesso em 24 abr. 2006



O corredor das salas de aula dessa escola infantil apresenta uma mistura de cores frias (verde e azul nas paredes, cinza no piso), quentes (amarelo e madeira) e neutras (branco no teto e bege no piso de madeira). Essa rica combinação de cores e materiais traz dinamicidade ao corredor e ao hall de entrada.

Figura 42 - *Chloe Clark Elem. School*, Seattle, EUA. Fonte: <<http://www.dlrgrouperducation.com/education/portfolio>>. Acesso em: 25 abr. 2006

2.5. O ambiente ergonômico

A necessidade de se pensar na qualidade ergonômica dos móveis e do próprio espaço físico da sala de aula vem se tornando cada vez mais imperativa, já que vários estudos comprovaram que o desempenho escolar é seriamente afetado pela ergonomia dos móveis e do espaço em geral. Essa ergonomia tem influência significativa no desenvolvimento físico das crianças em fase de crescimento e no desenvolvimento das atividades curriculares.

Portanto, será aqui abordada a importância de espaços ergonômicos no desempenho dos alunos e professores e, por fim, o que está sendo feito para melhorar a qualidade ergonômica de espaços escolares, seja por recomendações de projeto ou por exemplos na prática.

2.5.1. Ergonomia do mobiliário e do espaço físico e a influência no aprendizado

O assunto de ergonomia escolar começa já no momento da compra do mobiliário, acompanhado das seguintes perguntas: quanto gastar? Comprar carteira escolar ou mesa e cadeira separadas? Que tamanho deve ter? Quão facilmente removível deve ser? As peças são duráveis? Quanto espaço será necessário para armazenar?

No entanto, o assunto começa a ficar mais sério quando pensamos que os alunos dependem das carteiras, mesas, cadeiras, quadro, entre outros, para aprender e praticar as lições aprendidas. Os mobiliários desconfortáveis e com dimensões inapropriadas podem atrapalhar o aprendizado.

Conceitualmente, o mobiliário essencial para qualquer aluno estar na escola é composto por um local para assento e de um local para escrita, considerando o tamanho, a postura adequada, de forma a permitir a atenção e concentração (EYER, 2003).

Uma pesquisa feita com professores em 2001 pelo instituto norte-americano Carpet e Rug (apud KENNEDY, 2004) apontou que 85% deles acreditavam que assentos confortáveis e espaços de trabalho apropriados aos estudantes possuíam um forte impacto positivo no aprendizado, assim como 67% dos professores disseram que a flexibilidade para rearranjar uma sala de aula também o tinham.

Mesmo com essa preocupação e essas perguntas em mente, antigamente as escolas compravam móveis e equipamentos baseados no menor preço oferecido e naqueles que garantissem ocupação máxima do espaço. Atualmente, em um projeto de renovação ou de uma nova construção o problema persiste, pois nunca é destinada uma verba razoável para móveis e equipamentos de qualidade. Simplesmente são comprados quantos móveis forem possíveis, e caso não seja o suficiente, os móveis antigos são reusados, vindos ou não de outra escola (CHAMBERS, 2004).

Kennedy (2004) também comenta esse problema, apontando que algumas escolas optaram e continuam optando até hoje pela padronização de carteiras e pelas mesas e cadeiras mais baratas, pensando somente na economia de dinheiro.

Como exemplo desse descaso, temos a escola pública brasileira, que muitas vezes não possui nem as condições mínimas necessárias para um aluno poder sentar, escutar e escrever. O que se verifica é a adaptação dos estudantes às carteiras escolares disponíveis, pois apenas um único tipo de mobiliário é adquirido para atender às diversas faixas etárias. Isso porque uma mesma sala atende alunos de 7 a 18 anos ao longo do dia, podendo atender até a adultos e idosos no período noturno.

De acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, nº 9.394, as escolas regulares brasileiras também devem atender os estudantes com necessidades especiais. Porém, nenhum mobiliário específico é encontrado para esse público porque, infelizmente, os órgãos responsáveis pela aquisição dos bens e gestão das escolas ainda não fazem distinção entre as necessidades de estudantes com e sem dificuldades diversas, padronizando assim os mobiliários a serem adquiridos.

De acordo com EYER (2003), a escolha do mobiliário para as salas de aula, sejam regulares, ou especiais, passa pelo aproveitamento do material oferecido pela Prefeitura de cidades brasileiras e pela especificação das necessidades de acordo com as características da turma que ocupa aquele espaço, com o uso desse material e sua disponibilidade.

Como os casos especiais não são atendidos, os próprios professores e pais acabam fazendo a adaptação do mobiliário escolar para que o mesmo ofereça condições mínimas de uso. Alguns exemplos de adaptações feitas nas escolas públicas brasileiras:



A ergonomia de uma cadeira convencional pode ser tão inapropriada para um estudante, que no caso ao lado houve uma adaptação do encosto, com recursos e materiais disponíveis, para que a criança conseguisse ao menos ficar sentada. O conforto sentido por essa criança, no entanto, ainda é questionável.

Figura 43 - Adaptação do mobiliário em uma escola pública no Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Eyer (2003)



Figura 44 - 'Mesa' em uma escola no Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Eyer (2003)

Nesse caso, não havia nem uma mesa para ser adaptada à cadeira de rodas, sendo necessária a confecção de uma mesa estilo prancheta com materiais disponíveis na própria escola.



Figura 45 - Escola pública no Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: Eyer (2003)

A aluna da foto ao lado tem dificuldade motora que a impede de levantar o braço e usar o mobiliário disponibilizado para os outros alunos. A solução encontrada para que ela permanecesse ao lado dos outros alunos foi a confecção de assento de contorno, encosto, prancheta de colo e um apoio para os pés (EYER, 2003).

O problema do Brasil é ainda mais sério porque mesmo que o Governo brasileiro possuísse recursos para fornecer as melhores condições ergonômicas possíveis, de nada adiantaria caso a relação do aluno com a sua escola não mudasse. O uso incorreto, a degradação e o vandalismo são, mais uma vez, uma questão de educação (ou da falta dela). Portanto, o estudante deve ser conscientizado da importância da preservação do móvel escolar: ele necessita entender que o móvel (e sua escola como um todo) é um bem durável e que ainda será utilizado ao longo de muitos anos por outros estudantes depois dele.

É preciso entender que o ensino nas escolas agora se apresenta de diferentes maneiras: alunos trabalhando independentemente, atividades em pequenos grupos, discussões em grandes grupos, instrução direta do professor e leitura.

Para acomodar todas essas diferentes atividades, a escola deve ter flexibilidade para reconfigurar o espaço de acordo com a necessidade. E para isso, deve projetar e/ou comprar os móveis

apropriados, pensando na qualidade, na adequação às atividades didáticas, nos tipos de usuários, no esforço físico, na durabilidade, na conservação, na manutenção, no reparo e no preço, sendo essencial que todos os fatores sejam analisados conjuntamente.

Os móveis devem ser:

- seguros (com arestas arredondadas, não escorregadios, sem superfícies pontiagudas, e que respeite o peso do usuário);
- saudáveis (macios, mas não porosos, laváveis, de fácil limpeza);
- estéticos (integrados ao ambiente interno, com cores apropriadas, materiais de acabamento harmônicos, com *design* prático e interessante);
- duráveis (alta qualidade de montagem e acabamento, fácil manutenção, com peças que permitam a troca quando necessária);
- ajustáveis (a diferentes demandas);
- econômicos (a avaliação do custo inicial *versus* o tempo de vida do bem, considerando os gastos com manutenção, reparos, troca de peças, etc, deve ser positiva);
- ergonômicos (conforto e funcionalidade para diferentes faixas etárias, diferentes tamanhos e pesos).

O professor também deve obter conforto nesse ambiente, evitando que o mesmo despenda muita energia ou carregue peso para desenvolver as atividades.

Um ambiente escolar de sucesso deve possuir móveis que permitam aos estudantes trabalhar confortavelmente, que possam se ajustados de acordo com a variedade de tamanhos e formas e que possam ser adequados a diferentes tipos de atividades. Esses móveis devem ser selecionados e incorporados como parte da arquitetura interna, aumentando a praticidade do espaço e não comprometendo o mesmo quando houver mudanças de *layout*. As salas de aula devem ser flexíveis e adaptáveis, incluindo também a possibilidade de uso de meios eletrônicos e de multimídia, como computadores, tela de projeção, internet e televisão, utensílios esses comuns nos últimos anos.

Kennedy (2005) coloca que a peça chave para o sucesso ergonômico de um espaço escolar é pensar nos móveis em que os alunos e professores passarão mais tempo, isto é, nas carteiras ou mesas com cadeiras. A consideração primária deveria ser providenciar uma cadeira confortável para o estudante, que permitisse o aprendizado tranquilo sem distrações e que não causasse o esforço indevido e a fadiga ao realizar ali suas tarefas.

Bennett (apud KENNEDY, 2004) vai além, dizendo que as mesas e cadeiras deveriam ter diferentes dimensões para acomodar os diferentes estudantes, porque crianças em uma mesma sala de aula podem ter diferentes idades e tamanhos. Além de ser ajustável, a carteira escolar deve ter um descanso de pé e uma almofada para crianças menores.

Segundo Eyer (2003), a postura, ou o posicionamento na cadeira é determinante para a concentração e o aprendizado, pois o aprendizado depende do alinhamento do corpo e de sua estabilidade: todo o aluno que fica, por exemplo, com os pés sem apoio se distrai, perdendo grande quantidade de energia, necessária à concentração.

Engelbrecht (2003) recomenda mais alguns tópicos para uma escola eficiente ergonomicamente:

- Em áreas comuns deve-se escolher uma variedade de assentos diferentes para deixar o espaço menos institucional.
- Cadeiras com assento e braço acolchoados reduzem a fadiga e a distração⁵³.
- Cadeiras com braço podem ser indesejáveis quando o aluno precisa ter mobilidade na sala ou precisa sentar-se próximo a algum outro móvel.
- Os arquivos e caixa-arquivos devem ser pretos ou brancos devido à facilidade para adicionar novas unidades posteriormente.

Segundo Eyer (2003), o desenho do mobiliário caminha em sintonia com os valores da sociedade, que incluem também as crenças e princípios pedagógicos.

Mas o que determina o desenho do mobiliário escolar é a própria escola, finalidade e funcionamento. Para projetar os mobiliários, devemos conhecer a realidade das escolas e das práticas de trabalho de professores e alunos. Possivelmente, cada região, de acordo com as características étnicas, culturais, sociais e antropométricas, solicite um desenho diferente.

Enfim, além da visível e urgente demanda financeira para a educação (construção, manutenção e salários), faz-se também necessária a preocupação dos dirigentes ao adquirir mobiliário de boa qualidade e que seja adequado ergonomicamente a cada faixa etária e a cada atividade (escrita,

⁵³ No entanto, acredito que esta estratégia não deva ser usada no caso de climas quentes ou em locais onde a qualidade do ar externo não é boa, pois a cadeira acolchoada pode trazer desconforto térmico e pode tornar-se uma fonte poluidora do espaço, principalmente se não houver uma manutenção adequada. Ainda, se a manutenção não for adequada, a aparência de uma cadeira velha, desgastada e suja, além de não ser convidativa ao aluno sentar, pode atrapalhar o desempenho escolar do mesmo, conforme colocado por Lang (1996) no capítulo sobre conforto visual.

leitura, desenho, pintura, em grupo), pois estudos nessa área e publicações técnicas⁵⁴ já existem, aguardando para serem colocados em prática.

2.5.2. Exemplos



Esses tipos de cadeiras e mesas individuais permitem o arranjo também para atividades em grupo. Outra característica importante é a presença de arestas arredondadas tanto nas mesas quanto nas cadeiras, que confere segurança e evita acidentes.

Figura 46 - Carteiras agrupadas. Fonte: <www.tomsextonfurniture.com/catalog1.htm>. Acesso em: 24 abr. 2006



Essa sala de aula apresenta algumas características peculiares, porém interessantes do ponto de vista ergonômico: o *layout* pode ser diferente a cada dia porque o formato circular evita um local fixo para o professor e o desenho das mesas permite o seu arranjo de várias maneiras. Destaque também para o teto, com uma abertura para luz natural e ventilação.

Figura 47 - Shiprock Alterna. School, New Mexico, EUA. Fonte: <http://www.reznetnews.org/student/051202_hogan/>. Acesso em: 25 abr. 2006

⁵⁴ No caso do Brasil, temos a NBR 14006: 1997 – Móveis Escolares – Assentos e Mesas para instituições educacionais – Classes e dimensões. NBR 14007: 1997 – Móveis Escolares – Assentos e Mesas para instituições educacionais – Requisitos que tratam de recomendações ergonômicas (postura) e antropométricas (dimensões).

3. O processo metodológico para elaboração de projetos com qualidade ambiental

Pretende-se, nesse capítulo, propor etapas que configurem um processo metodológico para elaboração de projetos com qualidade ambiental. Essas etapas procuraram responder algumas perguntas que nós, arquitetos, fazemos quando iniciamos um projeto:

O que tenho que projetar? O que está sendo pedido nesse projeto? Que objetivos a arquitetura quer atingir? Tem-se idéia de custos? Onde será construído? Como é o terreno? E suas dimensões, topografia, entorno? Como é o clima do local? Que referências de projeto posso utilizar?

Antes de conceber e desenhar as primeiras idéias de um projeto arquitetônico deve-se ter como uma das tarefas iniciais o estudo do clima e do local a ser inserido o projeto. Essa etapa é tão importante quanto a análise do programa arquitetônico fornecido pelo cliente.

É inquestionável que a análise do programa arquitetônico seja uma das primeiras etapas de um processo de projeto. Até porque, o que está sendo solicitado pelo cliente, isto é, o objeto da construção, é o personagem principal de todo o processo. Essencialmente, o arquiteto deve responder, com maestria, todas às expectativas do cliente, atendendo o programa arquitetônico solicitado e o custo por ele estimado, materializando tudo isso numa arquitetura de qualidade.

No entanto, essa arquitetura não será de qualidade caso o edifício projetado seja desconfortável aos usuários e o consumo de energia elétrica para operação do mesmo seja excessivo.

Para que o edifício atenda as necessidades de conforto dos usuários, sendo energeticamente eficiente, é preciso fazer uso racional da energia elétrica, tendo em mente, sempre, a exiçuidade da obra e a relação ótima entre custo e benefício de sistemas de climatização e iluminação, sejam esses sistemas naturais ou artificiais⁵⁵. Porém, as estratégias de condicionamento ambiental a serem adotadas para um edifício, sejam elas com sistemas naturais, artificiais, ou integrados, só podem ser propostas após um cuidadoso estudo do clima e do local a ser inserido.

Para isso, é importante o arquiteto e os demais envolvidos no projeto terem em mente que a arquitetura deve usar o clima como seu aliado de projeto. Deve atender as exigências humanas de conforto aproveitando todas as possibilidades climáticas amenas que o meio pode oferecer.

Assim, foi proposta uma seqüência de etapas para a elaboração de um projeto com qualidade ambiental. Essa proposta está dividida em etapas e sub-etapas. No entanto, não se pretende aqui, propor uma metodologia de caráter conclusivo, até porque a bibliografia referente a esse tema é

⁵⁵ Os sistemas naturais são denominados sistemas passivos de condicionamento ambiental, onde faz-se uso de estratégias de aquecimento ou resfriamento naturais e de iluminação natural dos ambientes. Os sistemas artificiais são denominados sistemas ativos de condicionamento ambiental, onde faz-se uso de estratégias artificiais de climatização e iluminação dos ambientes.

ampla e em constante evolução. Parte disso deve-se ao aprimoramento freqüente das ferramentas de projeto, à inventividade dos programas computacionais, à globalização das informações e descobertas, entre outros. Todas essas novidades permitem que os projetos sejam desenvolvidos de maneira mais dinâmica e com respostas visuais e de desempenho quase que imediatas.

Procura-se sim, propor um roteiro que auxilie no processo de projeto, com base na tecnologia hoje disponível. E principalmente, mostrar que é possível, dentro da rotina habitual dos escritórios de arquitetura, incorporar essa metodologia para se alcançar a relação ótima entre forma, estética, racionalidade construtiva, custo, conforto ambiental e eficiência energética.

É válido ressaltar que não se pretende aqui transformar o 'clima' em único personagem das decisões de projeto. As decisões arquitetônicas devem responder a todos os demais: terreno, entorno, topografia, leis urbanísticas de ocupação do solo, programa arquitetônico, cultura local, tecnologia construtiva, materiais, entre outros. Compete ao arquiteto orquestrar essas decisões, apresentando uma arquitetura com qualidades formais, porém exequível, construída racionalmente e com a tecnologia disponível.

As etapas abaixo estão em forma de itens dentro do capítulo presente:

Análise do programa arquitetônico

Análise do terreno e entorno

Visita ao terreno

Documentação fotográfica e vídeo

O clima na região

Insolação, radiação e luz natural na região

O ruído no terreno

Verificação e/ou retificação do Norte

Entrevista com moradores e usuários da vizinhança

Pesquisa sobre as leis de ocupação do terreno

Aplicação da bioclimatologia à arquitetura

Do diagnóstico climático à aquisição de diretrizes de projeto

Escolha dos componentes construtivos

Busca pela forma ótima, racionalidade construtiva e exiçuidade da obra

Avaliação do desempenho do edifício

Critérios para avaliação: parâmetros de conforto

Cálculos preliminares e programas computacionais de simulação de desempenho

Reavaliação do projeto e detalhamento

3.1. Análise do programa arquitetônico

É preciso que se faça uma análise cuidadosa do programa arquitetônico, verificando as funções a serem cumpridas dentro do espaço interno, as áreas por elas ocupadas, as relações e a hierarquia entre as atividades, etc.

Rivero (1985) sabiamente coloca que é preciso associar as exigências térmicas com as atividades, determinando as prioridades e os horários de ocupação dos locais. Quanto ao espaço externo, ele sugere que se definam todas as funções nesse espaço, como circulações de pedestres e de veículos, estacionamento, locais de estar de verão e inverno jogos, etc., determinando seus horários de uso, exigências e prioridades no tratamento arquitetônico.

Com isso, é possível definir a localização das funções de acordo com as prioridades quanto à acessibilidade, orientação solar, conforto térmico, luminoso e acústico. Ainda, é possível decidir o tratamento que terão os espaços externos em relação aos microclimas desejados.

Para isso, é fundamental que haja discussões com o cliente para uma melhor interpretação do programa, onde ele apontará, inclusive, o que espera do edifício, o custo estimado para a obra, e o tempo previsto para projeto e execução.

Uma pesquisa sobre edifícios de mesma tipologia arquitetônica e de programa de necessidades semelhante ajuda a criar um cenário favorável para o desenvolvimento do projeto, pois se amplia o repertório e adquirem-se mais argumentos para negociar, incrementar e/ou alterar o programa arquitetônico.

3.2. Análise do terreno e entorno

3.2.1. Visita ao terreno

A visita ao terreno é extremamente necessária para que se faça o reconhecimento do local, do entorno construído, das vias e modos de acesso ao terreno, do fluxo de veículos e pessoas, da topografia, da vegetação, do norte magnético, entre outros.

Edifícios, árvores e outros acidentes do entorno podem afetar a radiação solar direta e refletida. Podem também modificar o percurso natural dos ventos que chegam ao terreno, e interferir na propagação do ruído. Portanto, o registro visual do que acontece no entorno do terreno é um dado fundamental de projeto.

Muitas vezes, devido à distância do terreno (este pode estar localizado em outra cidade, Estado ou até mesmo em outro país), o arquiteto não possui condições de fazer essa visita ao local. Nesse caso, torna necessária a aquisição dessas informações por outros meios, através do cliente, de órgãos locais ou em pesquisa na *internet*.

3.2.2. Documentação fotográfica e vídeo

Para auxiliar em todo o processo de projeto, é importante que se tenham imagens do local. Essas podem tirar muitas dúvidas durante o projeto, como a localização correta de uma árvore ou poste, o sentido de uma via, a tipologia do entorno construído, o insolação no terreno, as sombras formadas, entre outros.

Importante também é ter acesso a imagens aéreas do local. Essas podem tirar dúvidas em relação a distâncias, podem fornecer uma melhor identificação e melhor compreensão da malha urbana, da hierarquia das vias, do adensamento (massa edificada) da região, da implantação das edificações no lote, da cobertura vegetal e arborização da região. Essas imagens podem ser conseguidas através do *Google Earth*⁵⁶ ou de órgãos governamentais, não governamentais ou municipais que trabalham com geoprocessamento de imagens.

3.2.3. O clima na região

Normalmente, quando se começa um projeto, o cliente fornece ao contratado apenas o programa arquitetônico, o terreno, os prazos e a estimativa de custo da obra. Fica a cargo do arquiteto, ou de outro envolvido na equipe, conseguir dados adicionais (como dados climáticos da região, por exemplo) que auxiliem no desenvolvimento do projeto.

A etapa de diagnóstico climático da região é uma das mais importantes dentro dessa metodologia, porque a partir dele podem ser obtidas diretrizes de projeto para uma arquitetura que busca tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, quanto propiciar ambientes tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos.

Como já colocado anteriormente no início deste capítulo, as estratégias de condicionamento ambiental a serem adotadas para um edifício, sejam elas com sistemas naturais, artificiais, ou integrados, só podem ser propostas após um cuidadoso estudo do clima e do local a ser inserido o edifício.

⁵⁶ *Google Earth* - é um programa da empresa *Google* disponibilizado gratuitamente pela *internet* e que fornece informações geográficas do planeta Terra, como imagens satélites, imagens em três dimensões, localização de pontos estratégicos como marcos turísticos, ruas, entre outros. Esse levantamento de informações é feito periodicamente, fornecendo assim dados sempre atualizados. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>

Os dados de clima são também fundamentais na etapa de simulação do desempenho térmico do edifício por meio de programas computacionais. Além das características internas do edifício, como ocupação, atividade realizada, potência instalada de equipamentos, propriedade dos materiais, operação/ abertura de esquadrias, etc., as condições externas (clima local) influenciam muito no desempenho térmico do ambiente.

Para uma simulação em um programa computacional detalhado, é necessário um arquivo climático também detalhado, composto de registros horários de um ano completo, formado por 8.760 horas, com dados horários de temperatura, umidade, radiação e vento.

Portanto, para o desenvolvimento desta etapa, procurar-se-á responder algumas perguntas correntes de um arquiteto em exercício, pressupondo que esse já está consciente da importância de uma arquitetura adaptada ao clima: qual a diferença entre clima e tempo? Que dados são necessários para se caracterizar o clima da região? Onde conseguir esses dados? Com os dados climáticos da região em mãos, o que fazer com eles?

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2004), tempo é a variação diária das condições atmosféricas, enquanto que clima é a condição média do tempo em uma dada região, baseada em medições.

3.2.3.1. A caracterização do clima

Segundo Frota e Schiffer (2001), dentre as variáveis climáticas que caracterizam o clima de uma região, podem-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos:

- a oscilação diária e anual da temperatura;
- a oscilação diária e anual da umidade relativa;
- a quantidade de radiação solar incidente;
- o grau de nebulosidade do céu;
- a predominância de época e sentido dos ventos;
- os índices pluviométricos.

No entanto, os valores dessas variáveis se alteram para os distintos locais da Terra em função da influência de alguns fatores como: circulação atmosférica, distribuição de terras e mares, relevo e revestimento do solo, latitude e altitude.

3.2.3.2. Bancos de dados climáticos

Existem alguns programas computacionais que já fornecem os dados climáticos para a análise do clima e avaliação do desempenho térmico do edifício. Esses programas são abastecidos de dados climáticos medidos e/ou calculados para uma dada cidade, mas é preciso saber quais são os dados utilizados, e qual é a fonte desses dados. Se o arquiteto quer confiar na arquitetura por ele proposta, deve confiar, antes de mais nada, na base de dados climáticos que está sendo utilizada durante todo o processo de projeto.

Abaixo serão brevemente apresentados alguns bancos climáticos existentes, quais são os parâmetros que os compõem, como são montados e onde esses bancos estão disponíveis. O resumo que se segue está baseado em De Benedetto (2006).

TRY

Os arquivos climáticos com extensão TRY, *Test Reference Year*, traduzido como Ano Climático de Referência, são formados através de uma metodologia baseada na eliminação de anos cujos dados contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas) até que se obtenha apenas um ano de dados médios. Portanto, é um ano sem extremos de temperatura. Não dispõem de registros de radiação solar.

No período entre 1991 a 1998, foi desenvolvido o Projeto de Tratamento de Dados Climáticos no Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina⁵⁷, com a finalidade de suprir a carência de dados climáticos brasileiros adequadamente tratados para estudos de desempenho térmico e consumo de energia. Nessa pesquisa foram tratados dados climáticos de 14 capitais brasileiras⁵⁸. Tais arquivos climáticos foram compilados a partir da obtenção de dados meteorológicos através da ABRAVA/IBF, junto ao CTA/IAE. Em 2005, a partir de arquivos climáticos já existentes obtidos da Infraero na década de 1990, foi realizada uma revisão e correção de dados, preparando-os para novas compilações. Ainda devido à falta de dados horários medidos de radiação solar, estes foram novamente estimados.

Resumo:

- Parâmetros registrados de 1961 a 1970, exceto dados de radiação, que foram estimados.
- Ano Climático de Referência: 1963

⁵⁷ Mais informações na página: <<http://www.npc.ufsc.br/>>

⁵⁸ Para as demais cidades, aconselha-se obter os dados horários junto a estações climatológicas locais (aeroportos, escritórios das secretarias de agricultura, etc.) ou no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que apresenta, pelo menos, as Normais Climatológicas editadas a partir da base de dados do *Meteonorm* v.5.0 (apresentado a seguir).

- Base horária
- Parâmetros: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de ponto orvalho, pressão atmosférica, umidade, umidade relativa (%), densidade do ar, entalpia, velocidade vento, direção vento, cobertura de nuvens, radiação horizontal extratificada, radiação global horizontal, radiação direta, radiação direta normal, radiação difusa horizontal.
- Bancos de dados climáticos disponíveis na página do LabEEE:
<<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html>>

Esse arquivo é utilizado, por exemplo, pelo programa Analysis⁵⁹, para avaliação das condições de conforto térmico utilizando uma carta psicrométrica, para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação e para a confecção da rosa dos ventos da cidade escolhida.

TMY

Os arquivos climáticos com extensão TMY, *Test Meteorological Year*, fazem uma compilação de meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos, gerando um arquivo climático que nunca existiu, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês. O TMY2 e TMY apresentam dados de radiação solar global horizontal e direta normal, que não existem no formato TRY.

Resumo:

- Fonte de dados: Jan-1978; Fev-1996; Mar-1975; Abr-1991; Mai-1997; Jun-1987; Jul-1989; Ago-1974; Set-1986; Out-1977; Nov-1980; Dez-1981 (caso de São Paulo).
- Base horária
- Parâmetros: radiação horizontal extratificada, radiação normal direta extratificada, radiação global horizontal, radiação direta normal, radiação difusa horizontal, iluminância global horizontal, iluminância normal direta, iluminância horizontal difusa, iluminância zenital, cobertura de céu total, cobertura opaca de céu, temperatura de bulbo seco, temperatura de ponto orvalho, pressão atmosférica, umidade relativa (%), velocidade do vento, direção do vento, visibilidade.

⁵⁹ *Analysis* – é uma série de programas composta pelos módulos de Biodimatologia (*Analysis* - Bio) e Conforto e Stress Térmico (*Analysis* - CST) e Geometria Solar (*Analysis* – SOL-AR). Os programas foram desenvolvidos por pesquisadores do LabEEE/ UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

- Bancos de dados climáticos disponíveis na página do LabEEE: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html> e do SWERA: <http://swera.unep.net/swera/>

EPW (TMY)

Os arquivos climáticos com extensão EPW são os arquivos de clima do *Energy Plus*⁶⁰, baseados no formato TMY2. A página eletrônica do DOE2 disponibiliza arquivos no formato EPW de mais de 1100 localidades do mundo, sendo 295 nos Estados Unidos, 55 no Canadá e 24 no Brasil. A base de dados para os arquivos brasileiros foram SWERA3 e WYEK.

Resumo:

- Fonte de dados: idem TMY
- Base horária.
- Parâmetros: radiação global horizontal média, radiação difusa horizontal média, temperatura do ar, umidade relativa (%), velocidade do vento, direção do vento.
- Bancos de dados climáticos disponíveis na página do DOE: http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil e do SWERA: <http://swera.unep.net/swera/>

Os arquivos climáticos com extensão IWEC, *International Weather for Energy Calculations*, foram gerados com base no formato TMY2, para depois serem convertidos em outro formato, como o EPW.

Os arquivos climáticos com extensão WYEC, *Weather Years for Energy Calculations*, surgiram em 1980, como continuidade do TRY, porém com dados de radiação solar medidos ou calculados para 51 localidades norte-americanas.

Os arquivos climáticos com extensão CSV são compostos de dados obtidos de arquivos TRY, porém com dados horários de radiação solar, calculados a partir da nebulosidade horária. Podem ser

⁶⁰ Programa computacional do DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos, para simulação térmica e energética em edificações para modelar aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação e outros fluxos de calor. Mais informações na página: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

utilizados para visualização ou manipulação dos dados, pois são compatíveis com planilhas eletrônicas. Nestes, são encontrados todos os dados utilizados nos arquivos BIN e EPW.

Os arquivos climáticos com extensão BIN foram originados dos arquivos TRY, e tiveram a radiação solar calculada a partir da nebulosidade horária.

Os arquivos climáticos do Meteonorm são provenientes do programa computacional *Meteonorm* (REMUND, 1998) que utiliza um modelo para a geração de seqüências horárias de temperatura, baseado na hipótese de que a amplitude da temperatura durante o dia é aproximadamente proporcional à amplitude diária de radiação solar global. Do pôr-do-sol ao amanhecer, o perfil de temperatura é obtido por interpolação. O modelo do programa *Meteonorm* não faz uso de dados climáticos importantes como médias das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas para uma dada localidade (PANCHER, 2005 apud DE BENEDETTO, 2006).

O INMET⁶¹ - Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura, por exemplo, utiliza a base de dados do *Meteonorm v.5.0/ Normais Climatológicas*, apresentando os seguintes parâmetros: radiação global, radiação difusa, temperatura do ar, umidade relativa (%), velocidade do vento, direção do vento.

Conhecidas algumas bases de dados climáticos, os parâmetros que as compõem e como as mesmas são montadas, agora é preciso saber como obter dados de projetos a partir dos dados climáticos. Essa parte da metodologia será mostrada adiante, no item "3.3.1. Do diagnóstico climático à aquisição de diretrizes de projeto".

3.2.3.3. Programas computacionais

Todos os programas computacionais de simulação de desempenho ou de diagnóstico climático (com recomendações de projeto) possuem uma base de dados climáticos que funcionam dentro deles. Em alguns, é possível ter acesso a esses dados.

Analysis⁶²: é uma série de programas composta pelos módulos de Bioclimatologia (*Analysis - Bio*) e Conforto e Stress Térmico (*Analysis - CST*) e Geometria Solar (*Analysis - SOL-AR*), que utiliza arquivos de extensão TRY. O módulo SOL-AR fornece a rosa dos ventos para freqüência de ocorrência e das velocidades médias do ar.

⁶¹ Mais informações na página: <<http://www.inmet.gov.br/>>

⁶² *Analysis* - foi desenvolvido por pesquisadores do LabEEE/ UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

Energy Plus⁶³: programa de simulação térmica e energética em edificações para modelar aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação e outros fluxos de calor, que utiliza arquivos de extensão EPW.

Climaticus⁶⁴: programa que apresenta estratégias de projeto resultantes do diagnóstico climático, utilizando a base de dados de 1961 a 1990 do INMET (*Meteonorm* v.5.0.)

3.2.3.4. Os fenômenos físicos já ocorridos na região

É desejável que o projeto tenha a preocupação com os fenômenos físicos que ocorrem ou que já ocorreram na região, como chuvas abundantes, enchentes, vendavais, entre outros. Mesmo não sendo corriqueiros, podem trazer danos sérios ao edifício caso este não esteja preparado para tal.

3.2.4. Insolação, radiação e luz natural na região

Fazem parte das estratégias para um projeto bioclimático aproveitar, ou evitar, a radiação solar direta nas superfícies para se alcançar o conforto térmico no edifício, assim como buscar a luz natural difusa para se alcançar o conforto luminoso internamente. Portanto, devemos usar dados do local (como sombras produzidas pelo entorno, características das superfícies e da abóbada celeste, por exemplo) em favor de um projeto que utiliza estratégias passivas para conforto dos ambientes.

Com os estudos da geometria solar⁶⁵, tem-se a trajetória do sol para dada latitude. Através de uma carta solar de latitude correspondente ao terreno em questão, por exemplo, é possível visualizar o percurso do sol, identificando a altura e posição do mesmo em cada hora do dia, nas diferentes estações do ano.

Esses estudos podem ser complementados com o auxílio de transferidores solares, tabelas de valores de coordenadas horizontais do Sol, panorâmica solar, simuladores solares (prancheta com projetor), e quadrante solar/ relógio de sol (FROTA, 2004).

⁶³ *Energy Plus* – foi desenvolvido pelo *Department of Energy* dos Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>

⁶⁴ *Climaticus* - foi desenvolvido em 2003 e atualizado em 2005 por ALUCCI, M.P. a partir do projeto de iniciação científica de AUDI, G. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁶⁵ Para aprofundamento desse tema, aconselha-se o livro: FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289 p. il.

Da aplicação da geometria solar sobre os dados de localização e dimensões das edificações do entorno, de vegetação, de topografia, entre outros (adquiridos por fotos, vídeos e/ou visitas ao terreno), resulta-se a identificação das sombras projetadas em todos os horários do dia, durante todo o ano. Ou seja, identificam-se os pontos no terreno ou no edifício que estarão sombreados ou ensolarados.

Complementando esse estudo, é preciso verificar as características das superfícies circundantes (edificações e pavimentações), como tipos de materiais, cores, texturas e coeficientes de absorção, pois esses dados são importantes para a análise da capacidade de reflexão da luz e da radiação solar ao incidir sobre essas.

Quanto à disponibilidade de luz natural no terreno, é preciso que se verifiquem as características da abóbada celeste local, pois, do ponto de vista da iluminação natural, ela é a fonte de luz diurna. Segundo Mascaró (1991), a trajetória solar própria a cada latitude, as características locais de nebulosidade, poluição e fenômenos meteorológicos fazem com que a abóbada celeste pareça mais ou menos luminosa durante o dia e no decorrer do ano.

E para o ambiente interno ser efetivamente mais ou menos luminoso, é preciso: saber usar os dados de iluminação externa em planos horizontais e verticais para o tipo de céu estudado; saber usar as superfícies externas como fontes secundárias de iluminação (através das propriedades de reflexão); saber dimensionar as aberturas e tipos de proteção.

Resultam da análise conjunta da disponibilidade da radiação térmica e luminosa, decisões importantes de projeto, que vão desde a implantação do edifício no terreno até o detalhamento das fachadas, esquadrias e sistemas de proteção solar.

3.2.4.1. Programas computacionais

Pode-se estudar a geometria solar através de programas computacionais que permitem a visualização da trajetória solar para a latitude desejada. Alguns deles: *SunPath*, *Helios*, *Ecotect*, *Sketch Up*, *Analysis SOL-AR*.

Adicionando os dados do terreno e entorno, conseguem-se visualizar as sombras projetadas em intervalos regulares durante um período selecionado, que pode ser um dia ou até um ano inteiro: *Helios*, *Ecotect*, *Sketch Up*.

Outros programas computacionais auxiliam no projeto de dispositivos de sombreamento de superfícies: *brise.BR*, *Ecotect*, *Helios*, *Analysis SOL-AR*.

Os valores de iluminância externa em planos horizontais e verticais para a cidade escolhida, sob determinados tipos de céu, estão disponíveis em programas computacionais, como: *DLN*, *Climaticus*.

Já os valores de radiação solar incidente em planos horizontais e verticais para cada latitude estão disponíveis em programas computacionais, como: DLN, *Climaticus*, Luz do Sol.

SunPath⁶⁶: demonstra o caminho do sol de uma dada latitude, baseada na geometria solar.

Helios⁶⁷: demonstra o caminho do sol de uma dada latitude, diagramas solares em 2D e 3D, o sombreamento de superfícies e a penetração do sol em ambientes, a partir de elementos sombreadores externos desenhados pelo usuário no próprio programa.

Ecotect⁶⁸: é uma ferramenta de desenho em 3D, que permite visualizar sombras e manchas solares, diagramas solares em 2D e 3D, projetar dispositivos para sombreamento e calcular a radiação solar que atinge superfícies sombreadas ou não. Permite a importação de desenhos já modelados em outros programas (como arquivos .dwg).

Sketch Up⁶⁹: é uma ferramenta de desenho em 3D, com *interface* muito amigável, que facilita a visualização do edifício logo em fases iniciais do projeto. Como é possível localizar o projeto na latitude desejada, podemos analisar a insolação no edifício em qualquer hora do ano, assim como avaliar a eficácia de um dispositivo de sombreamento.

Analysis SOL-AR⁷⁰: permite obter a carta solar da latitude especificada, assim como auxilia no projeto de proteções solares através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos. Além disso, permite a visualização de intervalos de temperatura anuais correspondentes às trajetórias solares ao longo do ano e do dia.

Brise.BR⁷¹: baseado na geometria solar, mostra a eficiência de um dispositivo de sombreamento para uma dada latitude, alertando para as horas em que a superfície estará sombreada ou não. Oferece opções de dimensionamento, usando-se o mesmo critério de sombreamento escolhido anteriormente (isto é, para os mesmos ângulos alfas e betas).

⁶⁶ *SunPath* v. 1.0 - foi desenvolvido em 2000 por RORIZ, M. (UFSCar). Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/sunpath.html>>

⁶⁷ *Helios - Solar Shading and Penetration* v. 2.04 - foi desenvolvido em 1994 por MARSH, A.J., mesmo autor do Ecotect. Disponível em <andrew@arch.uwa.edu.au> ou na página <<http://ecotect.com/home>>

⁶⁸ *Ecotect* - da empresa, Square One, foi desenvolvido por MARSH, A.J. em 1997. Disponível em: <<http://ecotect.com/home>>

⁶⁹ *Sketch UP* v.4.0.123 - da empresa @ LAST SOFTWARE, foi desenvolvido em 1999. Disponível em: <<http://www.sketchup.com/>>. Download gratuito.

⁷⁰ *Analysis SOL-AR* - foi desenvolvido por LAMBERTS, R.; MACIEL, A. A. e programado por ONO, E. T. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

⁷¹ *Brise.BR* v. 1.3 - foi desenvolvido em 2006 por ALUCCI, M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

DLN⁷²: demonstra a iluminância diária em planos verticais e horizontais para céu claro, encoberto e parcialmente nublado em algumas cidades brasileiras. Apresenta também o conceito de dia luminoso típico.

Climaticus⁷³: fornece dados de radiação para as superfícies verticais e horizontais durante o ano, a distribuição da radiação ao longo do ano para a orientação escolhida, e a frequência de ocorrência da iluminância em plano horizontal para a cidade escolhida. Além disso, como estratégia de projeto, apresenta um módulo de Geometria ótima da edificação decorrente da análise de dados de radiação por orientação (base de dados do INMET de 1961 a 1990).

Luz do Sol⁷⁴: apresenta uma tabela de radiação solar para planos verticais e horizontais, dada uma latitude, dia e nebulosidade escolhidos. Também desenha a carta solar, transferidor auxiliar e relógio solar para a latitude escolhida.

3.2.5. O ruído no terreno

Para complementar a análise do terreno a ser implantado o projeto, é importante que se conheçam os níveis de ruído (em decibéis); os tipos de ruído (veículos, aviões, estabelecimentos comerciais, feiras, anúncios); e a frequência dos ruídos presentes na região (de quanto em quanto tempo esses ruídos ocorrem, e qual a duração dos mesmos).

A partir desses dados, algumas decisões de projeto podem ser tomadas, como: implantação do(s) edifício(s) no terreno, tratamento da topografia, setorização das funções de acordo com as necessidades de conforto acústico para cada atividade, escolha dos revestimentos, projeto de barreiras acústicas, etc.

Esses dados podem ser conseguidos através de medições⁷⁵ no local com equipamentos específicos (como o decibelímetro), do registro do fluxo de veículos (com um contador manual) e da identificação dos tipos de ruído. Caso não se identifique todos os tipos de ruído em uma única visita, é importante saber dos moradores e usuários da região, quais são eles, em que horário ocorrem, e qual a permanência desse ruído.

⁷² DLN - Disponibilidade de Luz Natural v. 2.0.6 – foi desenvolvido em 1997 por SCARAZZATO, P.; SILVA, R. R. da. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁷³ Climaticus v. 4.2 - foi desenvolvido em 2003 e atualizado em 2005 por ALUCCI, M.P. a partir do projeto de iniciação científica de AUDI, G. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁷⁴ Luz do Sol v. 1.1 – Radiação Solar e iluminação natural – foi desenvolvido em 1995 por RORIZ, M. (UFSCar). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁷⁵ A norma brasileira NBR 10151 de 1987 está dando origem ao projeto de norma da ABNT (1998) 02:135.01-003: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – Procedimento, que apresenta procedimentos para medições acústicas.

3.2.5.1. Programas computacionais

No entanto, caso o arquiteto não tenha acesso a um decibelímetro para a medição dos ruídos, é possível estimar o nível sonoro no terreno através de programas computacionais, como:

Acústico⁷⁶: calcula o efeito das barreiras acústicas, o isolamento acústico das fachadas e o tempo de reverberação dos ambientes considerando o ruído de tráfego. Fornece o nível sonoro na calçada, na fachada do edifício projetado e dentro do ambiente, quando são inseridos no programa dados como: número de veículos por hora, velocidade média dos veículos, tipo de via (expressa, coletora ou local), porcentagem de veículos pesados, distância do centro da via até a calçada e até a fachada do edifício, altura da barreira acústica (edificação ou muro existentes entre a via e o terreno, por exemplo), a distância da barreira à fachada do edifício projetado, dados da fachada projetada (área e materiais), dados do ambiente interno (área dos materiais de acabamento).

3.2.6. Verificação e/ou retificação do Norte

É importante verificar qual é o norte (magnético ou verdadeiro) indicado nas plantas do terreno antes de iniciar o projeto. Se o norte disponível em planta foi registrado no local pelo projetista, esse norte é o magnético, isto é, o norte da bússola, apontado pela agulha magnética. Esse deve ser corrigido para norte verdadeiro ou geográfico. Os dados para correção da declinação magnética podem ser encontrados em programas computacionais. Para São Paulo, por exemplo, o norte registrado pela bússola tem um desvio de 20° para oeste. O norte verdadeiro, portanto, estará a 20° positivos do norte magnético.

3.2.6.1. Programas computacionais

Declinação Magnética Brasil⁷⁷: calcula a declinação magnética de um ponto a partir de dados de entrada da localização geográfica (latitude e longitude, continente) e data.

GeoMag⁷⁸: calcula os valores (e a variação anual) das componentes: Declinação (D), Inclinação (I) e Intensidade Total (F) e as componentes cartesianas Norte (X), Leste (Y) e Vertical (Z) do campo geomagnético no território brasileiro.

⁷⁶ Acústico v. 3.0 – foi desenvolvido em 2002 e atualizado em 2005 por ALUCCI, M. P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁷⁷ ELEMAG v. 2.0 – foi desenvolvido por SILVEIRA, V.G.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. (LabEEEE/ UFSC). Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/software/software.html>>

⁷⁸ *Geographic Magnetic Calculator* – foi produzido por PETRIE, G. Disponível em: <gp@europa.com>

3.2.7. Entrevista com moradores e usuários da vizinhança

É importante conversar com os usuários da região para diagnosticar problemas que muitas vezes não aparecem, ou não são vistos, durante a visita do arquiteto ao local. Caso o edifício já exista, podem-se diagnosticar também os problemas de acesso, uso, funcionamento e manutenção, ouvindo as sugestões dos usuários para esses e/ou demais problemas.

3.2.8. Pesquisa sobre as leis de ocupação do terreno

Antes de iniciar um projeto para uma determinada área é preciso conhecer o índice de aproveitamento, a taxa de ocupação, os recuos e os limites de altura para aquele terreno. Ainda, é preciso verificar a possibilidade de mudança do entorno edificado. Como a cidade encontra-se em constante transformação, o projeto proposto deve levar em consideração os futuros projetos que podem ser construídos em seu entorno. Caso contrário, problemas surgirão, como o acesso dificultado ao conjunto, falta ou excesso de insolação no terreno, redirecionamento de ventos, ruídos indesejáveis e não previstos, falta de visibilidade, entre outros.

3.3. Aplicação da bioclimatologia à arquitetura

Já se sabe que sistemas de condicionamento ambiental, tanto natural quanto artificial, são solicitados quando o corpo humano não consegue atingir sozinho o conforto térmico. Para selecionar qual a estratégia de projeto mais adequada, principalmente em relação ao custo-benefício da escolha, é preciso entender como a arquitetura se comporta em relação ao clima externo.

Quando aplicamos os estudos da bioclimatologia à arquitetura, espera-se que o clima atue como parte integrante do contexto de projeto, que a arquitetura atenda as exigências humanas de conforto, e que se economize energia para tal. Para isso há métodos que tanto parametrizam a fase de concepção do projeto arquitetônico, como outros que avaliam o desempenho do mesmo numa segunda fase.

Os métodos utilizados na fase inicial de projeto podem ser (GOULART et al., 1994):

- Indireto: que, pela análise e interpretação qualitativa do clima, estabelecem-se estratégias de intervenção arquitetônica em nível de projeto;
- Direto: que, pela análise e interpretação quantitativa do clima, dimensionam-se ou quantificam-se as estratégias de intervenção arquitetônica em nível de projeto.

Nesse trabalho será utilizado o método direto (quantitativo) para o projeto dos blocos de salas de aula, e o método indireto (qualitativo) para os demais edifícios. Os métodos diretos mais comuns são desenvolvidos a partir das cartas bioclimáticas, apresentadas adiante.

3.3.1. Do diagnóstico climático à aquisição de diretrizes de projeto

3.3.1.1. Cartas bioclimáticas

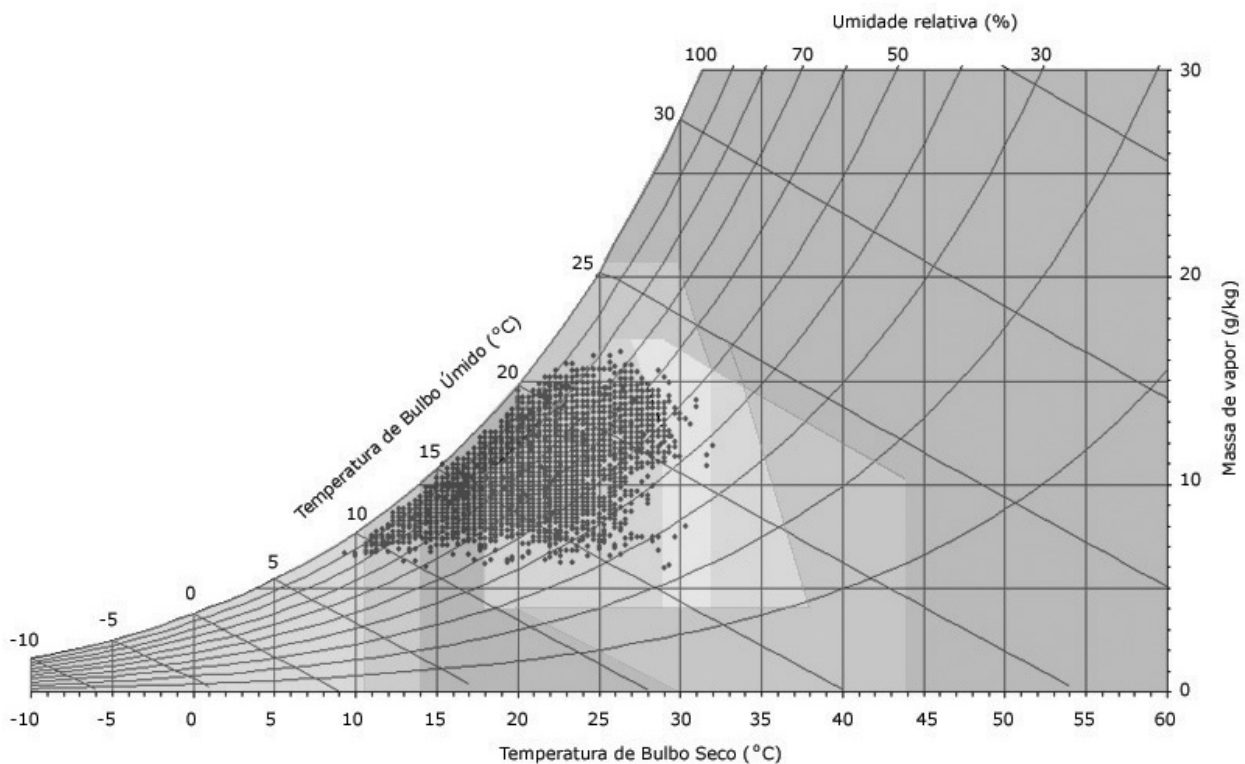


Figura 48- Carta psicrométrica com plotagem dos dados climáticos de São Paulo. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

A carta bioclimática é construída sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Com a plotagem dessas variáveis sobre a carta, é possível analisar se o clima em questão oferece ou não condições de conforto aos usuários. Cada par de dados plotados na carta (valores de temperatura máxima e mínima mensal e seus valores de umidade relativa correspondentes) cairá sobre uma zona desenhada na carta. Para cada uma das zonas desenhadas na carta, são indicadas estratégias passivas ou ativas de condicionamento.

A carta define uma zona de conforto térmico, que é estipulada a partir dos índices de conforto⁷⁹. Esses índices são definidos a partir de sensações subjetivas graduadas de conforto a desconforto quando uma pessoa é exposta a diferentes combinações dos parâmetros físicos.

Todas as cartas bioclimáticas são montadas sobre diagramas psicrométricos com exceção da carta de Olgyay (1963). Nesse momento, selecionou-se as cartas bioclimáticas de Givoni (1992) e de Szokolay (1987), pelos seguintes motivos:

- A carta de Szokolay (1987) propôs um método que considera a zona de conforto variável de acordo com a temperatura média externa, podendo assim ser utilizada em qualquer contexto (diferentes climas, atividades, vestimentas, etc.), pois as pessoas estão aclimatadas às condições locais.
- A carta de Givoni (1992) desenvolveu um trabalho para países quentes, se baseando no princípio da aclimação das pessoas. Adotaram-se valores maiores para velocidade e temperatura do ar (caso dos países quentes e úmidos), e permitiu que a temperatura máxima interna fosse aproximada à temperatura externa local (o que significa economia de energia mesmo se o edifício utilizar ar condicionado).

A carta de Givoni (1992) é a mais utilizada na metodologia para projetos bioclimáticos hoje difundida no Brasil. A carta é dividida em diferentes zonas bioclimáticas, cada qual com indicações de projeto.

- Em 1994, Goulart et al. propôs uma carta bioclimática adaptada ao Brasil, baseada na carta de Givoni de 1992. Essa carta adaptada ao Brasil é utilizada pelo programa *Analysis* para apresentar parâmetros de projeto baseados no diagnóstico climático da cidade escolhida.
- A norma NBR 15220-3: 2005 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005c), utiliza a carta de Givoni de 1992 para recomendar estratégias de condicionamento térmico passivo para cada uma das 8 zonas climáticas brasileiras pré-estabelecidas pela mesma norma.
- O programa computacional *Climaticus* também utiliza a carta de Givoni (1992) como método para diagnóstico climático e obtenção de estratégias de projeto.

Serão feitas considerações resumidas⁸⁰ sobre as estratégias básicas a serem adotadas por cada zona.

⁷⁹ O estudo dos índices e seus parâmetros de conforto térmico será melhor explicado no item "3.4.1. Critérios para avaliação: parâmetros de conforto" dessa pesquisa, quando forem apresentados os critérios adotados para avaliação do desempenho térmico da escola.

⁸⁰ Cabe lembrar que esse trabalho tem como objetivo principal exemplificar, através de um exercício de anteprojeto de uma escola, o processo metodológico para projetos com qualidade ambiental. Não objetiva fazer uma revisão bibliográfica sobre conforto ambiental, fenômenos físicos como trocas térmicas, propagação da luz, ou do ruído, até

Zonas Bioclimáticas

- Zona de Aquecimento Artificial: utilizar aparelhos de aquecimento; expor a edificação à radiação solar; controlar a ventilação e utilizar isolamento térmico nas envoltórias para que o calor interno gerado pelas pessoas, iluminação e equipamentos não seja perdido.
- Zona de Aquecimento Solar Passivo: expor a edificação à radiação solar (orientação do edifício, utilização de cores de alto índice de absorção da radiação, utilização de aberturas zenitais controláveis, utilização de parede trombe, jardim de inverno, entre outros); controlar a ventilação para que o calor interno gerado pelas pessoas, iluminação e equipamentos não seja perdido para o exterior.
- Zona de Massa Térmica com Aquecimento Solar Passivo: expor a edificação à radiação solar; utilizar soluções construtivas de envoltórias que apresentem alta capacidade térmica, de modo que o calor seja armazenado pela massa, e envoltórias que apresentem características isolantes, para evitar a perda do calor interno; controlar a ventilação para evitar a perda do calor interno.
- Zona de Umidificação: umidificar o ambiente com vegetação interna, áreas gramadas, locais com água ou umidificadores; providenciar baixas taxas de renovação do ar (porém garantindo o mínimo de ventilação higiênica) a fim de manter a quantidade de vapor de água interno a níveis confortáveis (sem que haja condensação, evaporação e resfriamento).
- Zona de Conforto: proteger os ambientes da radiação solar direta nos horários críticos, através de dispositivos arquitetônicos de sombreamento (como brises, marquises, pergolados, etc.), vegetação, entre outros.
- Zona de Ventilação: proteger os ambientes da radiação solar direta; orientar as aberturas de acordo com os dados de vento na região, e/ou projetar elementos que direcionem o vento para o interior; desenhar os sistemas de ventilação higiênica (inverno) e de conforto (verão), prevendo-se áreas de entrada e saída de ar, e operação das esquadrias; pensar o edifício transversalmente (fluidez dos espaços, profundidade, divisórias internas, etc.) para assegurar a ventilação cruzada; promover ventilação vertical.
- Zona de Ventilação e Massa Térmica para Resfriamento: para melhores resultados térmicos, adotar as estratégias dessas 2 zonas;

porque a bibliografia é ampla e já bastante aprofundada. Portanto, as estratégias de projeto indicadas pela carta também não serão explicadas uma a uma. Parte-se do pressuposto que o arquiteto sabe o que é uma troca térmica por condução, por exemplo, sabe como promover a ventilação na edificação ou como usar o aquecimento solar passivo, se for o caso.

- Zona de Ventilação e Massa Térmica para Resfriamento e Resfriamento Evaporativo: para melhores resultados térmicos, adotar as estratégias dessas 3 zonas;
- Zona de Massa Térmica para Resfriamento: proteger/sombrear os ambientes da radiação solar direta; usar soluções construtivas de envoltórias que apresentem alta capacidade térmica (ameniza-se a amplitude térmica externa, retardando a elevação da temperatura interna). Essa estratégia deve ser utilizada juntamente com a ventilação noturna, que retira o calor acumulado pela massa durante o dia, garantindo assim temperaturas mais amenas para a manhã seguinte.
- Zona de Massa Térmica para Resfriamento e Resfriamento Evaporativo: para melhores resultados térmicos, adotar as estratégias dessas 2 zonas;
- Zona de Resfriamento Evaporativo: proteger/sombrear os ambientes da radiação solar direta; reduzir a temperatura do ar através do processo de evaporação da água, como: fontes, áreas gramadas ou arborizadas, espelhos d'água no térreo ou sobre o telhado, teto-jardim, molhagem de coberturas e superfícies pavimentadas, etc. Esse processo faz aumentar a umidade relativa do ambiente, portanto, deve-se prever uma boa taxa de ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água.
- Zona de Ar condicionado: proteger/sombrear os ambientes da radiação solar direta; otimizar a geometria do edifício e orientá-lo corretamente no terreno a fim de minimizar a carga térmica acumulada devido à radiação solar incidente.

3.3.1.2. Programas computacionais

Existem programas computacionais que utilizam a carta bioclimática para fornecer o diagnóstico climático da cidade, e que fornecem, a partir daí, diretrizes para projeto. Assim, esses programas tornam a metodologia de projeto anteriormente apresentada em uma maneira rápida e objetiva de se obter dados consistentes que auxiliam na fase de concepção do projeto. São eles:

Climaticus⁸¹: utiliza a carta de Givoni (1992) para fornecer estratégias de projeto resultantes do diagnóstico climático da cidade escolhida. Utiliza o banco de dados climáticos do INMET (dados de 1961 a 1990) para 58 cidades brasileiras, porém permite que o usuário adicione dados e inclua uma nova cidade.

⁸¹ Climaticus v. 4.2 - foi desenvolvido em 2003 e atualizado em 2005 por ALUCCI, M.P. a partir do projeto de iniciação científica de AUDI, G. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

Analysis Bio⁸²: utiliza a carta de Givoni (1992) adaptada ao Brasil por Goulart et al. (1994) para fazer o diagnóstico climático anual ou por estações, e assim fornecer estratégias de projeto para a cidade cujo clima foi analisado. Utiliza o ano de referência de projeto para aquela cidade, a partir da base de dados climáticos TRY. Possui em seu banco, dados de várias cidades brasileiras, porém, também permite que o arquivo de clima TRY seja alterado pelo usuário.

Umídu⁸³: o objetivo principal é avaliar o comportamento dos materiais de construção de um edifício sob a influência do clima local, mas apresenta também uma sessão com dados climáticos de algumas cidades do Brasil plotados na carta psicrométrica de Givoni.

3.3.2. Escolha dos componentes construtivos

Essa é uma etapa de fundamental importância no processo de projeto, pois trata dos componentes usados para configurar recintos, pátios abertos e edificações: paredes, telhados, pisos, janelas, portas, elementos sombreadores, estrutura, etc.

No entanto, essa etapa costuma ser erroneamente deixada para um momento mais conclusivo do processo (como o projeto executivo), por se tratar de uma escala menor e requerer mais detalhes no desenvolvimento do trabalho. Como colocado por Brown e Dekay (2004), os componentes construtivos desempenham um papel importante no suporte da energia sistêmica e nos processos de iluminação de uma edificação, e não deve ser deixada para o final, quando talvez seja tarde demais para alterar o projeto.

Os autores exemplificam o problema:

(...) enquanto a implantação e a volumetria dos grupos de edificações podem ter sido projetadas para garantir a insolação, e a forma e o fechamento de um recinto na escala da edificação podem ter sido projetados para coletar a energia solar, se não tiverem sido lidadas de forma adequada as estratégias de cor e de dimensionamento da massa térmica na escala dos componentes, além da localização e da espessura dos isolantes térmicos, a edificação poderá superaquecer em um dia claro ou perder energia demais durante o dia para que haja reservas térmicas para o uso à noite (BROWN; DEKAY, 2004, p. 236).

Como a escolha dos componentes construtivos afeta diretamente a linguagem estética e formal da edificação, os custos da construção e também o desempenho da mesma, essa etapa deve ser trabalhada desde o início do processo do projeto de arquitetura.

⁸² *Analysis Bio* - foi desenvolvido por pesquisadores do LabEEE/ UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

⁸³ *Umídu* v. 2.0. - foi desenvolvido por MENDES, N. em 1999 (LabEEE/ UFSC). Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

Para as primeiras avaliações de desempenho do edifício já são necessárias definições em relação aos componentes, como espessura, cores, coeficiente de absorção, emissividade, resistência térmica, peso, densidade, e demais propriedades físicas.

É importante que se faça uma pesquisa de componentes que apresentem características e propriedades físicas apropriadas ao clima local e ao tipo de uso do edifício, para numa posterior seleção adotar aqueles que apresentem pouca e fácil manutenção, e uma boa relação de custo-durabilidade.

Para a escolha correta dos componentes, é preciso exigir dos fornecedores a divulgação das propriedades físicas e do desempenho térmico, luminoso ou acústico dos mesmos, em catálogos e/ou página da *internet*. Essas informações devem refletir os testes de laboratório realizados com os materiais, e esses testes devem ter credibilidade comprovada.

3.3.3. Busca pela forma ótima, racionalidade construtiva e exiçuidade da obra

Essa é a etapa síntese, que reúne todas as informações conseguidas até aqui para transformá-las efetivamente em insumos de projeto. Talvez seja essa a etapa mais importante de todo o processo projetual, porque depende muito da habilidade, criatividade e destreza do arquiteto para materializar uma série de dados em arquitetura. Mas em uma arquitetura que prima pela qualidade estética, formal e ambiental, que é racional e coerente com os métodos construtivos, com as tecnologias disponíveis e com os custos de construção e operação do edifício.

3.4. Avaliação do desempenho do edifício

O conhecimento das propriedades físicas dos materiais e dos fenômenos físicos de trocas de calor, de propagação da luz e dos ruídos permite prever qual será a resposta térmica, luminosa e acústica de um ambiente quando submetido a uma determinada situação de ocupação, clima, condições de céu e nível de ruído. Os resultados dessa estimativa de comportamento do ambiente caracterizam os desempenhos térmico, luminoso e acústico do mesmo. Com isso, é possível avaliar a eficiência da arquitetura proposta e assim propor alternativas para a melhoria do projeto, se for o caso.

Segundo o projeto de norma brasileira 02:136.01-001/1 (ABNT, 2006):

A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um produto ou de uma técnica construtiva destinada a cumprir uma função, independentemente da solução material adotada. Para atingir esta finalidade, a avaliação de desempenho deve submeter a edificação e/ou suas partes constituintes a uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do produto nas

condições de uso definidas. Em função disso, a avaliação de desempenho exige o domínio de uma ampla base de conhecimentos científicos sobre cada aspecto funcional de uma edificação, sobre materiais e técnicas de construção, bem como sobre as diferentes exigências dos usuários nas mais diversas condições de uso (ABNT, 2006, p. 8).

A avaliação de desempenho de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto quanto após a construção. Ainda na fase de projeto, a avaliação pode ser:

- Qualitativa: por meio de verificação do cumprimento de diretrizes construtivas que contribuem para o conforto ambiental dos espaços (como a identificação da presença de dispositivos de sombreamento de superfícies, a verificação da proporção entre área de aberturas e volume do ambiente e sua conseqüente ventilação, entre outros);
- Quantitativa: por meio de cálculos ou simulação computacional, que estimam o resultado térmico do ambiente, baseados em fenômenos físicos, quando o ambiente é submetido a diferentes situações de ocupação, clima, luz, ruídos, etc.

O desempenho térmico, luminoso ou acústico pode ser calculado manualmente ou em programas computacionais de simulação de desempenho. Após a construção, a avaliação do desempenho do edifício deve ser quantitativa, através de medições *in loco* das variáveis representativas do desempenho, ou através de simulações computacionais.

3.4.1. Critérios para avaliação: parâmetros de conforto

Mas, mesmo sabendo-se calcular o desempenho dos edifícios, como saber se os resultados obtidos representam conforto ou não em um ambiente? Então, quais os critérios a serem utilizados como parâmetros de conforto para a avaliação do desempenho do edifício?

Essas informações podem ser encontradas em normas técnicas e legislações nacionais e internacionais. No entanto, os parâmetros de conforto por elas apresentadas podem ser diferentes entre si. Então, quais parâmetros adotar? A seguir serão apresentados alguns parâmetros de conforto comumente adotados para avaliação de desempenho de edifícios, sendo destacados aqueles utilizados nesse trabalho.

3.4.1.1. Parâmetros de conforto térmico

Normas para ambientes condicionados artificialmente

A taxa de renovação de ar pode ser encontrada em normas técnicas específicas, como a ASHRAE 55/2000, por exemplo, porém essa norma de conforto considera o ambiente climatizado artificialmente.

No caso brasileiro atual, a norma que aponta a taxa de renovação do ar seria a NBR 6401: 1980 - Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto: Parâmetros Básicos de Projeto (ABNT, 1980), novamente para casos de ambientes com ar condicionado: salas de aula com o mínimo de 40 e o recomendável de 50 m³/hora por pessoa.

Entre as normas nacionais utilizadas atualmente, enquadram-se:

- a) a norma brasileira NBR 6401 (ABNT, 1980): Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto: Parâmetros Básicos de Projeto;
- b) a resolução nº 9 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2003): Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior. Dirige-se a ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.

Segundo as normas nacionais, as faixas recomendadas de temperatura, umidade e velocidade do ar para verão são (LABAUT, 2004)⁸⁴:

- $T_{bs} = 23$ a 26°C e $UR = 40$ a 65%
- $T_{bs_{MAX}} = 26,5$ a 27°C e $UR_{MAX} = 65\%$
- $T_{bs_{MAX}} = 28^{\circ}\text{C}$ e $UR = 70\%$ (para áreas de acesso)
- $v_{AR\ 1,5m} = 0,025 - 0,25$ m/s

Para as condições internas de inverno, a NBR 6401 (ABNT, 1980) recomenda:

- $T_{bs} = 20$ a 22°C e $UR = 35$ a 65%

Vale destacar que o limite de velocidade do ar recomendado pelas normas brasileiras inviabiliza a adoção desse valor para o caso de um ambiente com ventilação natural, já que as velocidades externas atingem valores bem mais elevados. No caso de São Paulo, como será visto adiante (no item "4.2.5 Análise dos ventos na região"), o vento predominante possui uma velocidade média de 4,07 m/s. É lógico que não se pode deixar o vento entrar no ambiente com essa velocidade, no entanto, acredito ser possível adotar uma velocidade maior do que a estipulada pela norma, contanto que o vento não levante papéis, atrapalhando as atividades na mesa de trabalho.

⁸⁴ Relatório entregue à Petrobras no projeto de ecoeficiência do Cenpes II, e intitulado: Arquitetura e Eco-eficiência: Clima, Insolação e Índices de Conforto.

As normas internacionais mais utilizadas são:

- a) a Norma ISO 7730 (1994): *Moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Apresenta uma metodologia de cálculo baseada em estudos realizados na América do Norte e Europa para determinação da porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD⁸⁵ entre 10 e 15%) em relação ao conforto térmico em dado ambiente, envolvendo variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, vestimenta e atividade. Essa norma apresenta valores limites para ambientes condicionados artificialmente.

A ISO 7730 (1994) recomenda as seguintes faixas de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, em ambientes com atividades leves:

Tabela 3 - Limites das zonas de conforto térmico da ISO 7730 (1994)

Parâmetro	Valores limites	
	Verão	Inverno
Temperatura Operativa To (°C)	23 a 26	20 a 24
Umidade Relativa UR (%)	30 a 70	30 a 70
Velocidade do ar (m/s)	até 1	até 1

- b) a norma ASHRAE 55 (1992): *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (em acordo com *ISO Standards 7726 e 7730*). Segue padrão semelhante à ISO, estabelecendo uma zona de conforto para verão e inverno, porém permitindo uma porcentagem de pessoas insatisfeitas até 20%.

O grande diferencial da norma ASHRAE 55-2004 é que agora inclui o modelo adaptativo de conforto, que consta na *ASHRAE FINAL REPORT RP-884* (DEAR; BRAGER; COOPER, 1997), e que possibilita uma maior flexibilidade dos índices de conforto em relação aos padrões usuais, especialmente para ambientes condicionados naturalmente, apresentados a seguir.

⁸⁵ PPD= *predicted percentage of dissatisfied*, porcentagem prevista de insatisfeitos originada a partir do PMV= *predicted mean vote*, voto médio previsto de um grupo de pessoas na escala de sensação térmica de sete pontos. Fonte: ISO 7730 (1994).

Normas para ambientes condicionados naturalmente

Entre as normas nacionais enquadram-se:

- a) o projeto⁸⁶ de norma brasileira 02:136.01-001/1: 2006: Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos. Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2006). Esse projeto de norma apresenta níveis de desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), adotando como parâmetros valores limites de temperatura do ar interno (sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar externo no verão; e sempre maiores ou iguais a 12°C no inverno) para conforto térmico mínimo em habitações.

Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
M	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zonas 1 a 8)
I	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 29°C (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 28°C (zona 8)
S	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 27°C (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 26°C (zona 8)

Nota: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3: 2005: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social

Vê-se que, a adoção dos limites de temperatura do ar no verão para um nível de desempenho térmico mínimo da edificação foi baseada num modelo adaptativo, onde as expectativas de conforto interno variam de acordo com a situação climática externa. Segundo a norma, o requisito básico para condições de conforto no verão é apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional que sejam melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão.

⁸⁶ A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentou alguns projetos de normas que servem de referência para a discussão pública e elaboração do texto final de normas brasileiras que tratam de desempenho de edifícios. Ver listagem completa dos projetos de norma na Bibliografia deste documento. Mais informações na página da Cobracon – Comitê Brasileiro de Construção Civil: <<http://www.cobracon.org.br/>>

Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5 ¹⁾	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 12^{\circ}\text{C}$.	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 15^{\circ}\text{C}$.	
S	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 17^{\circ}\text{C}$.	

Nota: 1) Nas zonas 1 e 2 o critério deve ser verificado considerando-se fonte interna de calor de 1000 W. Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3: 2005: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social

Enfim, esse projeto de norma estabelece os níveis mínimos (M) de desempenho, que são obrigatórios para o atendimento de cada requisito. Considerando a possibilidade de melhoria da qualidade da edificação, com uma análise de valor da relação custo/benefício dos sistemas, são indicados os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S).

É importante destacar que essa adoção de valores limites de temperatura do ar interno desconsiderou a presença de fontes internas de calor (ocupação, lâmpadas, equipamentos). Ou seja, não se fez distinção entre os diferentes usos dos espaços, isto é, quantas pessoas o ocupam e que tarefas são ali desempenhadas; se as lâmpadas permanecem ligadas e durante quanto tempo; se existem equipamentos que servem a esses usuários, etc.

Como o projeto de norma não faz distinção quanto à ocupação e uso do espaço, surge a indagação: a adoção desses valores como parâmetro de conforto poderia ser estendido para a avaliação de outras tipologias de edificações, como as escolares, por exemplo?

O projeto ainda não foi aprovado, pois a última reunião para discussões foi realizada em novembro de 2006. Acredita-se que chegar-se-á a uma conclusão em relação à aplicabilidade da norma a outras tipologias de edificação, ou que, pelo menos, encaminhamentos para pesquisas futuras sejam traçados.

- b) as normas regulamentadoras NR 15 e NR 17. Estabelecem que as condições ambientais de trabalho devam estar adequadas às características psico-fisiológicas dos trabalhadores e à natureza do trabalho a ser executado. Nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes (como salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, salas de aula, dentre outros), são recomendadas as seguintes condições de conforto (LABAUT 2004):

Tabela 6 - Limites das zonas de conforto térmico da NR 15

Parâmetro	Valores limites
Temperatura Efetiva (°C)	20 a 23
Umidade Relativa UR (%)	Não inferior a 40
Velocidade do ar (m/s)	Não superior a 0,75

Entre as normas internacionais tem-se:

- a) a norma ASHRAE 55-2004: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE, 2004) com a adição do *ASHRAE FINAL REPORT RP-884* (DEAR; BRAGGER; COOPER, 1997). Esse *report* apresenta o modelo adaptativo de conforto e foi baseado em experiências práticas onde os usuários controlavam a abertura de janelas para alcançar o conforto térmico. Para tanto, foi considerada a atividade física dos mesmos como próxima do sedentário e a possibilidade de adaptação de vestimenta para as condições de clima interno e externo.

As respostas térmicas dos usuários diferiram do modelo proposto para ambientes com ar condicionado devido: à disponibilidade de controle das aberturas, à mudança na vestimenta, à diferença de experiência térmica vivida e à alteração nas expectativas dos ocupantes.

Apresenta limites de variação de temperaturas aceitáveis até 3,3°C em um período de 4 horas, por exemplo. Esse modelo indica, portanto, a possibilidade dos envolvidos no projeto definirem o nível de conforto térmico e seus valores limites. Com isso, podem-se relacionar temperaturas internas de projeto ou faixas aceitáveis de temperatura às variáveis climatológicas externas.

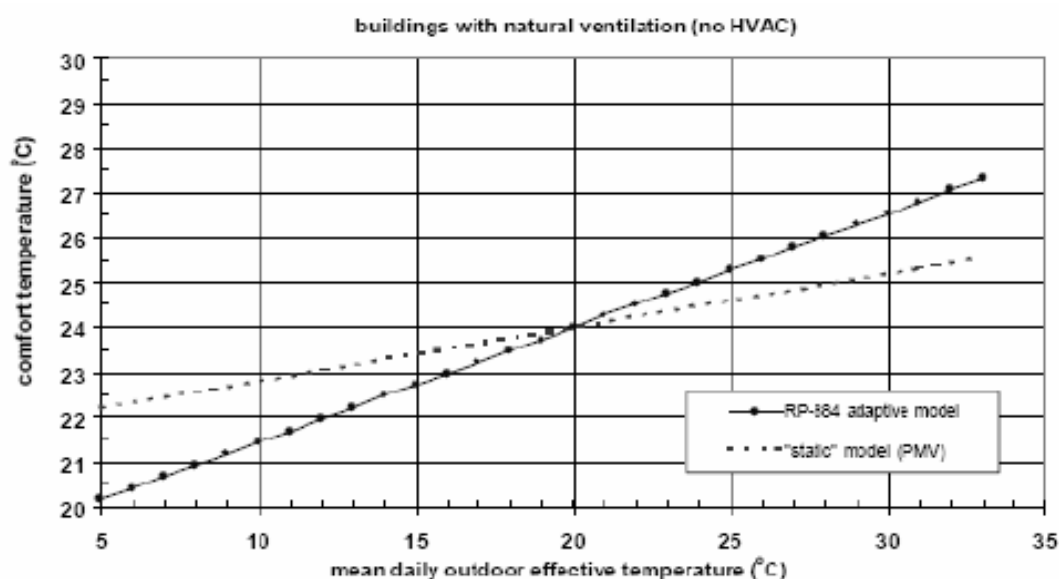


Gráfico 1 - Comparação entre o modelo adaptativo de conforto proposto por Dear, Bragger e Cooper (1997) e o modelo estático proposto por Fanger (1967) aplicados a edifícios naturalmente ventilados. Fonte: *ASHRAE FINAL REPORT RP-884*

O modelo adaptativo de conforto parte da temperatura efetiva média externa (ET ext), calculada para cada uma das 8760 horas de um ano, para estabelecer a temperatura de conforto térmico (Tc) de um ambiente.

Para entender o processo, o resumo abaixo baseou-se na explicação de LABAUT (2004) quando da adoção do modelo adaptativo para o desenvolvimento do projeto e análise do desempenho dos edifícios da nova Sede da Petrobras no Rio de Janeiro (CENPES II)⁸⁷:

Segundo a ASRHAE 55 (1995), a Temperatura Efetiva (ET) é a temperatura operativa (To) de um ambiente a 50% de umidade relativa do ar, que causaria as mesmas trocas de calor sensível e latente que as experimentadas pelo usuário no ambiente em estudo.

ET é calculada em pela equação abaixo (ASHRAE, 1997 apud SZOKOLAY, 2001):

$$ET = To + w \cdot Im \cdot LR \cdot (pa - 0,5 \cdot psET)$$

onde:

To é a temperatura operativa

w é a umidade da pele;

Im é a permeabilidade da roupa à umidade;

LR é a relação de Lewis;

pa é a pressão de vapor e

psET é a pressão de saturação na temperatura efetiva.

A temperatura operativa (To) é a temperatura uniforme de um ambiente hipotético com uma envoltória negra imaginária no qual um ocupante apresentaria a troca térmica radiante e convectiva que ele apresenta no ambiente não uniforme real. Numericamente, é a média entre a temperatura de bulbo seco do ar (Tbs) e a temperatura média radiante (Trm), ponderada pelos respectivos coeficientes de troca térmica (hc e hr). Desse modo, a equação é:

$$To = hr \cdot Trm + hc \cdot Tbs / (hr + hc)$$

onde:

hr é o coeficiente de trocas radiativas

hc é o coeficiente de trocas convectivas

⁸⁷ A autora deste trabalho participou das atividades de projeto e análise do desempenho dos edifícios, assim como participou da redação dos relatórios entregues à Petrobras. O resumo acima apresentado baseia-se no relatório intitulado: Arquitetura e Eco-eficiência: Clima, Insolação e Índices de Conforto.

T_{rm} é a Temperatura Radiante Média

T_{bs} é a Temperatura de Bulbo Seco

Usualmente, para o cálculo de ET, assume-se que a temperatura efetiva é dada por retas na carta psicrométrica, passando pelo ponto onde a umidade relativa é 50% pra aquela temperatura. De acordo Szokolay (2001), a inclinação dessas retas é igual a:

$$0,023 \cdot (ET-14) \text{ para } ET < 30$$

$$0,028 \cdot (ET-14) \text{ para } ET > 30$$

Deste modo, tendo-se a temperatura operativa (T_o) e a umidade absoluta (U_{abs}) de um ponto, é possível, através de cálculo, encontrar a temperatura efetiva para aquela condição.

Para ilustrar o significado deste índice, a Tabela indica algumas relações entre ET e pares de T_o e UR:

Tabela 7- Valores de temperatura operativa e umidade relativa equivalentes a algumas temperaturas efetivas

ET*(°C)	t_o (°C)	UR (%)
25	23	100
25	25	50
25	27	9
30	27	95
30	30	50
30	35	6

Por fim, a temperatura de conforto (T_c) é dada pela equação:

$$T_c = 18,9 + 0,255 \cdot ET \text{ ext}$$

Dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2,5^\circ\text{C}$ dessa temperatura, 90% dos ocupantes ou mais estariam satisfeitos com as condições térmicas do ambiente. Admitindo-se uma tolerância de $\pm 3,5^\circ\text{C}$, obter-se-ia um índice de satisfação de 80%.

São então calculadas as temperaturas efetivas externas para cada hora do banco de dados climáticos anual, assumindo-se que $T_o = T_{bs}$. A temperatura efetiva usada no cálculo da temperatura de conforto é a temperatura média de todas as horas dos últimos 30 dias.

Parâmetros de conforto térmico adotados

Baseada na metodologia acima, que utiliza a Temperatura Efetiva média externa (ET ext) calculada para cada uma das 8760 horas de um ano para estabelecer a temperatura de conforto térmico (Tc) de um ambiente, o LABAUT montou uma planilha cuja função é:

- comparar a temperatura efetiva interna resultante em um ambiente (obtida a partir de cálculo ou simulação computacional) com as temperaturas de conforto calculadas para cada uma das 8760 horas do ano;
- após a comparação, apontar qual a porcentagem do ano em que se obtém conforto para 80% e/ou 90% das pessoas.

Abaixo, pode-se ver um gráfico com a representação da faixa de temperatura de conforto para São Paulo, que usa o ano climático de referência de projeto montado por De Benedetto (2006).

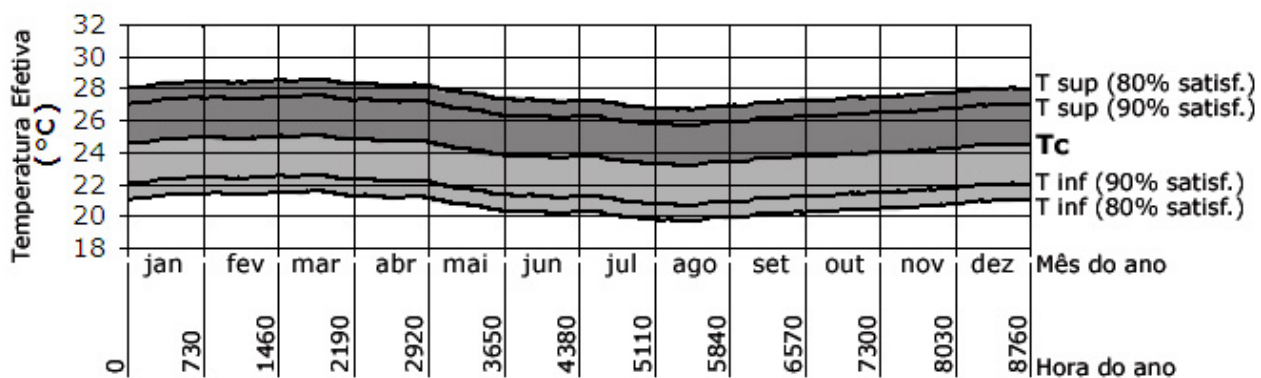


Gráfico 2 - Temperaturas Efetivas de Conforto para São Paulo, segundo modelo adaptativo de conforto. Planilha de cálculo para originar o gráfico: LABAUT. Fonte (dados climáticos): De Benedetto (2006). Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

Em vista do que foi apresentado anteriormente, optou-se, nesse trabalho, pelo uso do modelo adaptativo de conforto térmico. Assim, serão utilizados na avaliação preliminar do desempenho térmico das salas de aula:

- o gráfico das temperaturas efetivas de conforto de São Paulo ao longo do ano);
- a planilha de comparação das temperaturas efetivas internas com as temperaturas efetivas de conforto de São Paulo ao longo do ano.

3.4.1.2. Parâmetros de conforto luminoso

As atividades de ler e escrever exigem boa iluminância geral no ambiente e ausência de ofuscamento principalmente no plano de trabalho. Segundo Corbella e Yannas (2003), os parâmetros que definem a qualidade da visão são: campo visual (ângulo sólido abrangido pelos dois olhos); acuidade (capacidade de distinguir detalhes próximos); adaptação (tempo necessário para o ajuste da visão diante de uma mudança brusca de luz); contraste (forte diferença de brilho ou de cores entre duas superfícies).

No Brasil temos a norma NBR 5413 de Iluminância de Interiores (ABNT, 1992), porém trata apenas de níveis de iluminância considerando o uso de iluminação artificial. Para tarefas com requisitos visuais normais, a Tabela 1 (Iluminância por classe de tarefas visuais) da norma recomenda uma iluminância geral de 500 a 1000 lux, enquanto que para áreas de trabalho, recomenda 1000 a 2000 lux.

Na mesma norma, no item 5.3 (Iluminâncias em lux, por tipo de atividade), recomenda os seguintes valores de iluminância (mínimo/médio/superior) para Escolas (item 5.3.13 da norma):

- Salas de aula: 200/300/500 lux
- Quadros negros: 300/500/750 lux
- Sala de trabalhos manuais: 200/300/500 lux
- Laboratórios: 150/200/300 lux (geral) e 300/500/750 lux (local)
- Sala de reuniões: 150/200/300 lux
- Sala de educação física: 100/150/200 lux

Parâmetros de conforto luminoso adotados

Conforme a norma alemã DIN 5034 - *Daylight in interiors – General Requirements* (DEUTSCHE NORM, 1983), a luz natural necessária em um ambiente equivale a 60% da luz artificial instalada para o mesmo. Portanto, será usada a norma brasileira NBR 5413 (ABNT, 1992), considerando que 60% do valor médio acima apresentado é suficiente para se obter um bom nível de iluminação natural no ambiente.

Nesse trabalho preferiu-se adotar os valores médios da Tabela 1 (Iluminância por classe de tarefas visuais), pois acredita-se que a sala de aula se enquadra como local de realização de “tarefas com requisitos visuais normais”, tipo de tarefa especificado nessa tabela. Os valores de iluminância são consideravelmente superiores, o que nesse caso, vem a elevar o grau de exigência quanto ao desempenho luminoso da sala.

- Valor médio para iluminância geral: 750 lux;
- Valor médio para iluminância na área de trabalho: 1500 lux.

Aplicando-se a porcentagem de 60% colocada pela norma alemã, chegaram-se aos seguintes valores de iluminância para as salas de aula:

- Geral: 60% de 750 lux = 450 lux
- Área de trabalho: 60% de 1500 lux = 900 lux.

3.4.1.3. Parâmetros de conforto acústico

O edifício escolar deve apresentar adequadas condições acústicas para a realização de atividades de ensino e aprendizagem e atividades administrativas. Deve apresentar isolamento acústico das vedações externas em relação aos ruídos externos (como atividades de recreação, tráfego veicular e aéreo), e adequado isolamento acústico entre ambientes.

No Brasil⁸⁸, seguindo instruções da Organização Mundial de Saúde⁸⁹ (OMS), a ABNT (1987) recomenda que os seguintes níveis de ruído em uma escola:

- Salas de aula, áreas para uso do público: 40 a 50 dB(A)
- Bibliotecas, salas de música e de desenho: 35 a 45 dB(A)
- Serviços: 45 a 55 dB(A)

A norma norte-americana ANSI/ASA S12.60-2002 (ASA, 2002) limitou o ruído de fundo das salas de aula em 35 dBA. Sabendo-se que o nível da voz humana é de 65 dBA e uma voz alta (sem gritar) chega a 75 dBA, essa diferença entre o nível da fala e o ruído da sala é responsável pela inteligibilidade das palavras em sala de aula.

⁸⁸ Legislações brasileiras que abordam o conforto acústico: Portaria nº 092 do Min. do Interior; Lei nº 6514 sobre segurança do trabalho; Normas Brasileiras da ABNT NBR 10151, NBR 10152, NBR 5335, NBR 5480, NBR 8433, NBR 7731; Lei Municipal nº 2423; Resolução nº 448 do Conselho Nacional de Trânsito.

⁸⁹ A OMS concluiu que as pessoas perdem o conforto auditivo a partir de 50 dBA e começam a ficar estressadas a partir de 55 dBA (CARVALHO, 1996).

3.4.2. Cálculos preliminares e programas computacionais de simulação de desempenho

Em detrimento do aumento da complexidade dos projetos e da necessidade de integração entre todas as variáveis, inclusive de sistemas artificiais, há uma oferta crescente de programas computacionais que simulam o desempenho térmico, luminoso, acústico e energético das edificações. Esses programas facilitam muito o processo de projeto, pois podem atuar desde a concepção dos primeiros estudos até o detalhamento dos sistemas de uma edificação.

Na página eletrônica do DOE⁹⁰ encontra-se uma listagem com 260 programas computacionais de simulação e cálculo relacionados a conforto ambiental e energia. Os programas estão cadastrados por países que desenvolveram os mesmos. Nesse trabalho serão elencados somente alguns programas, e principalmente aqueles desenvolvidos no Brasil. Os programas computacionais estrangeiros aqui apresentados são aqueles mais utilizados pelas universidades, especialistas e projetistas brasileiros.

3.4.2.1. Desempenho térmico

O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção e leis básicas de transferência de calor permite prever qual será a resposta de um edifício às variações do clima externo e, assim, poder tomar decisões a respeito de quais materiais empregar num determinado clima.

Para verificar o desempenho térmico de um edifício, deve-se considerar para o cálculo: o clima externo, a geometria, as orientações e declividades de fachadas e coberturas; as absortâncias das superfícies externas; o sistema construtivo; as propriedades térmicas dos materiais empregados; as áreas envidraçadas; as cargas térmicas internas (padrões de ocupação, o uso de equipamentos e iluminação artificial); o sistema de ventilação (número de renovações de ar por hora).

Para o cálculo da ventilação natural, de um modo geral, é necessário saber: o número de pessoas que ocuparão aquele ambiente, as atividades por elas exercidas, o volume do espaço, a posição das aberturas em relação ao ambiente e às superfícies que as contêm, a tipologia das aberturas, a diferença entre a temperatura externa e interna, a velocidade do vento, e os coeficientes de pressão das aberturas de entrada e saída do ar.

Segundo Frota e Schiffer (2001), dos vários métodos de cálculo de previsão do desempenho térmico existentes, podem ser citados os de Mahoney, de Nessi e Nissole e o do CSTB⁹¹.

⁹⁰ <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/countries_sub.cfm>. Acesso em: 11 jan. 2007.

⁹¹ Centre Scientifique el Technique du Batiment

Consideram o do CSTB o mais aplicável, porque se baseia em dados climáticos disponíveis e numa abordagem acessível em relação às características dos materiais.

O método de cálculo do CSTB se baseia no regime térmico permanente, isto é, apresenta uma seqüência de dias cuja variação de área de temperatura e umidade são relativamente semelhantes. Geralmente, os programas computacionais mais avançados de simulação de desempenho adotam o regime térmico transitório ou dinâmico, com variações de temperaturas interna e externa, de produção de calor, de ventilação e radiação solar ao longo do tempo.

No método de CSTB, para o caso de conforto térmico de inverno, são consideradas apenas as perdas térmicas, já que a temperatura interna desejável no edifício é sempre superior à temperatura do ar externo, mesmo considerando-se as médias. Para o caso de conforto térmico de verão, faz-se um balanço térmico sobre hipóteses que retratem os ganhos e as perdas de calor pelo edifício (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Para efeito de análise preliminar do desempenho do edifício, indica-se o método do CSTB⁹², assim como programas computacionais mais simplificados, que utilizam o regime térmico permanente, como o CTCA, *Climaticus*, *Arquitrop*, entre outros.

É importante lembrar que o projeto de norma da ABNT (2006a) sobre desempenho de edifícios não recomenda nenhum procedimento de cálculo específico. Coloca que, em razão do estado atual da arte, os procedimentos de medições *in loco* ou de simulações computacionais presentes na norma são apenas orientativos. Sugere programas que façam simulações considerando valores horários das variáveis climáticas do lugar: *DOE*, *EnergyPlus*, *ESP-r*.

No entanto, acredito que esses programas poderiam ser utilizados numa fase mais avançada do projeto, quando se faz necessária a integração entre os sistemas passivos e ativos de condicionamento e iluminação. Para uma fase preliminar de projeto, acredito ser suficiente a aplicação, ao menos intuitiva, dos conceitos e estratégias bioclimáticas, e também cálculos simplificados de balanço térmico de um ambiente para horários críticos de verão e inverno.

Programas computacionais

Arquitrop⁹³: apresenta o cálculo de desempenho térmico de um ambiente a partir de dados de entrada como dimensões, materiais, aberturas, ocupação.

⁹² Para saber como utilizar o método, suas etapas de cálculo, e obter dados em relação à característica térmicas dos materiais, potência de equipamentos, calor metabólico, fórmulas, etc., utilizar o **Manual de Conforto Térmico** de Frota e Schiffer.

Fachada⁹⁴: apresenta o cálculo de desempenho térmico de fachadas com ou sem vidros, estimando a temperatura do ar interno sem condicionamento artificial, as condições de conforto interno dos ambientes e o consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado às 15h.

Analysis-CST⁹⁵: é subdividido em 2 áreas distintas de estudos: Conforto térmico e Stress térmico. Está baseado nos parâmetros e algoritmos presentes nas normas ISO 7730/94, ASHRAE 55/92, ISO-DIS 7726/96, ISO 8996/90, ISO 9920/95, ASHRAE Fundamentals (1997). A saída de dados é em formato de relatório, onde o usuário terá a sua disposição os índices de conforto e parâmetros de trocas térmicas.

Umidus⁹⁶: estuda o comportamento dos elementos do edifício (como paredes, por exemplo) sob a influência do clima de uma determinada região.

CTCA⁹⁷: utiliza o método de cálculo do CSTB para prever o desempenho térmico de um ambiente, a partir de dados de entrada como dimensões, materiais, aberturas, ocupação. Apresenta um relatório final com temperatura interna máxima atingida.

Condensa⁹⁸: calcula a vazão de ar necessária para evitar a condensação superficial em componentes externos.

Brise.BR⁹⁹: baseado na geometria solar, mostra a eficiência de um dispositivo de sombreamento para uma dada latitude, alertando para as horas em que a superfície estará sombreada ou não. Oferece opções de dimensionamento, usando-se o mesmo critério de sombreamento escolhido anteriormente (isto é, para os mesmos ângulos alfas e betas).

⁹³ *Arquitrop* - foi desenvolvido por RORIZ, M. (UFSCar). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁹⁴ Fachada v. 2.1 - foi desenvolvido em 2002 e atualizado em 2006 por ALUCCI, M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁹⁵ *Analysis-CST* - Conforto e Stress Térmico. Foi desenvolvido por pesquisadores do LabEEE/ UFSC e NPC/UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

⁹⁶ *Umidus* - desenvolvido por pesquisadores do LabEEE/ UFSC com base no modelo matemático da tese de doutorado de MENDES, N. (e posteriormente otimizado com a ajuda de RIDLEY, I.). Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

⁹⁷ CTCA v.1.0 - foi desenvolvido em 1999 por MARINS, K.R. de C.; RIBEIRO, T.G. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁹⁸ Condensa v. 2.1 - foi desenvolvido em 2002 por ALUCCI, M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

⁹⁹ *Brise.BR* v. 1.3 - foi desenvolvido em 2006 por ALUCCI, M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

Chaminé¹⁰⁰: calcula a vazão do ar em m³/hora por efeito chaminé para aberturas laterais e zenitais.

Transmitância¹⁰¹: com alguns dados de entrada das propriedades térmicas do elemento construtivo, calcula a transmitância térmica, resistência, capacidade e atraso térmico.

TAS¹⁰²: permite avaliar o desempenho térmico de um edifício através de resultados hora a hora da temperatura do ar interno, umidade relativa, temperaturas superficiais, velocidade do ar interno, dados de ganhos e perdas de calor no edifício, e dados de carga térmica do mesmo. Para tanto, é necessária a inclusão de dados de entrada detalhados como: arquivo anual de clima da cidade onde o edifício está locado, dados dos materiais que compõem o edifício (espessura, cor, densidade, coeficiente de transmissão de calor, etc.), regime de uso do mesmo (horários de ocupação, abertura de janelas, etc.), carga interna (ocupação, equipamentos, iluminação artificial), entre outros. O aplicativo é dividido em 3 módulos: *TAS 3D* (modelagem do edifício), *TAS Building Simulator* (inserção de dados e simulação do edifício), *TAS Result Viewer* (visualização dos resultados). Além desses módulos, o aplicativo ainda possui outros auxiliares: *TAS Weather Database* (banco de dados climáticos, com possibilidade de edição), *TAS Calendar Database* (banco de dados dos horários de ocupação do edifício), *TAS Construction Database* (banco de dados de materiais, com possibilidade de criação de outros), e *TAS Internal Condition Database* (banco de dados das condições de uso do edifício). Vale destacar que no módulo de visualização dos resultados é possível combinar a saída dos dados, pois o aplicativo os mostra em forma de planilha hora a hora. Também oferece alguns gráficos restritos para visualização desses dados. No entanto, para trabalhar melhor os dados, esses podem ser transferidos para o programa *Excel* da *Microsoft*, e assim, podem ser gerados gráficos e tabelas de acordo com a necessidade do usuário.

Ecotect¹⁰³: é uma ferramenta de desenho em 3D, com *interface* amigável, que facilita a visualização do edifício logo em fases iniciais do projeto, além de ser uma ferramenta completa para análise do conforto ambiental. Possui dois níveis de complexidade para análise e modelagem. O primeiro, com algoritmos mais simples, pode ser utilizado na fase inicial do processo projetual,

¹⁰⁰ Chaminé v. 2.3 - foi desenvolvido em 2002 por ALUCCI, M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

¹⁰¹ Transmitância v.1.0 - foi desenvolvido por pesquisadores do LabEEE/ UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>>

¹⁰² *TAS Building Designer* - programa computacional da empresa *Environmental Design Solutions Limited (EDSL)* que foi validado pela *International Energy Agency (IEA)* através da comparação positiva com os dados monitorados contidos no seguinte relatório da *IEA: Energy Conservation in Buildings & Community Systems, Annex 21, Subtask C - Empirical Validation of Thermal Building Simulation Programs Using Test Room Data*. Mais informações na página: <<http://www.edsl.net/>>

¹⁰³ *Ecotect* - resultado de uma tese de PhD conduzida pelo Dr. Andrew Marsh na University of Western Australia School of Architecture and Fine Arts, em 1997. Atualmente é comercializado pela empresa Square One, um centro de pesquisas da Welsh School of Architecture da Cardiff University, UK. Mais informações na página: <<http://ecotect.com/home>>

com o intuito de proporcionar uma rápida comparação entre diversas alternativas. Num segundo momento, são necessárias informações mais precisas e detalhadas do projeto, pois o cálculo é mais aperfeiçoado, fornecendo com isso, uma precisão maior nos resultados. Permite a importação de desenhos já modelados em outros programas (como arquivos .dwg).

Energy Plus¹⁰⁴: programa computacional de simulação térmica e energética em edificações para modelar aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação e outros fluxos de calor. Apresenta frações de tempo menores de uma hora, sistemas modulares e integrados de balanço térmico, baseado em uma zona e no fluxo de calor em zonas múltiplas, conforto térmico e sistemas fotovoltaicos.

ESP-r¹⁰⁵: é uma ferramenta integrada de modelagem para simulação do desempenho térmico, luminoso e acústico de edificações, e para a avaliação do uso de energia e emissão de gases associados aos sistemas de controle ambiental e aos materiais construtivos.

3.4.2.2. Desempenho luminoso

Com o conhecimento das características do céu local (luminosidade da abóbada celeste, nebulosidade), da geometria e o tamanho do ambiente, dos tipos de vidro utilizados nas aberturas, das cores das superfícies internas e das superfícies refletoras externas, é possível conseguir resultados que caracterizam o desempenho luminoso de um ambiente.

Segundo Baker e Steemers (2000), quando se utilizam métodos e ferramentas para a avaliação da iluminação natural no ambiente, conseguem-se os seguintes objetivos: previsão dos níveis de iluminação dos ambientes provenientes da luz difusa do céu; análise do acesso solar nos ambientes e entorno das edificações; verificação do ofuscamento proveniente das fontes de luz natural; previsão do desempenho e análise do custo-benefício de sistemas de iluminação natural e sistemas de controle da iluminação artificial; previsão de economia de energia proveniente da luz natural; visualização do projeto de iluminação natural proposto.

Durante os últimos 50 anos, diversas ferramentas de projeto foram desenvolvidas para o cálculo da iluminação natural em edificações, entre os quais podem ser citados (PEREIRA, 2006):

- os métodos manuais: Método dos Lúmens, Fator de Luz Diurna (FLD), Método do Fluxo Dividido, Transferidores de Iluminação Natural BRS, Nomograma de Iluminação para determinar a CRI, Diagramas de Contribuição Relativa da Luz (DCRL)¹⁰⁶.

¹⁰⁴ Mais informações na página: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>

¹⁰⁵ *Esp-r* vem sendo desenvolvido desde 1974 pela *University of Strathclyde* (Reino Unido) e em 2002 se converteu em um aplicativo de licença gratuita. Mais informações na página: <http://www.esru.strath.ac.uk/>

- os modelos físicos reduzidos: maquetes e relógio do sol.
- os programas de simulação computacional.

Os métodos manuais e os programas computacionais de simulação permitem uma avaliação quantitativa do desempenho luminoso, ao passo que os modelos físicos reduzidos permitem uma avaliação qualitativa, a não ser que utilizem fotocélulas como sensores captadores do nível de iluminância dentro do modelo.

Os programas computacionais de simulação do desempenho luminoso têm vantagens sobre os métodos manuais e os modelos físicos reduzidos porque: permitem condições controladas para a análise de períodos mais longos (já que não dependem das condições externas muito variáveis de céu), e permitem uma comparação dinâmica entre alternativas de projeto.

Nessa pesquisa serão utilizados os programas computacionais de simulação em detrimento dos métodos manuais, devido às vantagens apresentadas acima. Abaixo são elencados alguns programas mais utilizados no Brasil, desenvolvidos no país ou não.

Programas computacionais

Daylight¹⁰⁷: calcula a distribuição do FLD (%) para o ambiente. Possui limitações quanto à geometria do ambiente, e funciona com a plataforma DOS.

Lux¹⁰⁸: calcula a distribuição dos valores de FLD (%) para o ambiente e determina a frequência de ocorrência na qual a iluminância interna irá atingir o valor recomendado para projeto, a partir da contribuição da luz natural. A partir daí, estima o consumo de energia elétrica para complementar a luz natural. Possui limitações quanto à geometria do ambiente, pois simula-se apenas ambientes ortogonais, e não considera obstruções externas e dispositivos sombreadores.

Relux Professional¹⁰⁹: é uma ferramenta de desenho em 3D, com *interface* amigável e auto explicativa. A modelagem deve ser realizada no próprio programa. Possui um vasto banco de dados com objetos tridimensionais, como móveis e luminárias de mercado. Utiliza o céu claro e o céu encoberto (padrão CIE) para a simulação da iluminância interna da cidade escolhida. A versão

¹⁰⁶ Método recomendado pela norma brasileira NBR 15.215-3: Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.

¹⁰⁷ Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

¹⁰⁸ *Lux* v. 2.0 - foi desenvolvido em 2002 e atualizado em 2005 por ALUCCI, M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

¹⁰⁹ *Relux Professional* foi desenvolvido por um grupo de empresas fabricantes de luminárias e disponibiliza o pacote básico gratuitamente pela internet. Mais informações na página: <<http://www.relux.biz/>>.

gratuita utiliza como algoritmo de cálculo o método da radiosidade, onde as superfícies são difusoras perfeitas. A versão *Vision* utiliza os algoritmos de cálculo do *Radiance* (ver a seguir). O *Relux* fornece como saídas do programa imagens tridimensionais e plantas com as curvas *isolux*, além de calcular a eficiência energética anual.

Ecotect¹¹⁰: Para o cálculo da iluminação natural, o algoritmo incorporado nesse programa utiliza o Método do Fluxo Dividido (BRE), para calcular a porcentagem de luz natural direta e refletida em um ponto. O algoritmo *ray tracing* é utilizado para processar as informações. A iluminação artificial é calculada pelo método ponto a ponto. É aconselhável utilizar algoritmo do *Ecotect* em fases iniciais do projeto, onde a precisão absoluta não é exigida. Para análises mais precisas da iluminação é recomendável a exportação do modelo para o *Radiance* (PEREIRA, 2006).

Radiance SIS¹¹¹: é um sistema de renderização que utiliza o algoritmo *ray tracing* reverso para simular reflexões especulares, difusas, difusa direcionável e transmissão em qualquer tipo de combinação (WARD, 1998 apud PEREIRA, 2006). Permite a simulação da iluminância e luminância interna para geometrias e inter-reflexões complexas. Para calcular a iluminação difusa (a direta é calculada separadamente), o programa subdivide a superfície em áreas, calcula a iluminação em um ponto para cada raio enviado e interpola o resultado. Para o cálculo da luz difusa, algumas centenas de raios são distribuídas sobre um hemisfério projetado (KHODULEV, 1996 apud PEREIRA, 2006). É um programa complexo, com uma *interface* não muito amigável, e que exige treinamento contínuo para dominá-lo. No entanto, é um dos programas de simulação de iluminação mais respeitados pelo meio científico, possuindo validação quanto aos seus resultados. As saídas do programa incluem imagens foto realísticas, tabelas, contornos *isolux* e imagens com falsas cores da luminância e iluminância, assim como valores do FLD.

Desktop Radiance¹¹²: é uma ferramenta específica para renderizações e análise da luz natural, que trabalha dentro da plataforma do *AutoCAD* e não possui todos os recursos do *Radiance SIS*. O programa possui uma biblioteca de materiais, como plásticos, metais e transparências. As saídas do programa podem ser visualizadas através de imagens *renderizadas*, contornos *isolux*, imagens em falsas cores para representar diversas gradações da luz, tabelas com valores de iluminância/luminância e FLD (PEREIRA, 2006).

¹¹⁰ *Ecotect* - da empresa, Square One, foi desenvolvido por MARSH, A.J. em 1997. Disponível em: <<http://ecotect.com/home>>

¹¹¹ *Radiance SIS* - Synthetic Image System - foi desenvolvido em Lawrence Berkeley National Laboratories, na Califórnia e na Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, na Suíça. Mais informações na página: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/HOME.html>>. Disponível gratuitamente para download.

¹¹² Mais informações na página: <<http://radsite.lbl.gov/deskrad/>>. Disponível gratuitamente para download.

3.4.2.3. Desempenho acústico

Segundo Prado (1962), a solução dos problemas acústicos como ecos, reverberação excessiva, abafamento excessivo do som, trepidações das estruturas, etc., envolve princípios técnico-científicos referentes ao processamento de vários fenômenos físicos: a propagação do som em um meio contínuo; a reflexão, a difusão e a absorção das ondas sonoras; o estabelecimento de ecos simples e múltiplos; a reverberação, a difração, as interferências, a ressonância, etc.

O autor ainda coloca que ao aplicar as leis físicas para controlar os sons nos ambientes é preciso considerar a forma dos mesmos, o tamanho, a disposição e a natureza das superfícies, a estrutura e as propriedades elásticas dos materiais, a configuração dos elementos arquitetônicos, entre outros.

Alerta que a acústica arquitetônica, todavia, não está isenta de incertezas: há dúvidas quanto às qualidades efetivas dos materiais, há simplificações no estudo teórico dos problemas, há diferenças entre o projeto e a obra acabada. Por isso, recorre-se aos ensaios e às medidas acústicas nos locais, de preferência antes de concluída a construção, a tempo de se introduzirem as correções necessárias.

No caso de áreas habitadas, a norma brasileira NBR 15151 (ABNT, 2000) indica procedimentos de medição no exterior e interior das edificações, as condições gerais para tal, os equipamentos para medição, e o método alternativo para a determinação do nível de pressão sonora equivalente. Já a norma NBR 15152 (ABNT, 1987) apresenta os níveis de ruído para conforto acústico.

Atualmente pode-se contar com programas computacionais de simulação de desempenho acústico. Nessa pesquisa não foi realizada uma avaliação quantitativa do desempenho acústico do conjunto da escola. Houve a preocupação com o assunto e foram tomadas decisões de projeto que permitiram, pelo menos, uma avaliação qualitativa do desempenho acústico dos espaços.

Mesmo assim, serão apresentados abaixo alguns programas computacionais que auxiliam no desenvolvimento do projeto e na verificação do desempenho acústico.

Programas computacionais

Windoar¹¹³: é uma planilha de Excel para cálculo do tempo de reverberação dentro de um ambiente e das absorções acústicas por frequências

BD Acústica v. 1.2¹¹⁴ é um Banco de Dados de Características Acústicas que pode ser utilizado como ferramenta para o desenvolvimento de projetos com informações sobre os coeficientes de

¹¹³ Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

absorção e o índice de isolamento acústico por faixa de frequência de inúmeros materiais utilizados na construção civil.

Ecotect¹¹⁵: é uma ferramenta de desenho em 3D, com *interface* amigável, que facilita a visualização do edifício logo em fases iniciais do projeto, além de ser uma ferramenta completa para análise do conforto ambiental, inclusive conforto acústico. Calcula o tempo de reverberação, como ocorre a propagação do som no ambiente, a posição precisa e os ângulos para reflexão do som no ambiente por refletores, etc. Uma vez que gerados os raios acústicos, pode-se visualizar a resposta usando gráficos para análise. Permite a importação de desenhos já modelados em outros programas (como arquivos .dwg).

3.5. Reavaliação e detalhamento do projeto

Os resultados das avaliações do desempenho térmico, luminoso e acústico são dados importantes para a verificação da qualidade ambiental e da eficiência energética da arquitetura proposta, pois confirmam a correta adoção das estratégias de projeto utilizadas. Porém, às vezes esses resultados podem apontar valores que não atingiram os parâmetros mínimos de conforto previamente adotados.

O arquiteto ou profissional responsável pelos cálculos e simulações de desempenho deve analisar esses resultados e então identificar quais os pontos poderiam ser alterados e/ou otimizados no projeto para que se alcançassem melhores cenários de conforto ambiental e eficiência energética.

Inevitavelmente, estará propondo alterações de projeto para tal fim, como por exemplo: alterar o sistema de aberturas a fim de elevar o número de trocas de ar no ambiente; especificar outro material de acabamento para as fachadas leste e oeste a fim de reduzir os ganhos térmicos devido à radiação incidente; incrementar o isolamento de um componente para trazer melhores resultados térmicos ou acústicos; especificar um tipo de vidro com menor transmitância a fim de evitar as perdas e ganhos de calor; especificar luminárias próprias para a mesa de trabalho para não superdimensionar o nível de iluminância geral do ambiente e para otimizar a integração entre a iluminação natural e artificial; entre outros.

Portanto, a avaliação do desempenho não é a última tarefa deste processo, porque, muitas vezes, com as respostas oriundas dessa avaliação ainda são exigidas alterações no anteprojeto antes de

¹¹⁴ BD Acústica v. 1.2 - foi desenvolvido em 2003 por SANTOS, P.C.; ALUCCI. M.P. (LABAUT/ FAU/ USP). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>

¹¹⁵ *Ecotect* - resultado de uma tese de PhD conduzida pelo Dr. Andrew Marsh na *University of Western Australia - School of Architecture and Fine Arts*, em 1997. Atualmente é comercializado pela empresa *Square One*, um centro de pesquisas da *Welsh School of Architecture* da *Cardiff University*, UK. Mais informações na página: <<http://ecotect.com/home>>

prosseguir à etapa de projeto executivo. É um processo interativo, realimentado constantemente de informações, e que só finaliza quando se atingem os objetivos pré-estabelecidos.

Nesse exercício de identificar os problemas e propor alterações, o arquiteto deve interagir com os demais profissionais dos projetos complementares: estrutural, hidráulica, elétrica, sistema de iluminação artificial, sistema de refrigeração, paisagismo, automação, entre outros. Na verdade, quanto mais cedo acontecer a interação entre profissionais das diversas áreas, maiores serão as chances de um projeto de sucesso.

4. Exemplificação do processo metodológico

O exercício aqui proposto é o desenvolvimento de estudos preliminares que norteiem o anteprojeto de uma escola, a fim de exemplificar o processo metodológico para projetos com qualidade ambiental anteriormente apresentado.

Esse exercício de projeto poderia ter sido desenvolvido para qualquer tipologia de edificação. No entanto, como apresentado no capítulo 1, a importância desse estudo em ambientes escolares justifica-se pelo resultado direto que a qualidade física do espaço de ensino-aprendizagem tem sobre o desempenho dos alunos e professores.

Já a escolha pelo anteprojeto de uma escola de ensino fundamental da rede pública de São Paulo, e não pelo anteprojeto de uma escola privada, deve-se ao anseio e motivação em solucionar outros aspectos como:

- Os desafios apresentados ao se projetar uma escola pública vão desde o orçamento mais restrito até a solução arquitetônica e escolha de materiais que levem em consideração a durabilidade da construção (durabilidade ao longo do tempo, ao uso intenso e ao vandalismo) e a facilidade na manutenção e operação do edifício.
- Os desafios encontrados para se acomodar as escolas públicas do Estado de São Paulo aos terrenos hoje disponíveis às mesmas são: a topografia íngreme, a geometria irregular, a área restrita e a relação com o entorno imediato (assentamentos irregulares como invasões e favelas, alta densidade populacional).
- Os desafios encontrados pelo Governo e demais envolvidos para atender a demanda crescente por vagas nas escolas públicas vão desde os prazos exíguos para o desenvolvimento do projeto, até a necessidade de agilidade na construção, de repetição das soluções arquitetônicas e do baixo custo.
- Os desafios encontrados para se projetar uma escola com orçamento e prazo restritos, mas que seja agradável ambientalmente e que atenda todas as necessidades dos usuários, pedem soluções arquitetônicas criativas, inteligentes e exeqüíveis.
- A oportunidade de projetar e oferecer um edifício público à uma população carente de espaços com qualidade arquitetônica e ambiental é um privilégio de todos os envolvidos no projeto. Como colocado por Ferreira e Mello (2006):

A escola é praticamente o único equipamento público disponível às camadas mais pobres da população da periferia de nossas cidades. Esses prédios se sobressaem por sua escala na imensidão formada por autoconstruções ou por conjuntos habitacionais, por sua arquitetura diferenciada (FERREIRA; MELLO, 2006, p. 46).

Definidos a tipologia de edificação a ser projetada e o cliente a ser atendido, o processo metodológico aqui proposto teria sua efetividade melhor testada se os demais dados de projeto também fossem reais.

Através de uma publicação da FDE (Fundação para o Desenvolvimento Escolar) - Arquitetura escolar paulista: estruturas pré-fabricadas (FERREIRA; MELLO, 2006) - escolheu-se um terreno para o desenvolvimento do anteprojeto.

Posteriormente, a FDE foi contatada por meio da arquiteta Avany de Francisco Ferreira¹¹⁶ (Gerência de Planejamento e Projetos da FDE) para que tomasse conhecimento da pesquisa e assim fornecesse dados que auxiliassem no desenvolvimento dessa. Com isso, a FDE tornou-se, de fato, o cliente, que possui um terreno real (próximo ao portão 3 da Cidade Universitária da USP em São Paulo) disponível para a construção de uma escola de ensino fundamental, com um programa arquitetônico real e uma população real a ser atendida.

4.1. Programa arquitetônico

Abaixo, segue uma breve abordagem sobre o cliente FDE e a arquitetura escolar por ela produzida ou encomendada, para assim ilustrar o panorama no qual será inserido esse exercício de projeto.

A FDE foi criada em 1987 e foi idealizada para atuar tanto na área pedagógica como na de recursos físicos escolares do Estado de São Paulo.

No que se refere aos recursos físicos, a FDE desenvolve atividades de planejamento, projeto e execução de ampliações, restauros e reformas de edificações, bem como projeta, especifica e adquire equipamentos e mobiliário escolares. Também executa novas obras, coordena o programa de substituição de escolas ou salas provisórias e de adequação dos prédios existentes para acessibilidade a deficientes e coberturas de quadras esportivas (FERREIRA; MELLO, 2006).

Segundo Ferreira e Mello (2006), a história da construção das escolas públicas do Estado de São Paulo teve seu início em 1890, e nesse período de mais de 100 anos, cerca de 7 mil prédios já foram construídos. No entanto, poucos períodos apresentam qualidade arquitetônica do ponto de vista construtivo, funcional, econômico, espacial e plástico.

Já a produção arquitetônica atual adota a pré-fabricação da estrutura, medida essa que melhorou a qualidade da obra e reduziu os prazos de sua viabilização. Segundo Ferreira e Mello (2006), essa produção se distingue pela riqueza espacial proposta, pelo arrojo e modernidade expressos. A pré-

¹¹⁶ A arq. Avany Ferreira já conhecia os trabalhos desenvolvidos pelo LABAUT/ FAUUSP (Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética) onde a autora participa como pesquisadora, o que facilitou o contato e a obtenção de dados para a pesquisa. O produto dessa pesquisa será posteriormente oferecido à FDE.

fabricação da estrutura de concreto, feita através de um pré-dimensionamento das peças estruturais e especificações técnicas garantem a produção racionalizada e industrializada das mesmas, porém sem impedir as diferentes soluções arquitetônicas necessárias às características de cada terreno.

Para Ferreira e Mello (2006), a estrutura metálica mostrou-se inviável devido ao acréscimo no valor de mercado desse sistema, mesmo apresentando uma avaliação positiva em relação à economia de prazo alcançada. A pré-fabricação de outros elementos da obra, como a vedação e cobertura, ainda não foi incorporada ao sistema de construção padronizada da FDE devido ao valor ainda superior ao equivalente convencional.

Para a FDE, o projeto deve considerar não só aspectos relativos ao bem-estar dos usuários, como também aqueles que envolvem o edifício como bem público, isto é, soluções e materiais de maior durabilidade, que resistam ao longo do tempo, ao uso intenso (numa carteira, por exemplo, senta-se em média 3 alunos diferentes ao dia) e ao vandalismo. Devem, também, ser de baixo custo e fácil manutenção.

Em razão dessas características, Ferreira e Mello (2006) discorrem sobre várias soluções e materiais adotados na construção dessas novas escolas, o que, nesse exercício de projeto, são informações importantes a serem consideradas:

- Pisos: o piso cerâmico já vem sendo utilizado e responde positivamente ao uso intenso e à qualidade do serviço acabado; o piso vinílico, o de alta resistência em placas e o piso monolítico estão sendo testados em algumas escolas.
- Quebra-sol: os cobogós de elemento vazado cerâmico ou de concreto vêm sendo utilizados com maior frequência pelos projetos devido à sua resistência, porém os elementos de chapa metálica perfurada e de PVC também estão sendo testados em algumas escolas.
- Quadra de esportes: piso com isolamento acústico quando a quadra ocupa o último pavimento da escola.
- Cobertura de telhas metálicas e treliças metálicas: montada com vãos pequenos para facilitar a manutenção.
- Ambientes acessíveis às pessoas com dificuldade de locomoção: atendem à norma NBR 9050 (ABNT, 2004): Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaço e Equipamentos Urbanos, e apresentam trilhas podotáteis, rampas e elevador elétrico.
- Caixilharia: basculante porque atende de forma satisfatória os problemas de invasão e reposição constante de vidros.
- Instalações hidráulicas, elétricas e eletrônicas: instalações hidráulicas do tipo anti-vandalismo, especificadas visando a redução do consumo e à racionalização do uso da água; instalações

elétricas com lâmpadas sem mercúrio, reatores e luminárias de alto rendimento visando à redução e racionalização do uso de energia. Todas elas são aparentes nas circulações (sob as vigas principais e junto às alvenarias) e distribuem-se aos ambientes de forma embutida nas paredes ou sob o capeamento de concreto do piso, seguindo aparentes sob as lajes.

As experiências acima mencionadas servirão como balizadoras para o anteprojeto que aqui será proposto. É importante salientar que não se almeja propor um anteprojeto para ser comparado com as escolas da FDE já construídas ou com os projetos já aprovados para construção. Almeja-se sim aqui mostrar que é possível se atingir uma arquitetura de qualidade projetando espaços que respondam aos requisitos básicos demandados pelo cliente juntamente com os requisitos ambientais.

Em relação ao programa arquitetônico, a Secretaria de Estado da Educação (SEE), através da FDE, inseriu significativas alterações, que hoje são pré-requisitos nos projetos de construção de suas escolas a partir de meados de 2003: a incorporação da quadra de esportes coberta em seu programa, que coincide com a proposta de utilização das escolas nos fins de semana pela comunidade, a inserção das salas de informática, a adoção da pré-fabricação da estrutura do edifício e uma nova forma de gestão de projetos e obras (FERREIRA; MELLO, 2006).

O programa arquitetônico atualmente é constituído por quatro conjuntos funcionais:

- Administração: diretoria, secretaria, almoxarifado, coordenação pedagógica, professores e sanitários administrativos.
- Pedagógico: salas de aula, salas de reforço, sala de uso múltiplo, centro de leitura, sala de informática e depósito.
- Vivência: cozinha, despensa, refeitório, cantina, sanitário de alunos, grêmio, depósito de educação física, quadra coberta e recreio coberto.
- Serviços: depósito de material de limpeza e sanitário de funcionários.

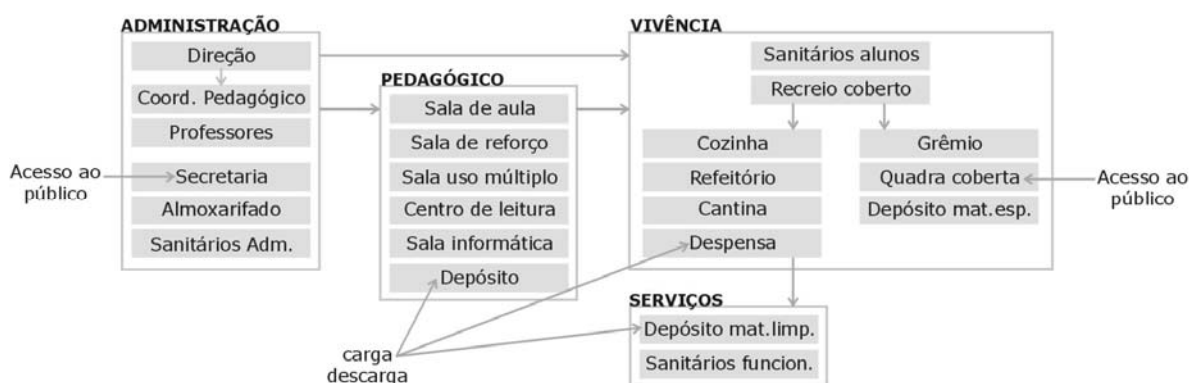


Figura 49 - Fluxograma do Programa arquitetônico. Fonte: Ferreira e Mello (2006). Montagem: MUELLER, C.M.

Tabela 8 - Programa arquitetônico para uma escola de ensino fundamental (ciclo I) da FDE



00.65.163 - terreno USP
Programa Arquitetônico
12 a 15 salas de aula para 1ª a 4ª séries

Conjunto	Ambientes	Quantidade	Área unitária	Área total
			m ²	m ²
Direção administrativa	Diretor	1	12,96	12,96
	Secretaria	1	45,36	45,36
	Almoxarifado	1	16,20	16,20
	Coordenador Pedagógico	1	9,72	9,72
	Professor	1	25,92	25,92
	Sanitário	2	6,48	12,96
Pedagógico	Sala de Uso Múltiplo	1	77,76	77,76
	Centro de Leitura	-	-	-
	Sala de Informática	-	-	-
	Sala de Reforço	2	25,92	51,84
	Depósito	1	12,96	12,96
	Sala de Aula	12	51,84	622,08
Vivência	Cozinha	1	25,92	25,92
	Dispensa Cozinha	1	10,53	10,53
	Refeitório	1	58,32	58,32
	Cantina	-	-	-
	Sanit.Aluno - c/ box deficiente	2	32,40	64,80
	Grêmio	-	-	-
	Depósito Mat. Educação Física	1	12,96	12,96
	Quadra de Esportes Descoberta	1	600,00	600,00
Serviços gerais	Recreio coberto	1	259,20	259,20
	Depósito Material de Limpeza	1	9,72	9,72
	Sanitário Funcionários	1	6,48	6,48
Subtotal (Somatória das áreas dos ambientes, excluindo o galpão)				1011,69
Circulação 30%				303,51
Galpão				259,20
Total de construção				1574,40
OBS: Além dos ambientes acima, que são padrão, o prédio novo para a EE Clorinda Danti deverá ter os ambientes com recursos para atendimento dos alunos deficientes visuais e mentais.				

Fonte: FDE. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

Orientada pela arquiteta Avany Ferreira, a autora dessa pesquisa visitou a escola atual (EE Prof^a. Clorinda Danti) que será transferida para o futuro terreno em questão, e conversou com a diretora Daniela sobre as necessidades espaciais e programáticas da escola.

Apesar do programa arquitetônico acima solicitar uma quadra de esportes descoberta, salientou-se também a necessidade de uma quadra coberta para atividades diversas, que é utilizada para educação física em dias chuvosos, comemorações e eventos abertos à comunidade, etc. Mesmo sendo solicitadas 12 salas de aula, seria prudente prever área para a expansão da escola e construção de futuras salas.

Nessa conversa ficou clara a aspiração crescente de envolver a comunidade ao ambiente escolar. Esse projeto (Projeto Escola da Família) já está acontecendo através de atividades como:

alfabetização de adultos, curso de idiomas, curso para futuras mães, e aulas de capoeira, em período noturno e aos fins de semana. Ocorre também a abertura dos espaços de esporte e lazer à comunidade nos fins de semana.

4.2. Diagnóstico físico-climático do terreno e entorno

4.2.1. Análise do terreno e entorno

A visita ao terreno foi muito importante no processo de projeto, pois permitiu identificar *in loco* os itens: topografia, insolação, ruído, ventos, tipologia do entorno, vias de acesso.

Como características mais marcantes do terreno podem-se apontar:

- O terreno possui um acentuado desnível de aproximadamente 15 metros entre as cotas inferior e superior, o que tornou o exercício de projeto ainda mais desafiador. Trabalhar com a topografia existente, promovendo um mínimo de movimentações de terra foi uma premissa de projeto.
- O terreno é regular em relação ao seu formato, isto é, não possui uma geometria complicada, e possui dimensões que o aproximam de um quadrado.
- O entorno do terreno apresenta pelo menos três destaques: um supermercado de grandes dimensões, o hospital da USP, e as edificações da Favela São Remo, que formam uma grande massa uniforme.
- As cores das superfícies externas e pavimentações ao redor do terreno não contribuem muito para a reflexão da luz, ou seja, não atuam como agentes refletores da luz natural.
- O supermercado possui uma grande fachada voltada para a Rua São Remo e ao terreno em questão, no entanto, possui uma cor azul escuro, com índice de reflexão muito baixo. As edificações da Favela São Remo também não contribuem muito porque apresentam cores médias a escuras diversas, além de serem de pequeno porte. As vias são de cor padrão (asfalto escuro), e não contribuem para a reflexão da luz natural. Ao contrário, absorvem demasiada energia solar, aquecendo indiretamente as superfícies próximas e o microclima da região.



Figura 50 - Foto aérea da região do HU/ USP. Fonte: Google Earth. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.



Figura 51 - Foto aérea da região do HU/ USP. Fonte: Google Earth. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

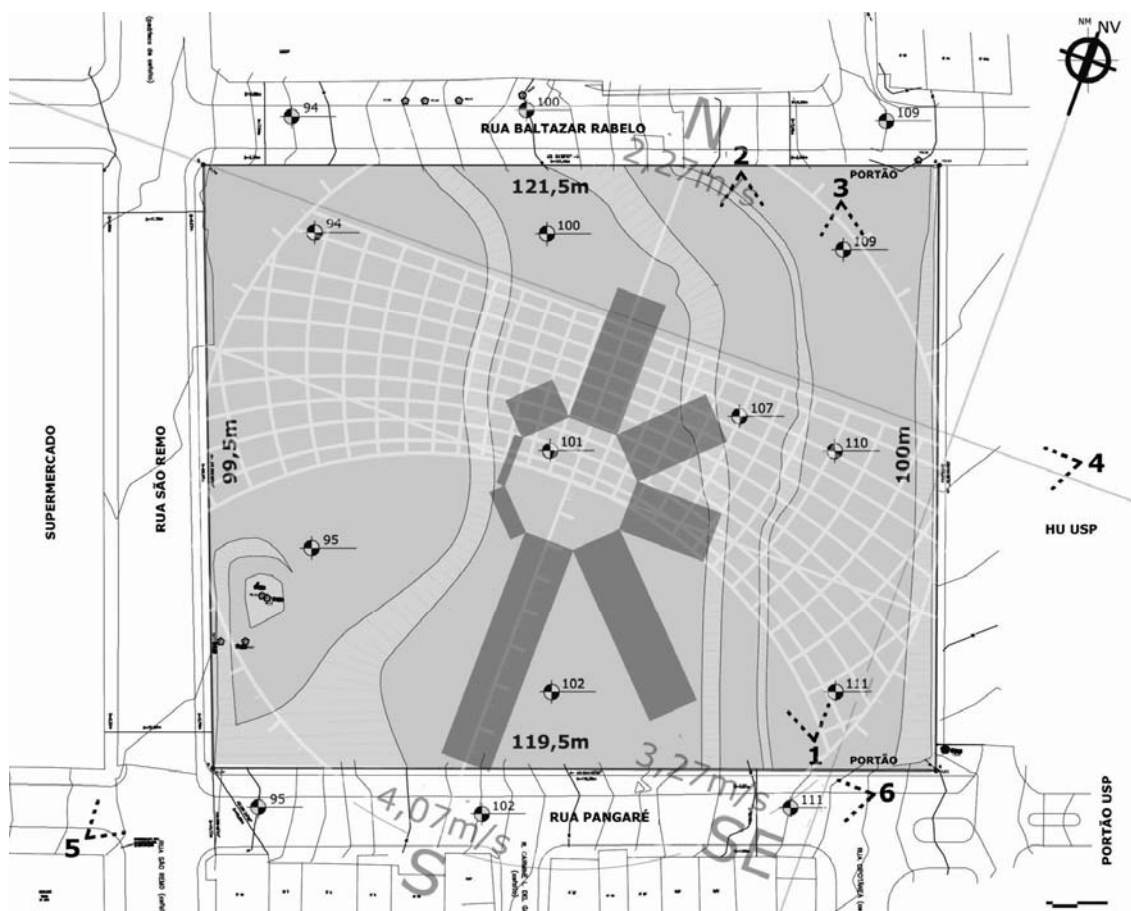


Figura 52 - Terreno pertencente à USP e destinado à FDE. Escala gráfica. Fonte: FDE. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.



Figura 53 - Vista 1 do terreno a partir do portão da R. Pangaré



Figura 54 - Vista 2 do terreno a partir da R. Baltazar Rabelo



Figura 55 - Vista 3 do terreno a partir do portão da R. Baltazar Rabelo



Figura 56 - Vista 4 do terreno a partir do estacionamento da USP



Figura 57 - Vista do terreno a partir da Av. Corifeu de Azevedo Marques



Figura 58 - Vista 6 da vizinhança da R. Pangaré



Figura 59 - Vista 5 da parte inferior do terreno a partir da esquina da R. São Remo com R. Pangaré

4.2.2. Análise do ruído no terreno

Em visita ao terreno (em dia de semana por volta das 12h), notou-se que esse não sofre a interferência do ruído provocado pelo intenso tráfego da Av. Corifeu de Azevedo Marques, mesmo estando próximo à ela. Essa ausência do ruído no terreno deve-se aos seguintes motivos:

- A distância entre o terreno e a avenida é considerável (aproximadamente 150m), e o ruído perde intensidade até alcançar a área de interesse.
- Existe um supermercado de grande porte entre a avenida e o terreno, que funciona como barreira acústica.

Por outro lado, as ruas laterais ao terreno possuem um acentuado aclive, onde se demanda uma força maior para o veículo desenvolver a subida. Dependendo do motor, maior ruído é gerado. No entanto, essas ruas apresentam uma quase inexistência de veículos (devido ao poder aquisitivo dos moradores da favela), predominando nessa região o tráfego de pedestres. Quando raramente algum veículo era avistado, esse estava se dirigindo ao portão do Hospital Universitário da USP, no topo da Rua Pangaré.

A Rua São Remo não é asfaltada e apresenta alguns buracos provocados pela passagem e estacionamento de caminhões que abastecem o supermercado. No entanto, essa passagem de caminhões não produz um ruído considerável, porque os mesmos transitam por ali apenas para estacionar e o fazem em reduzida velocidade.

Mesmo assim, a Rua São Remo pode vir a ser asfaltada no futuro, o que acarretará em aumento do tráfego de veículos e caminhões e aumento da velocidade dos mesmos. Em vista disso, procurou-se ocupar o terreno de forma a localizar próximas à essa rua, as atividades que não demandam tanto silêncio, como quadra aberta, refeitório, cozinha, vestiários, entre outros.

Não foi utilizado nenhum programa computacional ou realizado algum cálculo para estimativa de ruídos no terreno, devido à inexistência de maiores problemas acústicos no local.

4.2.3. Análise da insolação no terreno

O terreno tem o formato quase quadrangular e as faces estão voltadas quase ortogonalmente aos eixos cardeais principais. O entorno edificado não produz sombras no terreno, ou seja, não se comporta como obstáculo à insolação na escola. Portanto, apresenta um percurso do sol fácil de interpretar, apenas com o uso da carta solar de latitude correspondente.

No entanto, o terreno apresenta um desnível considerável (de aproximadamente 15m) que gera sombra nos platôs. Portanto, a insolação que incidirá sobre a escola deverá ser cuidadosamente trabalhada, através da implantação criteriosa dos edifícios e dos artificios arquitetônicos para sombreamento das superfícies.

Para auxiliar na decisão de implantação dos edifícios no terreno, foi necessária também uma análise da distribuição da radiação solar incidente nas diversas orientações, no mês mais frio e no mês mais quente.

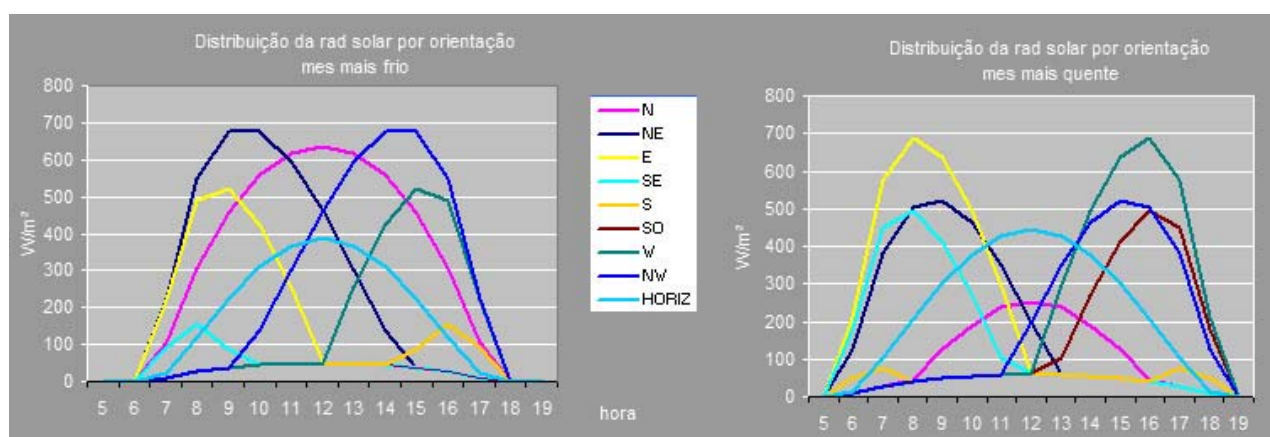


Figura 60 - Radiação solar por orientação para São Paulo. Fonte (dados climáticos): Normais climatológicas 1961-90 do INMET (1992). Fonte (programa computacional): *Climaticus*

Como visto acima, a radiação incidente nas fachadas com orientação leste, oeste, nordeste e noroeste são sempre muito expressivas, tanto no mês mais frio quanto no mês mais quente. Já a fachada norte recebe uma radiação solar intensa apenas nos meses mais frios, onde os ângulos de incidência do sol são menores. Essa análise rápida já é capaz de fornecer dados importantes para decisões de projeto que busquem sombrear as envoltórias da construção nas épocas quentes, mas aquecer as mesmas com o sol nas épocas frias.

Em vista disso, e pensando-se nas estratégias passivas de condicionamento, indica-se voltar o edifício para o quadrante norte, a fim de aproveitar a radiação incidente no inverno para aquecimento das superfícies, e evitar a insolação das fachadas leste e oeste no verão.

No item “4.3.2. Insolação” será apresentado o estudo da insolação em alguns horários e épocas do ano para os blocos das salas de aula, e como a volumetria e dispositivos de sombreamento desses blocos se comportam em relação ao caminho do sol.

4.2.4. Análise do clima na região

Para análise do clima de São Paulo foi utilizado o programa *Analysis Bio*, onde foi feita a plotagem dos dados climáticos horários na carta bioclimática. No entanto, o arquivo climático utilizado não foi o arquivo TRY que o programa fornece, mas sim um arquivo climático montado por De Benedetto (2006).

A escolha por esse arquivo de dados climáticos deu-se pelos seguintes motivos:

- O arquivo TRY utilizado no *Analysis Bio* assume o ano de 1963 como de referência, a partir de dados climáticos de 1951 a 1970. Mesmo com a atualização da base com dados da Infraero da década de 1990, a radiação solar continuou sendo estimada através da relação com a nebulosidade do céu. Mesmo não sendo necessários dados de radiação solar para a plotagem e análise do clima na carta bioclimática, esses dados serão necessários posteriormente na avaliação do desempenho térmico do edifício. Seria conveniente, portanto, a utilização de uma mesma base de dados.
- Já o arquivo de clima de São Paulo montado por De Benedetto (2006) apresenta dados de radiação solar medidos, e não estimados, pela Plataforma micro-meteorológica do IAG, localizada na Cidade Universitária (46,73°W/ 23,56°S). Os demais dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de ponto de orvalho, velocidade e direção de vento e pressão atmosférica (dos anos de 2000 a 2005) foram obtidos com o Laboratório MASTER do IAG/USP¹¹⁷. Essa proximidade do terreno de projeto com a estação meteorológica de medição foi um fator decisivo para a escolha, porque representa melhor as características locais.
- Apesar do banco de dados TRY englobar 30 anos de dados (cujo ano de referência de projeto é 1963), o arquivo montado por De Benedetto (2006) apresenta dados dos últimos 5 anos (cujo ano de referência de projeto é 2003), caracterizando assim um clima mais atual.

¹¹⁷ Dados sinóticos de aeroportos da América do Sul/ METAR

Após a escolha pelo banco de clima foi necessária uma conversão de arquivos, porque o arquivo de De Benedetto (2006) encontrava-se em formato de células do Excel (extensão XLS). Foi utilizado o programa computacional *Psychros*¹¹⁸ para converter esse arquivo *.XLS em *.TRY, e assim substituir o antigo TRY que o *Analysis Bio* utilizava.

Enfim, a carta bioclimática do *Analysis Bio* plotou os dados climáticos horários desejados para que fosse possível a visualização da distribuição da temperatura e umidade ao longo do ano de referência de projeto.

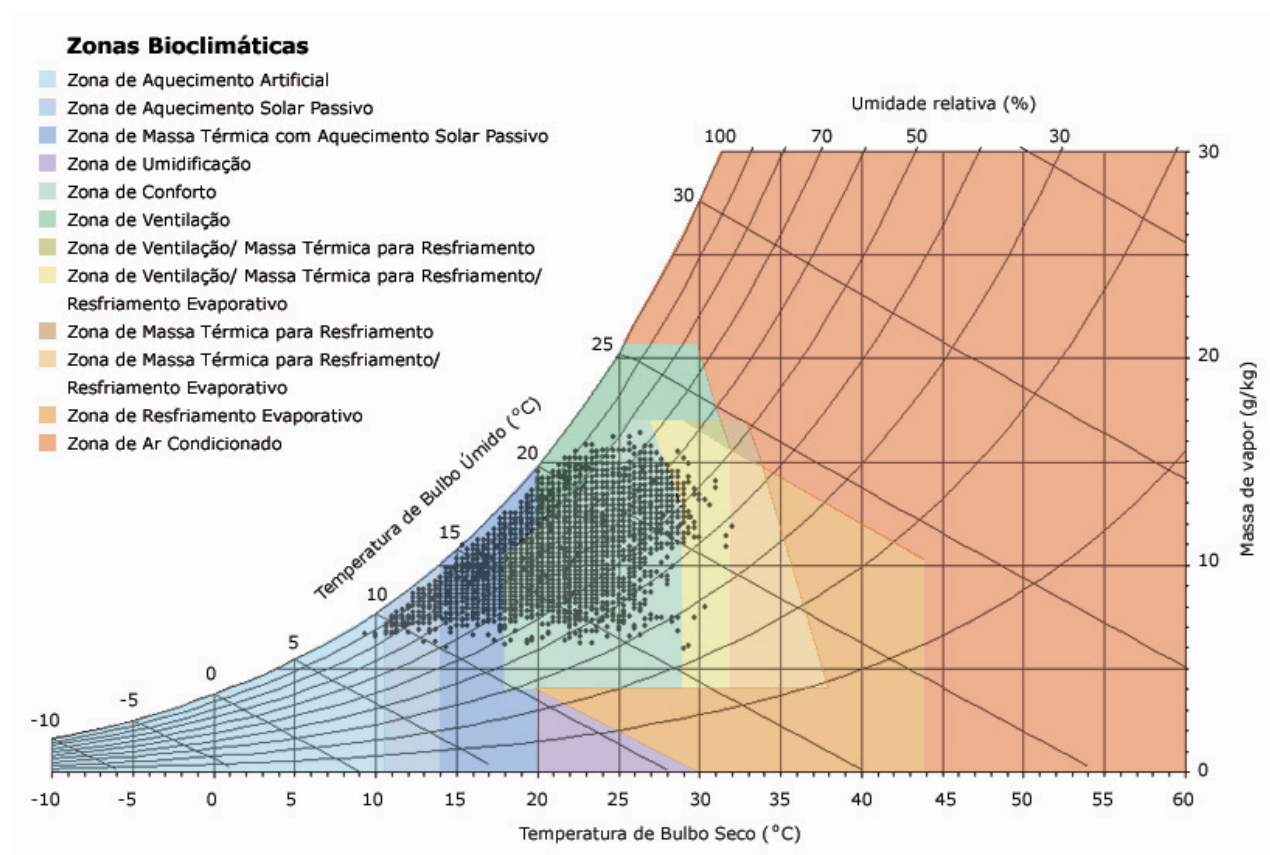


Figura 61 - Dados climáticos horários de São Paulo plotados em Carta Psicrométrica com zonas bioclimáticas. Fonte (dados climáticos): DE BENEDETTO (2006). Fonte (programa computacional para plotagem dos dados): *Analysis Bio*. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

¹¹⁸ *Psychros* - permite o cálculo de Umidade Relativa (%) ou Temperatura de Bulbo Úmido (TBU), gerando um arquivo horário no formato TRY com esses dados, para um ano inteiro (8760 registros, um para cada hora do ano), tomando como base um arquivo com campos separados por espaços. Tomando como base um arquivo no formato TRY, há ainda a opção para a geração de um arquivo com propriedades psicrométricas do ar. Utiliza rotinas da ASHRAE (1993). Foi desenvolvido por MENDES, Nathan em 1997. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/software/software.html>>

Nota-se uma distribuição concentrada das temperaturas e umidades na carta bioclimática, podendo-se dizer que o clima da cidade analisada não apresenta características extremas. Grande parte dos dados climáticos está localizada na zona de conforto, o que significa que quando submetidos a essas condições climáticas, já estamos em conforto térmico. A arquitetura não deve, portanto, piorar essa situação de conforto oferecida quando estamos ao ar livre e na sombra.

Outra parte dos dados encontra-se sobre as cores azuladas (situações climáticas mais frias), que recomendam aquecimento (solar passivo e/ou massa térmica). Ventilação e resfriamento evaporativo também são recomendados para os dados localizados sobre as área amarela (situações climáticas mais quentes).

Porém, para uma análise mais detalhada de quais estratégias de projeto são recomendadas ao longo do ano, foram plotados dados separados por estação climática, como visto a seguir:

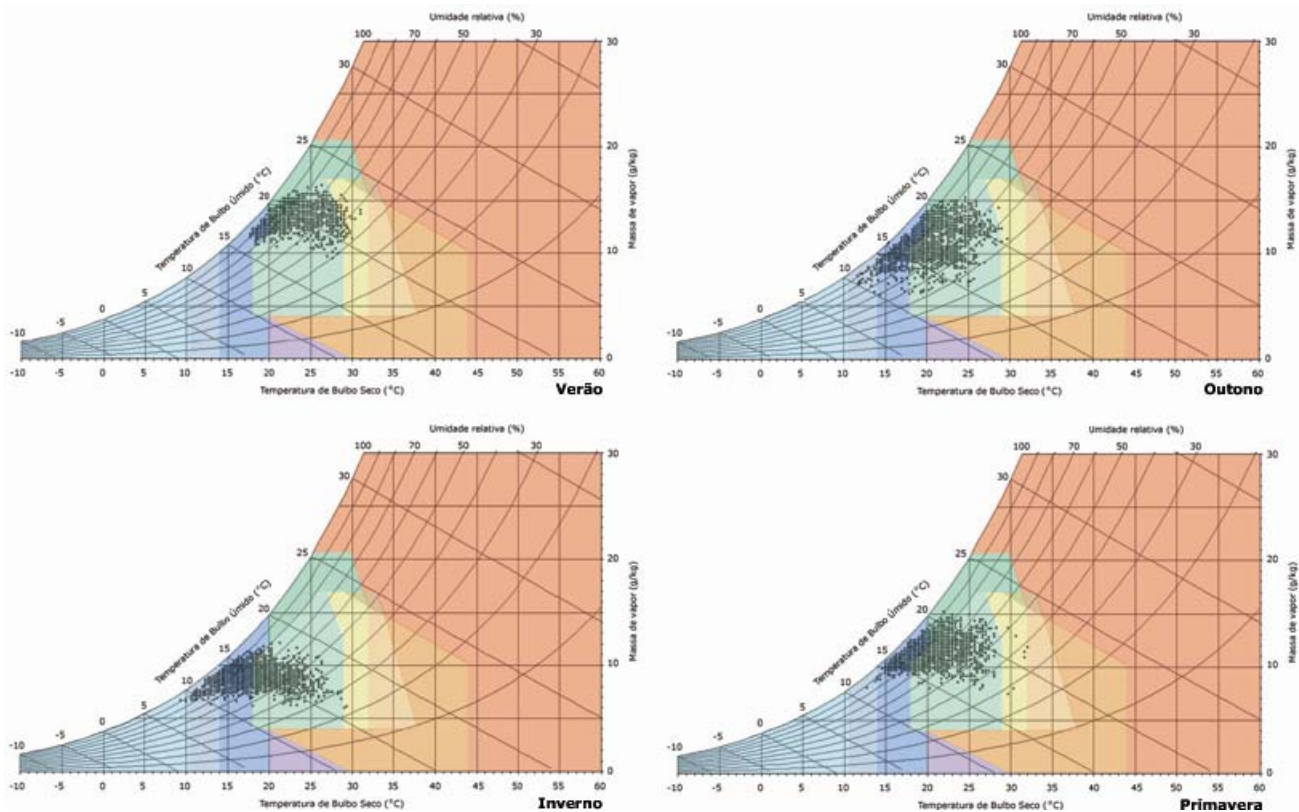


Figura 62 - Dados climáticos horários de São Paulo (solstícios e equinócios) plotados em Carta Psicrométrica com zonas bioclimáticas. Fonte (dados climáticos): DE BENEDETTO (2006). Fonte (programa computacional para plotagem dos dados): *Analysis Bio*. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

O programa *Analysis Bio* gera relatórios com: as informações percentuais para quantas horas do ano são recomendadas cada estratégia de projeto, as amplitudes térmicas mensais, em que dia ocorreram, entre outras.

Em vista disso, fez-se um quadro resumo do diagnóstico climático e suas conseqüentes estratégias de projeto recomendadas, para facilitar a análise e ajudar a sintetizar as informações. Com essa síntese, a consulta às informações é mais prática, ajudando as decisões de projeto a serem mais rápidas e claras. No item “4.3. Estratégias de projeto e Partido arquitetônico” será mostrado como o quadro resumo abaixo foi efetivamente utilizado e transformado em projeto.

Tabela 9 - Quadro resumo do diagnóstico climático e estratégias de projeto resultantes para São Paulo

	Ano todo	Verão	Outono	Inverno	Primavera
	01/01 a 31/12	22/12 a 22/03	23/03 a 22/06	23/06 a 22/09	23/09 a 21/12
Dias do ano	365	91	91	91	91
Total de Horas	8760	2182	2208	2208	2160
Porcentagem de Horas em Conforto	45,60%	46,10%	49,80%	40,20%	46,60%
Porcentagem de Horas em Desconforto	54,40%	53,90%	50,20%	59,80%	53,40%
Estratégias de Projeto					
Sombreamento	53,30%	88,80%	51,20%	24,80%	48,60%
Aquecimento Artificial	0,05%	0,00%	0,00%	0,18%	0,00%
Aquecimento Solar Passivo	2,85%	0,00%	1,18%	10,10%	0,09%
Massa Térmica com Aquecimento Solar Passivo	35,40%	11,11%	37,10%	49,50%	43,80%
Umidificação	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ventilação	15,30%	40,10%	11,80%	0,00%	9,17%
Ventilação/ Massa Térmica para Resfriamento	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ventilação/ Massa Térmica para Resfriamento/ Resfriamento Evaporativo	0,82%	2,80%	0,14%	0,00%	0,32%
Massa Térmica para Resfriamento	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Massa Térmica para Resfriamento/ Resfriamento Evaporativo	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%
Resfriamento Evaporativo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ar Condicionado	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte (dados climáticos): DE BENEDETTO (2006). Fonte (programa computacional para análise dos dados): *Analysis Bio*. Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

Pode-se dizer que, uma edificação adequada ao clima de São Paulo deve apresentar soluções arquitetônicas que têm a função de:

- Sombreamento das superfícies;
- Ventilação dos ambientes;
- Massa térmica com aquecimento solar passivo;

4.2.5. Análise dos ventos na região

Juntamente com os dados de insolação, ruído e clima explorados acima, os ventos também foram considerados no lançamento do projeto, principalmente para a implantação do conjunto.

Os dados de vento para São Paulo (frequência de ocorrência e velocidades) utilizados nesse trabalho também fazem parte do arquivo de clima montado por De Benedetto (2006). São dados de 2003 a 2005 e foram obtidos do Laboratório MASTER do IAG/USP (METAR).

A direção predominante foi obtida pela média das direções de mesmo quadrante, ou das mais próximas entre si, a uma distância máxima de 90°. A média das velocidades relativas a tais direções gerou os dados horários de velocidade do vento para o banco de clima (DE BENEDETTO, 2006). Os valores podem ser observados na rosa dos ventos abaixo:

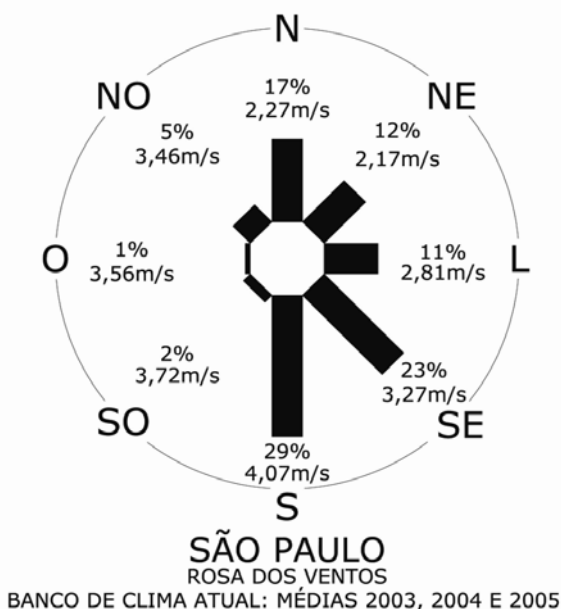


Figura 63 - Frequência de ocorrência da direção e velocidade do vento ao longo do ano de referência. Fonte: De Benedetto (2006)

Com as informações acima, pode-se previamente concluir que as direções predominantes do vento favorecem a implantação do edifício no sentido norte-sul para uma eficaz ventilação cruzada, posição essa também favorável do ponto-de-vista da insolação do edifício.

Portanto, o projeto proposto adiante se preocupou com o sistema de aberturas e os mecanismos de operação das mesmas, para que o vento fosse utilizado corretamente durante o ano, buscando atender as exigências humanas de conforto e de salubridade dos ambientes.

4.3. Estratégias de projeto e Partido arquitetônico

O processo de criação foi naturalmente se desenvolvendo com a alimentação constante de dados e com as análises anteriormente apresentadas. As decisões de projeto foram embasadas nessas análises, e por isso têm um motivo de ser. Buscou-se aliar essas decisões aos aspectos estéticos e formais de projeto, e também aos aspectos tecnológicos e construtivos da obra.

Portanto, com base no diagnóstico climático, na análise dos ventos, na insolação, no ruído da região, no programa arquitetônico, nas características do terreno e entorno, na tecnologia construtiva adotada pela FDE, e na viabilidade construtiva da obra, apresentam-se a seguir as estratégias de projeto e o partido arquitetônico.

4.3.1. Implantação

O projeto da escola buscou romper barreiras físicas e estabelecer a troca entre interior e exterior, através de espaços abertos e fluidos. Como a escola é um bem público e se abre à comunidade aos fins de semana, a aproximação dos usuários com os espaços externos da escola foi a maneira encontrada de suprir a falta de praças, ruas arborizadas e espaços de descanso e lazer na vizinhança.

O partido arquitetônico buscou respeitar o terreno original para que o impacto ambiental provocado pela construção fosse minimizado. Para isso, os desníveis do terreno, os taludes e os platôs existentes foram aproveitados como itens de projeto, pois se fez o mínimo de alterações na topografia.

A escola buscou ser o mais acessível possível a todos os usuários, inclusive àqueles com alguma dificuldade de locomoção. Para isso, fez-se o uso de rampas (8% de inclinação) por todo o terreno. Ainda, para minimizar os esforços de subida e descida, o acesso de pedestres acontece pela cota média do terreno. Além do acesso de pedestres pela cota média da Rua Baltazar Rabelo, foram previstos outros acessos como o de carga e descarga de materiais, e o do estacionamento. A escola foi implantada de tal maneira que, se houver necessidade de expansão do programa, há a possibilidade de construção junto à quadra coberta, com outros dois acessos pela rua Pangaré.

Para uma implantação eficaz do ponto de vista do conforto ambiental, foram estabelecidos os seguintes critérios para ocupação do terreno:

- **Vento:** As atividades foram alocadas de modo que o vento “limpo” e fresco passasse primeiramente pelas salas de aula e posteriormente pelas áreas que geram odores (sanitários e cozinhas). Também que o vento passasse primeiramente pelas salas de aula e posteriormente pelas áreas ruidosas (recreio, esportes e refeitório). Além disso, procurou-se privilegiar a implantação dos edifícios com essas atividades para orientações perpendiculares ao fluxo predominante do vento.

- Insolação: Os edifícios da escola foram alocados de modo a aproveitar a insolação para aquecer as superfícies no inverno, sem esquecer de sombrear as mesmas em épocas quentes. Portanto, os edifícios foram implantados no terreno com o cuidado para não produzirem sombras indesejáveis sobre os demais.
- Ruído: As atividades da escola foram distribuídas pelo terreno de modo a privilegiar aquelas com maior demanda por silêncio. Assim, atividades de serviço, esportes e recreação poderiam estar mais expostas ao ruído de tráfego da Rua São Remo, por exemplo. Além disso, as atividades foram setorizadas por tipo de ruído produzido por elas, porque muitas vezes, as atividades se desenvolvem concomitantemente, como educação física e aula, por exemplo.
- Qualidade dos espaços abertos: Os edifícios da escola foram alocados de modo que respeitassem as características originais do terreno e promovessem espaços externos agradáveis para a realização de diversas atividades, como as de recreação, de ensino-aprendizagem e até de descanso. Para isso, os espaços deveriam oferecer microclimas diversos, com o uso da vegetação, sombra, sol, pisos, mobiliário, entre outros.
- Escoamento das águas pluviais: Manteve-se o terreno o mais permeável possível, como por exemplo: arquibancadas naturais assentadas na grama, aproveitando os próprios taludes do terreno, e a quadra de esportes aberta com piso de grama ou saibro.

Seguindo os critérios de implantação apontados acima, foram tomadas algumas decisões de projeto que definem o partido e setorização das atividades:

- Os blocos das salas de aula foram implantados no sentido norte-sul, buscando a otimização da insolação e da ventilação cruzada. Ambas as estratégias serão apresentadas adiante.
- As atividades de serviço (sanitários, cozinha, refeitório, depósitos) foram implantados no sentido leste-oeste, ortogonais aos edifícios de salas de aula, racionalizando a montagem estrutural e a construção desses edifícios. A localização dessas atividades buscou facilitar a carga e descarga de materiais e alimentos, concentrando os acessos, e conseqüentemente o controle junto à administração. A proteção solar e a ventilação foram devidamente resolvidas com: cobertura tipo *shed* na cozinha voltado para oeste (zona de menor pressão do vento); elementos vazados na circulação dos depósitos; esquadrias basculantes; portas e marquise na varanda do refeitório.
- A cobertura modulada que liga os edifícios é uma grande pérgola com plantas trepadeiras que sombreiam o percurso, com vidro aramado em alguns locais que protegem as pessoas da chuva, e com ripas de madeira ou metal que sombreiam e permitem a circulação do ar.
- O edifício administrativo, implantado no sentido sudoeste-nordeste (rotacionado 45° da incidência perpendicular do vento dominante), foi afastado dos demais edifícios para garantir

que não houvesse áreas de sombras de insolação e de ventilação. Essa localização garantiu um melhor controle do acesso do público à escola e da carga e descarga dos materiais.

- A quadra coberta foi assentada no platô superior (na cota mais elevada e já nivelada), para não atrapalhar as demais atividades com o ruído provocado pelas atividades ali desenvolvidas. A quadra descoberta foi assentada na cota mais baixa, que também já está nivelada. Esta quadra, por ser aberta, foi orientada no sentido norte-sul, onde o percurso do sol não prejudica as atividades de nenhum time.

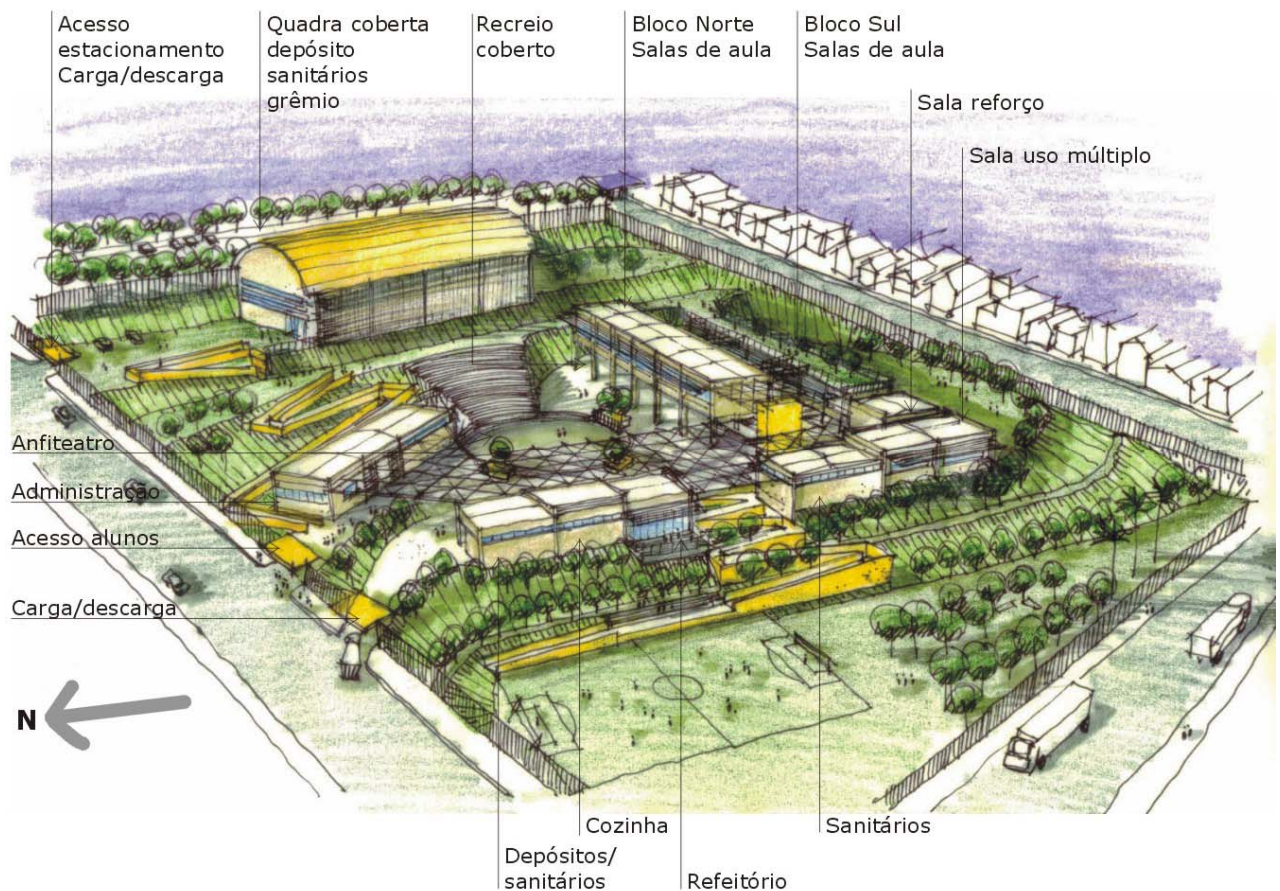


Figura 64 - Implantação geral da escola FDE no terreno junto ao HU/USP no Butantã, São Paulo



Figura 65 - Acesso à escola

4.3.2. Insolação

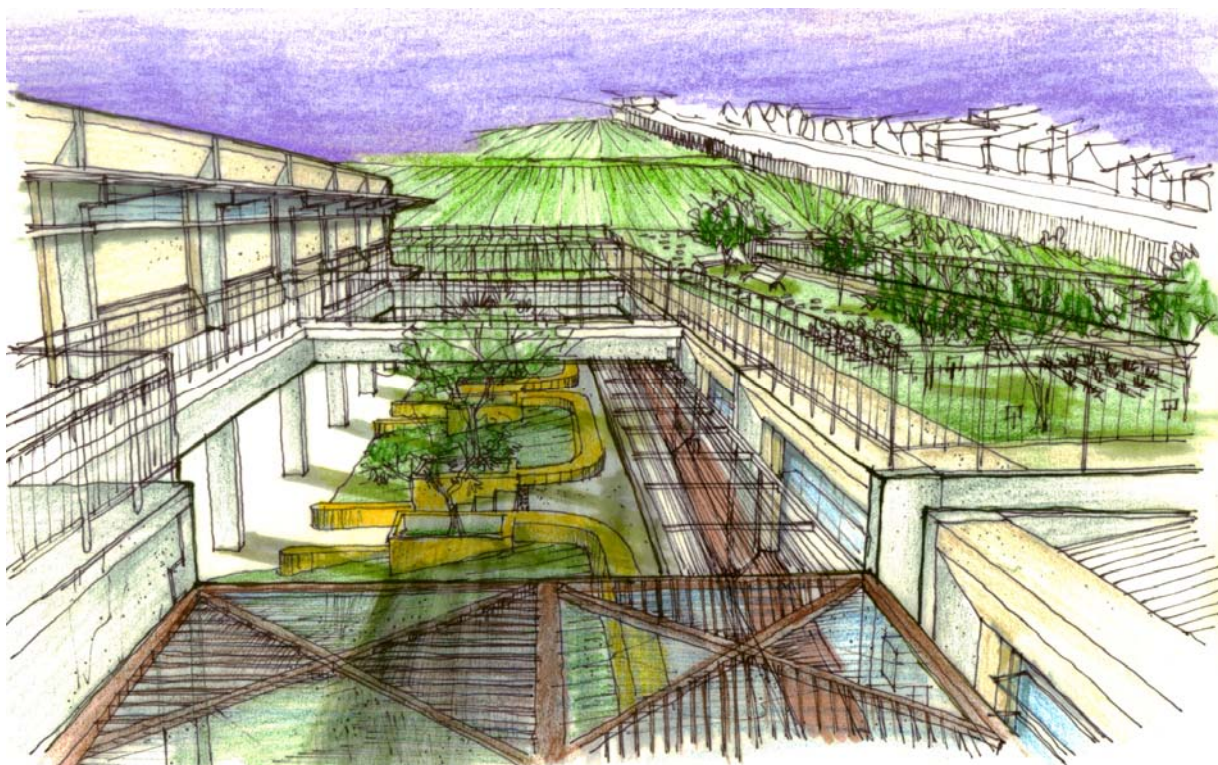


Figura 66 - Blocos de sala de aula

Como nas estações quentes não se quer a elevação da temperatura interna dos ambientes, foi proposto um sombreamento generoso das superfícies para que não houvesse o ganho de calor por radiação. Além disso, fez-se uso de cores claras para a maioria das superfícies, exceto aquelas que foram usadas como fontes de aquecimento solar passivo.

Como nas estações frias é demandado o aquecimento solar passivo da massa construída para elevação da temperatura interna dos ambientes, foi proposto um reduzido sombreamento das superfícies nessa época para que a radiação solar direta incidisse sobre as mesmas. Para incrementar a estratégia de aquecimento, algumas superfícies que estão expostas à radiação norte receberam uma cor mediana de acabamento, pois o índice de absorção da radiação é maior que o da cor clara. É válido lembrar que nessa orientação não se tem a radiação solar direta de verão.

Portanto, para o cumprimento desses critérios, a incidência solar direta sobre as superfícies foi evitada ou utilizada, conforme a necessidade de sombreamento da construção ou de aquecimento solar passivo das superfícies.

Esforços foram então concentrados em relação à distribuição espacial e temporal da radiação solar incidente nos edifícios da escola. Foram realizados vários estudos de geometria da insolação, desde cortes do conjunto com alguns ângulos de incidência solar, feitos no *AutoCad*, até estudos da trajetória solar horária nos programas *Ecotect* e *Sketch Up*.

Primeiramente foram desenhados cortes do conjunto de blocos de sala de aula com a representação de alguns ângulos de incidência solar. Nesse momento já foram propostos alguns dispositivos de sombreamento dos edifícios para que fosse testada sua eficácia.

Procurou-se estudar primeiramente o sol das 12h durante o ano, porém, o ângulo formado às 12h no solstício de verão não foi representado porque está perpendicular ao solo e não oferece maiores preocupações em relação à insolação das fachadas. Os ângulos menores de incidência solar procuraram ilustrar a situação da insolação das superfícies e do próprio ambiente em horários do começo da manhã e do final da tarde ao longo do ano.

- 35° na face sul: sol das 8h e 16h no solstício de verão ($h_v=69^\circ$, ângulo de altura solar rebatido para o plano de corte);
- 43° na face norte: sol das 12h no solstício de inverno;
- 65° na face norte: sol das 12h nos equinócios

A incidência solar em ângulos mais inclinados é típica do solstício de inverno, o que mereceu significativa atenção dos estudos, pois a insolação direta nessa época é desejada para que as superfícies sejam aquecidas. No entanto, esses ângulos não poderiam figurar situações de sol direto nas carteiras de trabalho ou no quadro negro, para não causar ofuscamento.

A face sul só recebe a insolação direta nas superfícies nos meses de verão, durante o começo da manhã e o final da tarde. Mesmo assim, não há a entrada da luz direta nas esquadrias das salas de aula.

A prateleira de luz bloqueia a entrada da luz direta e redireciona os raios solares para o teto. O resultado é uma luz natural difusa e de qualidade, que traz conforto luminoso para a sala de aula.

Percebe-se a incidência solar direta nas superfícies opacas durante o inverno, onde o ângulo de incidência solar é menor. Com isso, há o aquecimento passivo das superfícies.

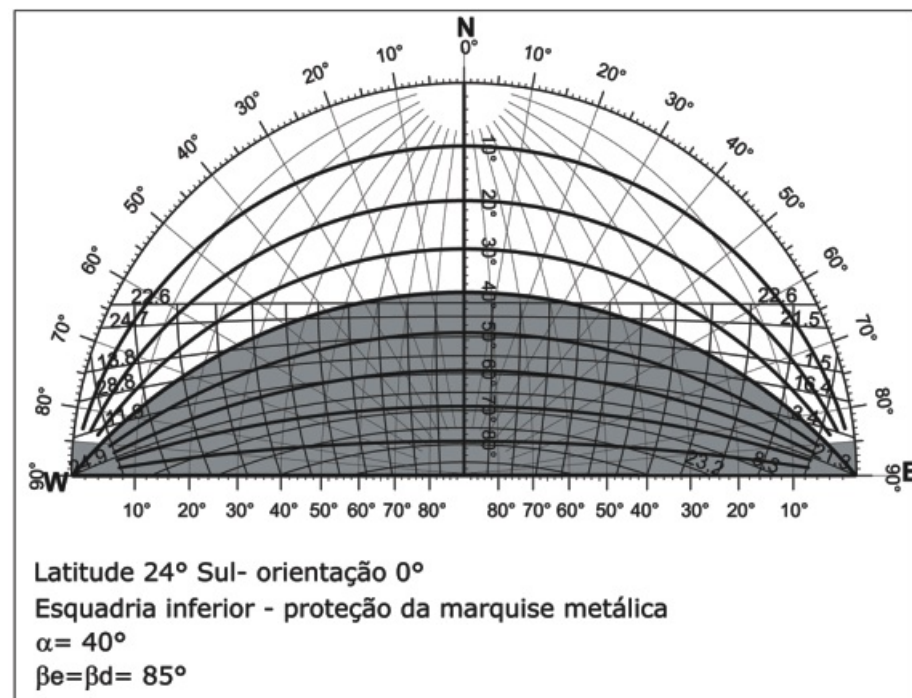


Figura 67 - Carta solar de São Paulo com máscara de sombreamento da marquise metálica na esquadria inferior da fachada norte

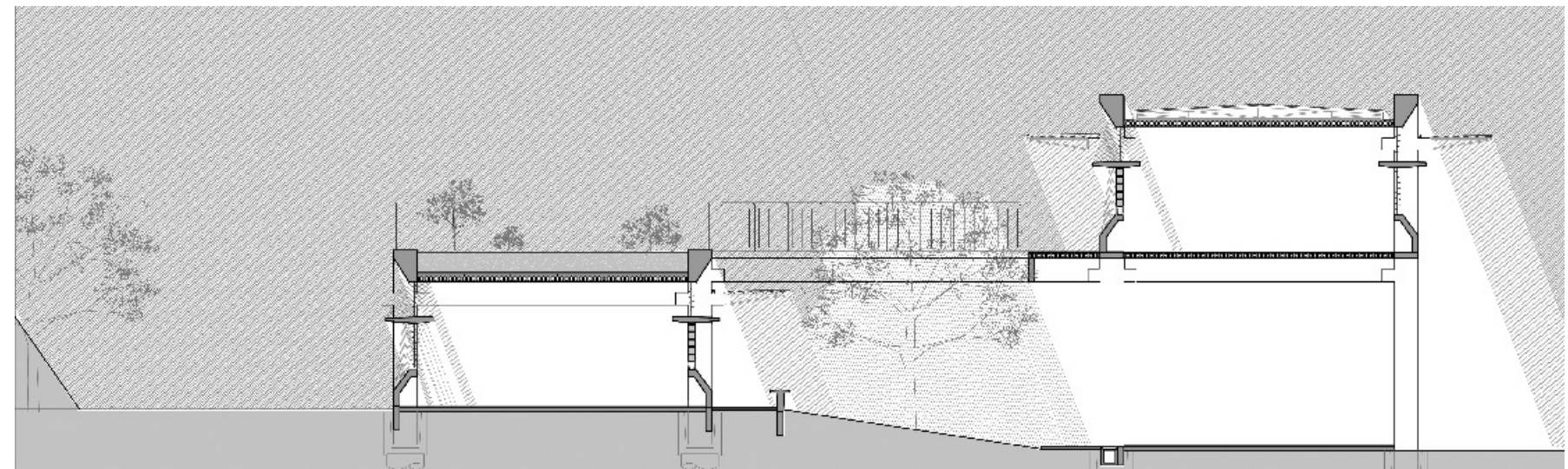


Figura 68 - Ângulo de insolação $h=35^\circ$ na face sul (sol das 8h e 16h no solstício de verão), sendo que $h_v=69^\circ$ (ângulo de altura solar abatido para o plano de corte)

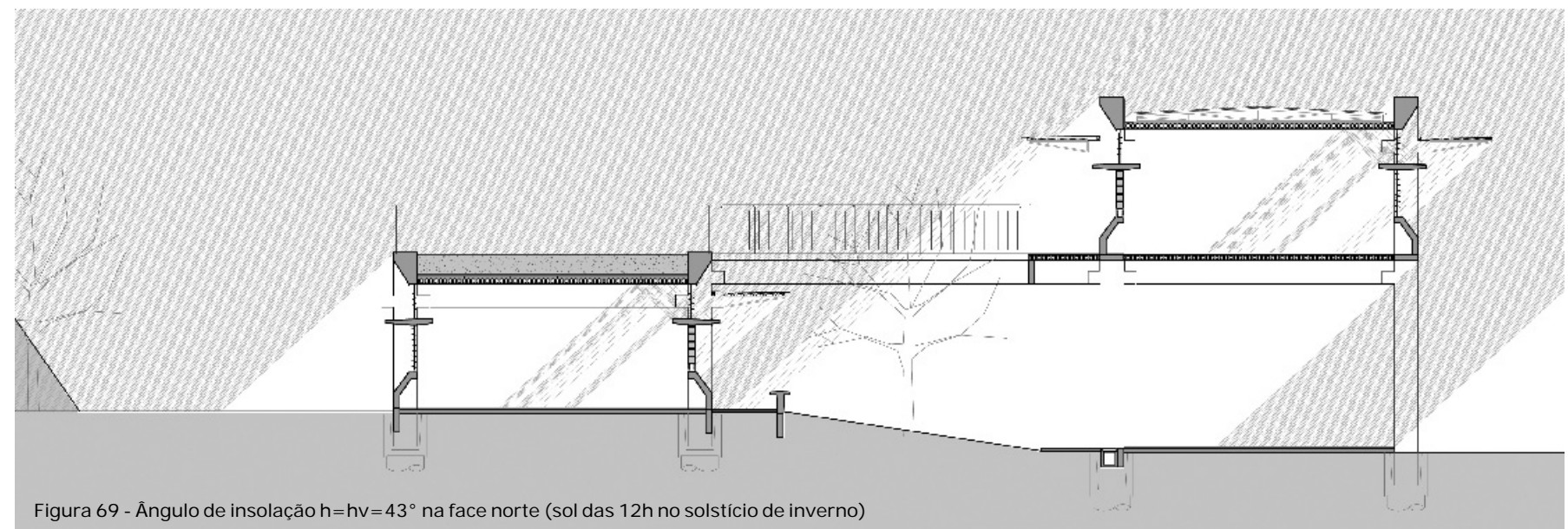


Figura 69 - Ângulo de insolação $h=h_v=43^\circ$ na face norte (sol das 12h no solstício de inverno)

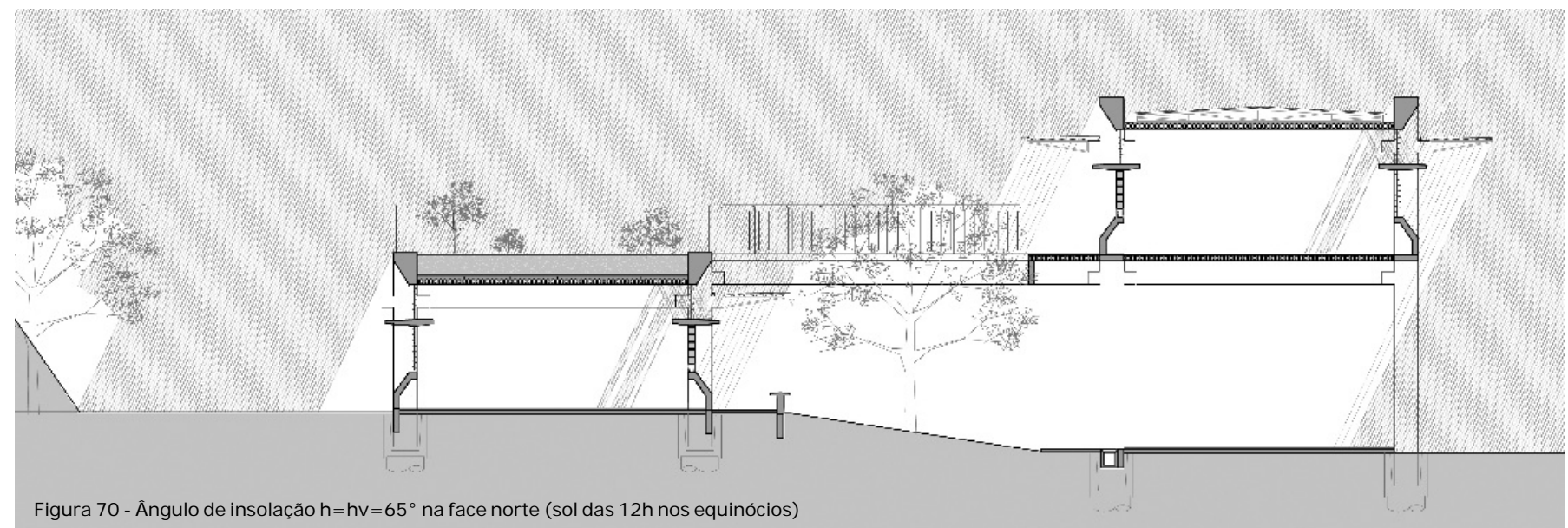


Figura 70 - Ângulo de insolação $h=h_v=65^\circ$ na face norte (sol das 12h nos equinócios)

Pode-se perceber que o bloco elevado (Bloco Norte) apresenta-se como elemento sombreador das salas do Bloco Sul. O sombreamento é complementado por uma marquise de réguas metálicas inclinadas que permitem a passagem filtrada da luz. Por serem de cor clara, atuam também como rebatedoras da luz. Essa marquise também serve como elemento protetor do corredor de acesso às salas de aula, onde a proteção contra a chuva é feita por um vidro aramado colocado acima das réguas metálicas.

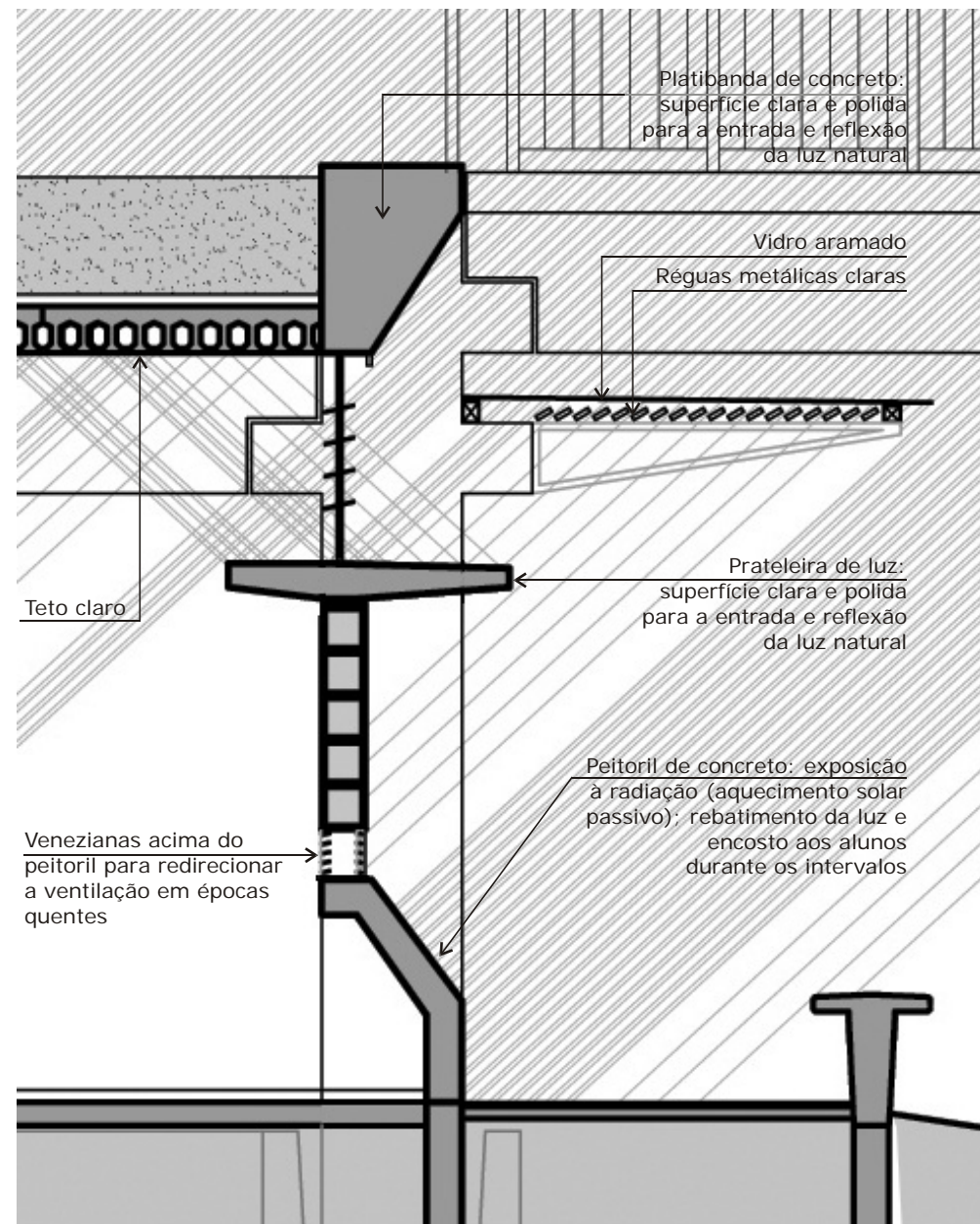


Figura 71 - Marquise com réguas metálicas inclinadas: sombreamento e proteção do corredor

As réguas poderiam ser móveis, para que fossem reguláveis de acordo com a estação do ano. No entanto, por motivo de custo e manutenção (trata-se de um edifício público), optou-se por uma angulação ótima que permitisse alguma incidência solar nas superfícies durante o inverno (estratégia de massa térmica com aquecimento solar passivo), mas que as sombresse efetivamente no verão.

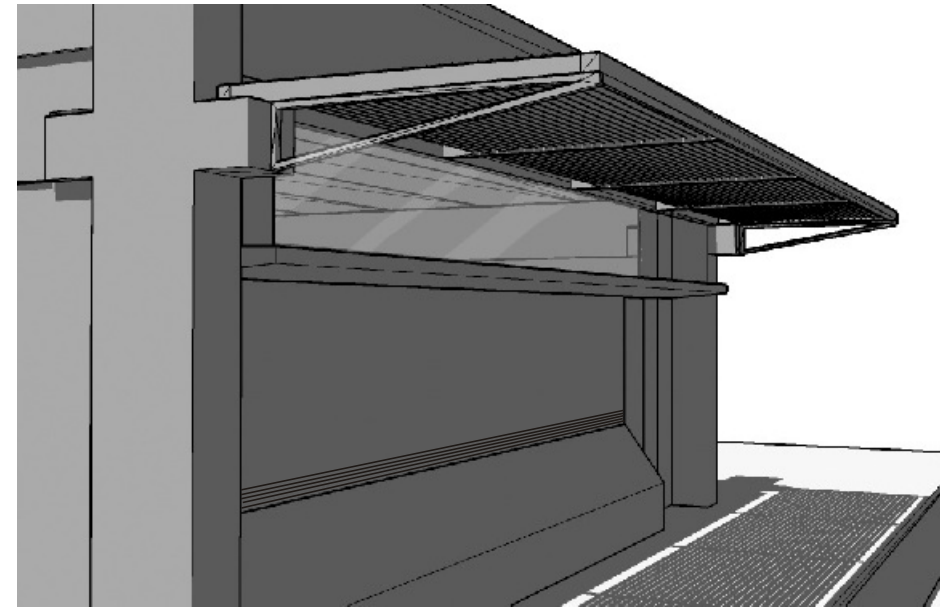


Figura 72 - Fachada norte (bloco térreo): proteção solar da marquise metálica às 10h no verão

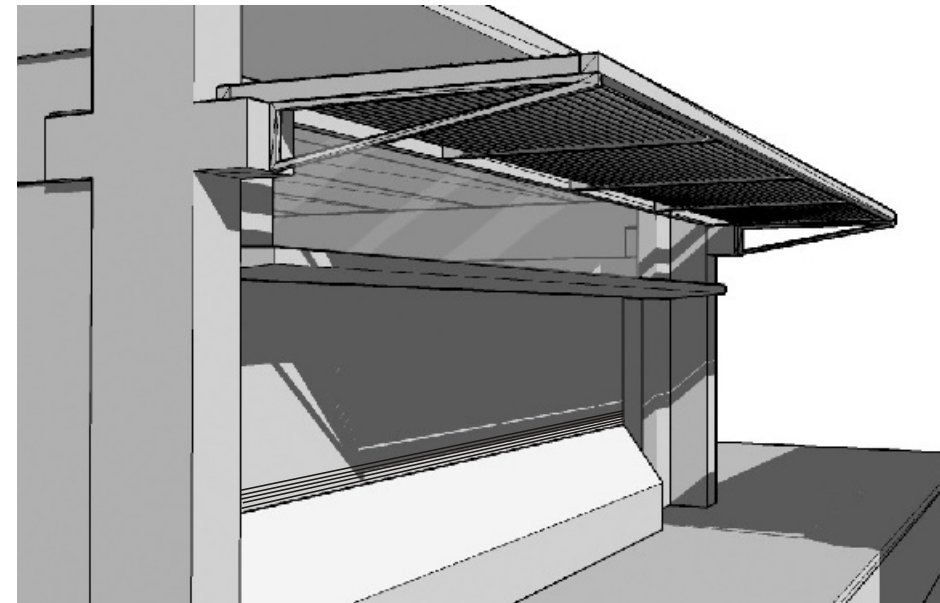


Figura 73 - Fachada norte (bloco térreo): incidência da radiação solar direta no peitoril às 10h no inverno (aquecimento solar passivo)

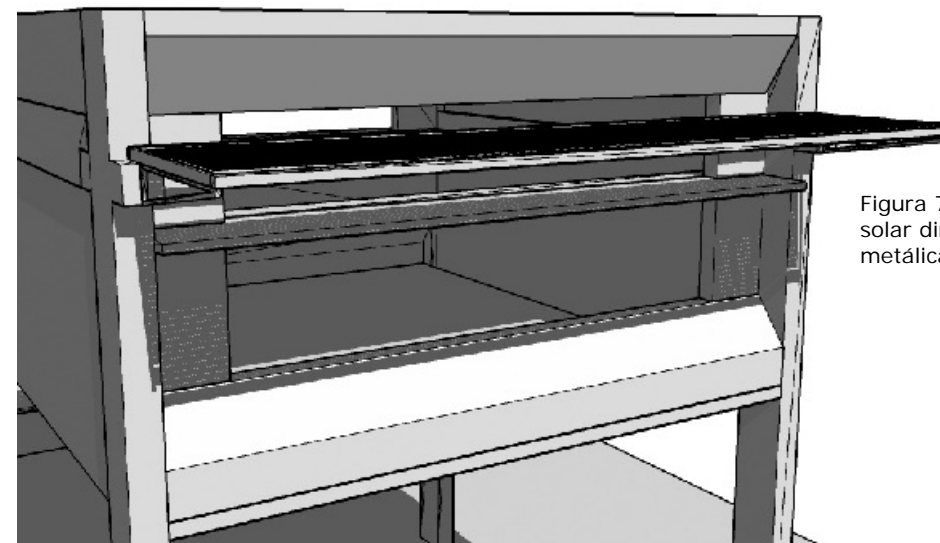


Figura 74 - Fachada norte (bloco elevado): radiação solar direta no peitoril e radiação filtrada pela marquise metálica na esquadria inferior às 10h no inverno

Complementando o estudo dos cortes foi utilizado o programa computacional Sketch Up para um estudo da insolação hora a hora apenas para uma sala de aula de cada bloco. Essa ferramenta permitiu uma análise mais rápida e dinâmica da influência das sombras projetadas sobre o outro bloco, e da efetividade dos dispositivos de sombreamento (marquises com régua metálicas horizontais e prateleira de luz).

Com o programa *Ecotect* foi realizado o estudo da insolação para o conjunto dos blocos de salas de aula, em alguns horários dos solstícios de inverno, verão e equinócios.

Os estudos completos com todos os horários encontram-se no Anexo B deste trabalho.

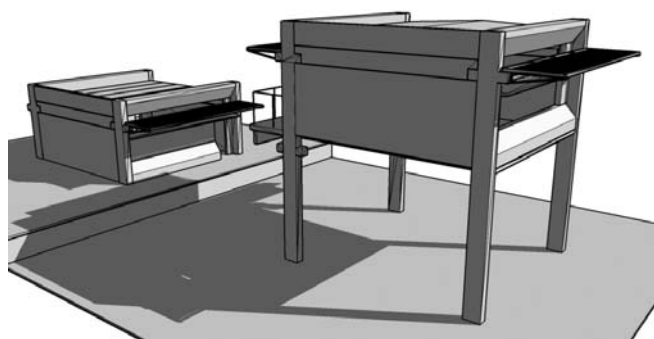


Figura 75 - Sol das 14h no inverno (*Sketch Up*)

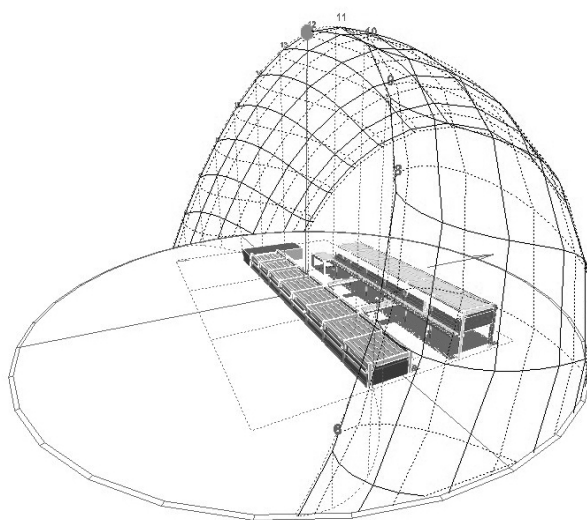


Figura 76 - Sol das 12h no verão (*Ecotect*)

Ainda no *Ecotect*, verificou-se que, em alguns horários onde o ângulo de incidência é menor, ainda havia a entrada da radiação solar pelas esquadrias superiores da fachada norte, como pode ser visto adiante.

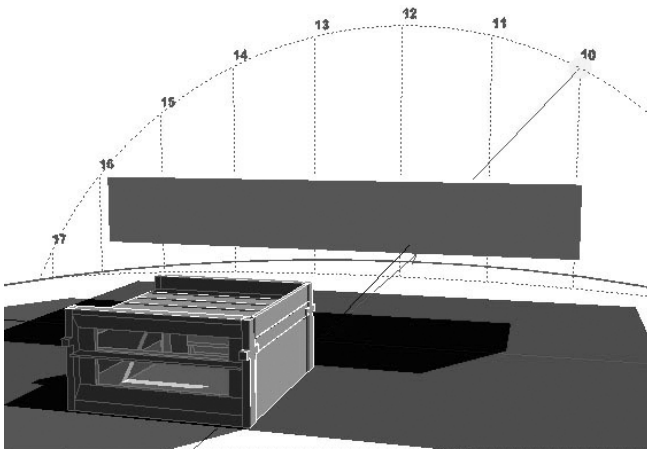


Figura 77 - Mancha de sol na sala às 10h no inverno (Ecotect)

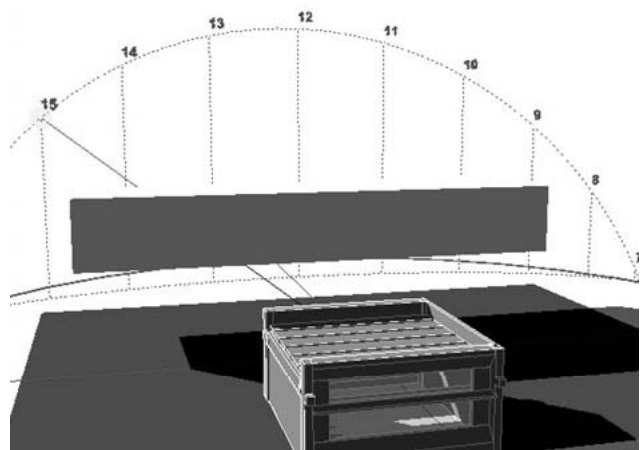


Figura 78 - Mancha de sol na sala às 15h no inverno (Ecotect)

Essa estreita faixa de sol que entra pela esquadria superior é mínima e ocorre somente em alguns horários de inverno. Essa mancha pode ser evitada pelo uso de uma persiana interna somente nesses horários. Outra opção seria o incremento da aba interna da prateleira de luz da face norte.

No decorrer do trabalho, foi utilizada a prateleira de luz original, cuja aba interna é menor, mas quando da simulação do desempenho luminoso da sala no inverno e equinócios, considerou-se a prateleira com aba interna estendida. Ambos os resultados são apresentados no Anexo B deste trabalho, para que fosse possível uma comparação em termos de níveis de iluminância.

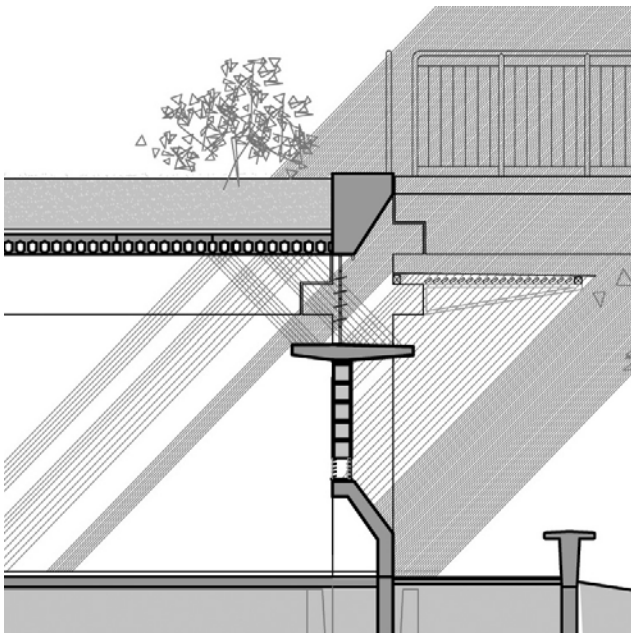


Figura 79 - Ângulo de incidência do sol às 8h no solstício de inverno ($h_v=46^\circ$) com a prateleira de luz original

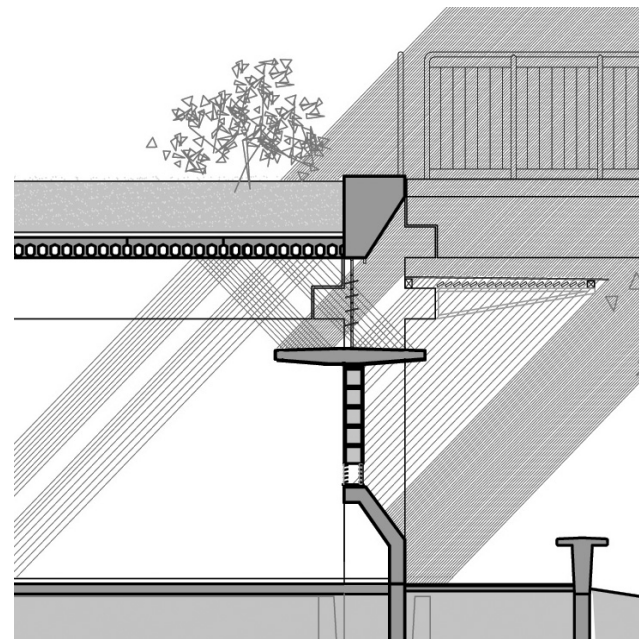


Figura 80 - Ângulo de incidência do sol às 8h no solstício de inverno ($h_v=46^\circ$) com a prateleira de luz estendida

4.3.3. Ventilação

A estratégia de ventilação dos ambientes foi fortemente sugerida durante boa parte do ano, após a análise dos dados climáticos da região (método de Givoni). Para isso, foi pensada não só a orientação dos edifícios em relação à incidência do vento predominante, mas também sua a profundidade (em sentido transversal), e permeabilidade, a fim de assegurar uma eficaz ventilação cruzada.

Para permitir a fluidez do vento pelo terreno, foram propostos blocos de salas de aula em níveis diferentes, e muros da divisa e guarda-corpos vazados.

As 12 salas de aula foram dispostas em 2 blocos (6 salas em cada) separados por um jardim central. Além disso, um dos blocos (Bloco Norte) foi elevado em relação ao outro (Bloco Sul), para que não tivesse sua ventilação prejudicada. Se os dois blocos, separados 10m um do outro, estivessem no mesmo nível, a ventilação cruzada das salas posteriores (em relação ao sentido predominante do vento) seria prejudicada, pois estaria em uma zona de baixa pressão. A elevação do bloco permitiu, portanto, não só a eficaz ventilação cruzada de ambos os blocos, mas também permitiu a criação do recreio coberto (item obrigatório do programa arquitetônico da FDE) sob os pilotis do bloco elevado. Com a elevação do Bloco Norte, também foi criado um acesso em nível ao teto jardim do Bloco Sul, como será explicado adiante.

Sendo as esquadrias basculantes, pode-se escolher a porcentagem de abertura das mesmas para favorecer o número de trocas de ar necessário para conforto na realização das atividades. Além disso, o posicionamento das aberturas foi pensado a fim de promover a ventilação vertical, ou seja, mesmo quando não há vento no exterior, o efeito chaminé é garantido.

Ventilação em épocas quentes

Foi utilizada a ventilação cruzada para retirada da carga térmica interna nessas épocas, através do correto posicionamento e dimensionamento das aberturas (de entrada e saída), e do correto manuseio em sua operação.

As aberturas foram posicionadas no sentido perpendicular ao vento predominante, para que a entrada do ar estivesse numa zona de alta pressão e a saída estivesse localizada numa zona de baixa pressão, ou seja, numa fachada protegida da incidência do vento.

Quando a ventilação ocorre somente no nível do usuário, o ambiente apresenta zonas de ar quente estagnadas próximas ao forro. Assim, faz-se necessário um fluxo de ar suplementar através de aberturas também junto ao forro com o objetivo de retirar esse ar quente. Portanto, as aberturas foram localizadas em alturas diferentes para promover a passagem do vento por todo o ambiente.

Propôs-se ainda um rasgo na alvenaria do corredor, logo acima do peitoril, para a colocação de uma veneziana móvel. Assim, o desenho do sistema de ventilação buscou direcionar o fluxo do ar, fazendo-o passar pelo usuário.

Foram utilizadas esquadrias basculantes também com o intuito de direcionar o fluxo de ar ao nível do usuário. Deve-se tomar cuidado para que esse não levante papéis na área de trabalho.

Ainda sobre as estratégias de projeto para épocas quentes foi promovida uma ventilação noturna para reduzir a temperatura interna do ambiente e para compensar o efeito do calor armazenado pelas superfícies durante o dia. Esse armazenamento do calor pelas superfícies se deve à utilização de massa térmica na construção, importante estratégia em épocas frias.

Existem diferentes cenários de ventilação nesse projeto porque ora os corredores das salas de aula estão voltados para norte, ora para sul (vento predominante). Com isso, foram montados esquemas de ventilação de conforto com os cálculos do fluxo do ar, como será visto a seguir.

Ventilação em épocas frias

Sabe-se que nas estações frias é necessária, no mínimo, uma ventilação higiênica, onde o volume de ar é renovado para que se mantenha a qualidade do ar interno e dos níveis de salubridade do ambiente. Para isso, as aberturas inferiores foram vedadas, abrindo-se somente as superiores. Assim, promove-se uma ventilação que não alcança o nível do usuário, e portanto, não produz desconforto ao mesmo.

Nos equinócios, as aberturas devem responder às duas solicitações (ventilação de conforto ou higiênica), conforme a situação térmica externa. Portanto, fica clara a necessidade de um bom sistema de aberturas, que seja facilmente operável, conforme as solicitações térmicas dos usuários.

Ventilação em épocas quentes

Vento Sul

velocidade média de 4,07m/s

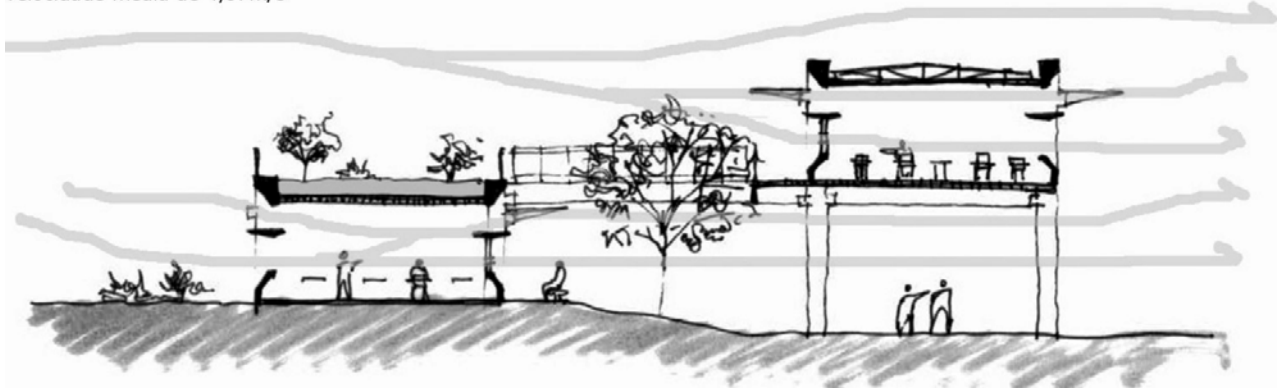


Figura 81 - Ventilação de conforto em épocas quentes com vento de direção sul

Vento Norte

velocidade média de 2,27m/s

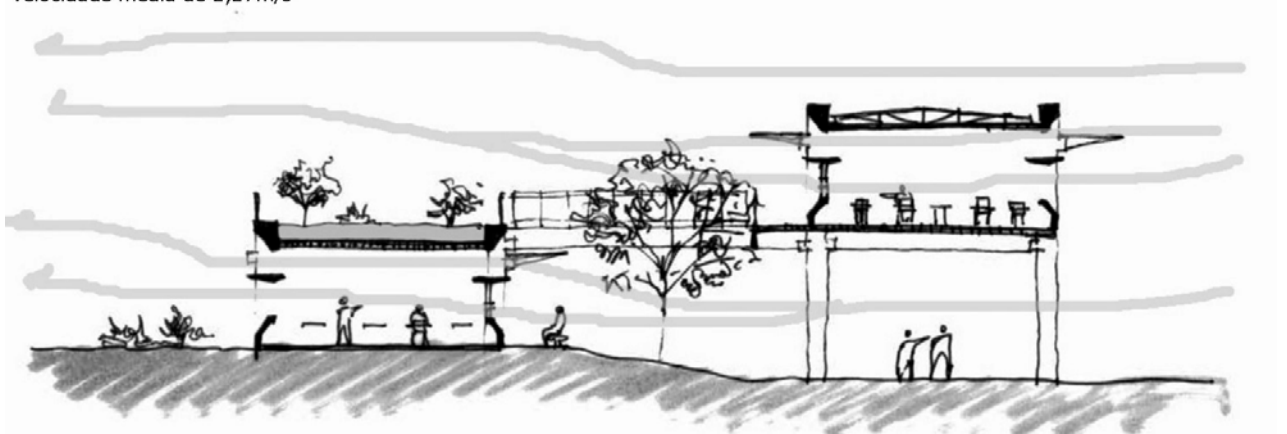


Figura 82 - Ventilação de conforto em épocas quentes com vento de direção norte

Ventilação em épocas frias

Vento Sul

velocidade média de 4,07m/s

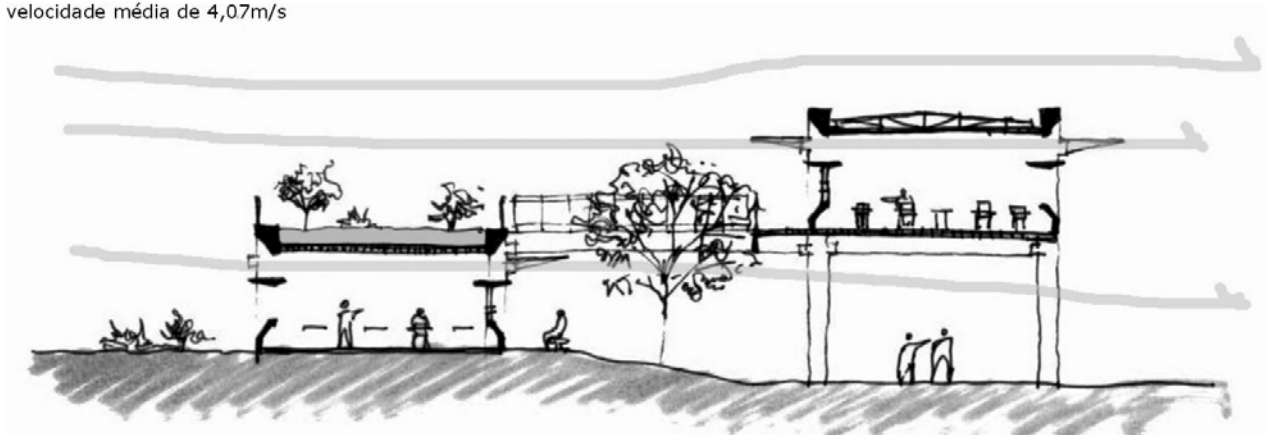


Figura 83 - Ventilação de conforto em épocas frias com vento de direção sul

Vento Norte

velocidade média de 2,27m/s

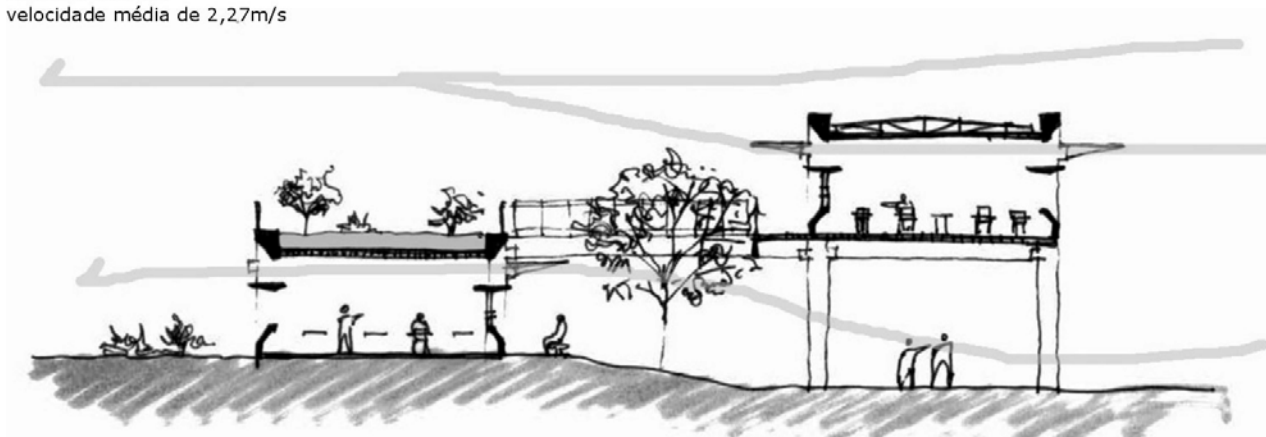


Figura 84 - Ventilação de conforto em épocas frias com vento de direção norte

SISTEMA DE ABERTURAS DA SALA DE AULA

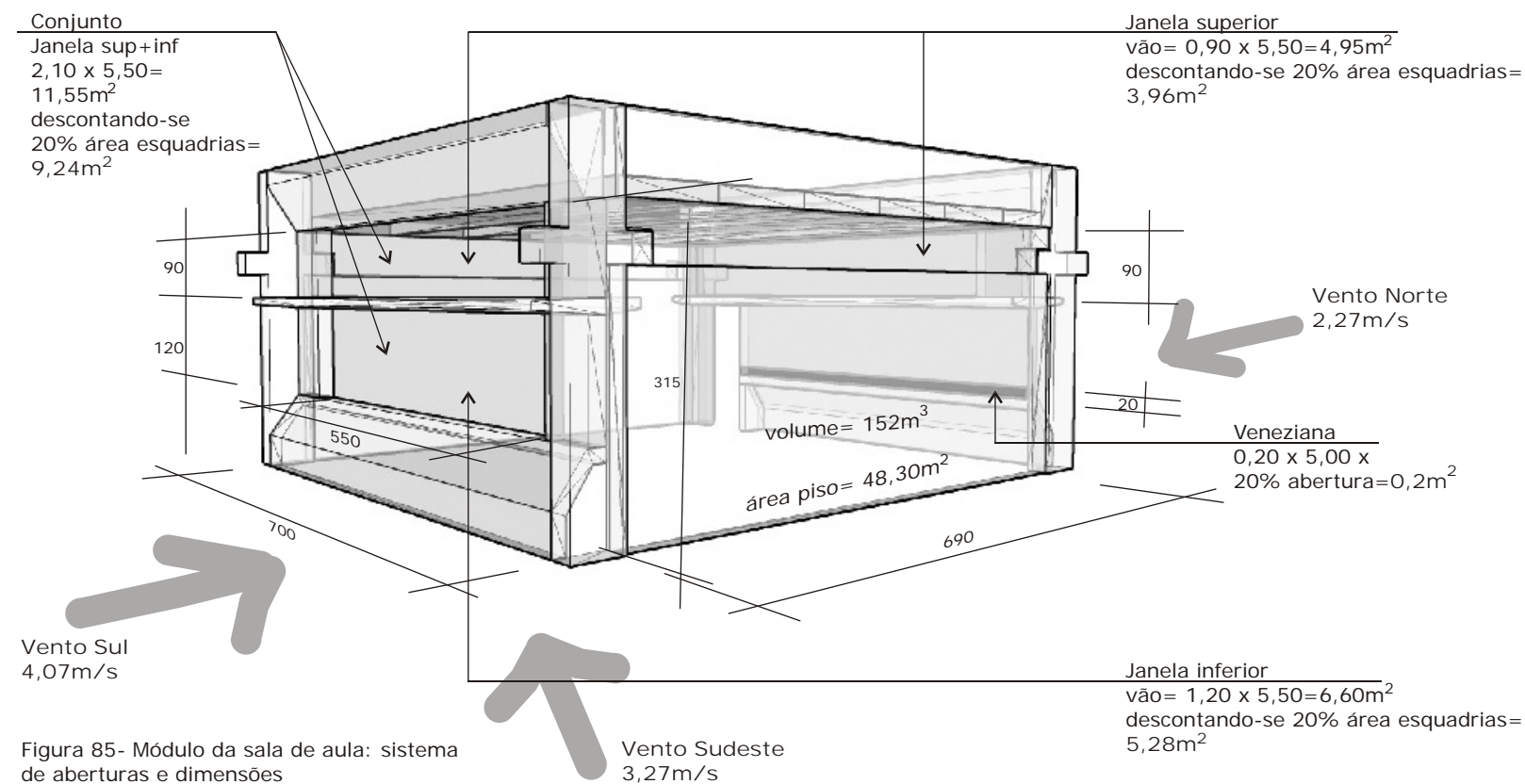


Figura 85- Módulo da sala de aula: sistema de aberturas e dimensões

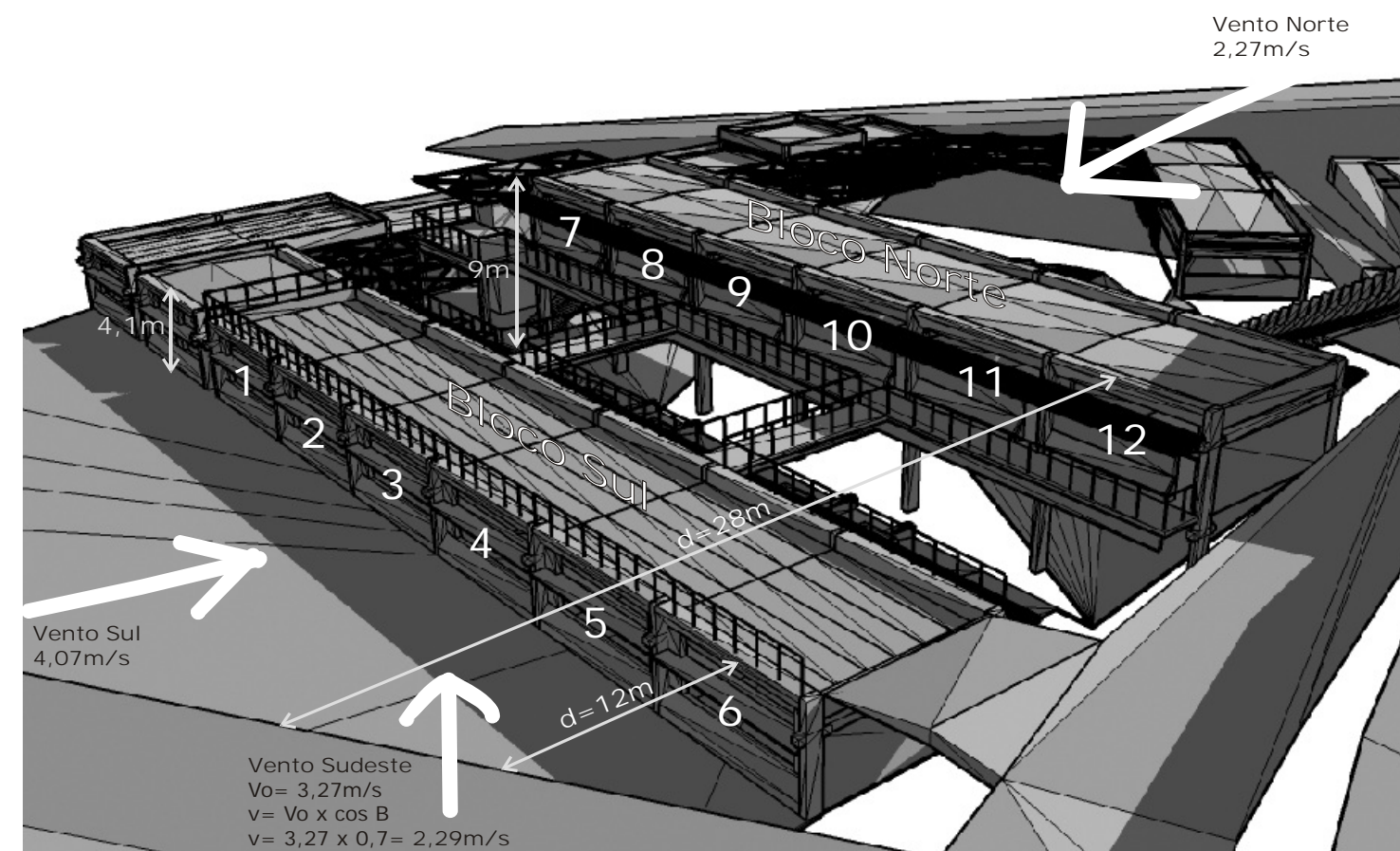


Figura 86- Esquema geral da ventilação sobre os blocos de salas de aula: direção, velocidade dos ventos, distância dos antepeiros

COEFICIENTES DE PRESSÃO NAS ABERTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

FATOR MULTIPLICADOR DE REDUÇÃO

Vento Sul
Determinação dos Coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída

Bloco Sul - Sala 6
(d=2h; anteparo maciço H)
Ce = -0,32/ Cs = -0,49
Fator multiplicador = $[-0,32 - (-0,49)]^{1/2} = 0,4$

Bloco Norte - Sala 12
(d=6h; anteparo vazado H)
Ce = +0,10/ Cs = -0,15
Fator multiplicador = $[+0,10 - (-0,15)]^{1/2} = 0,5$

Vento Norte
Determinação dos Coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída

Bloco Sul - Sala 6
(d=11h; anteparo vazado H/3)
Ce = +0,35/ Cs = -0,20
Fator multiplicador = $[+0,35 - (-0,20)]^{1/2} = 0,8$

Bloco Norte - Sala 12
(d=11h; anteparo vazado H/3)
Ce = +0,44/ Cs = -0,23
Fator multiplicador = $[+0,44 - (-0,23)]^{1/2} = 0,7$

Vento Sudeste
Determinação dos Coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída

Bloco Sul - Sala 6
(d=2h; anteparo maciço H)
Ce = -0,32/ Cs = -0,49
Fator multiplicador = $[-0,32 - (-0,49)]^{1/2} = 0,4$

Bloco Norte - Sala 12
(d=6h; anteparo vazado H)
Ce = +0,10/ Cs = -0,15
Fator multiplicador = $[+0,10 - (-0,15)]^{1/2} = 0,5$

Fonte (coeficientes de pressão): Irminger e Nokkentued, retirado de FROTA, A.B. Ventilação natural nas Edificações. Apostila (material de aula). Universidade de São Paulo, CECACE - Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia, São Paulo.

Tabela 10- Cenários de ventilação e áreas de abertura correspondentes

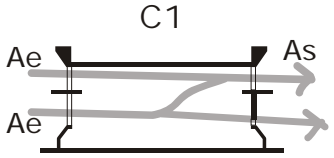
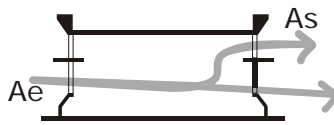
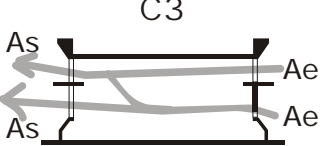
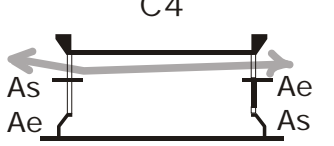
Cenário de Ventilação	Área (m ²)	Área Equiv. Ao (m ²)	Ocorrência
 <p>C1</p>	Ae= 9,24 As= 4,16	100% abert.= 3,81 50% abert.= 1,90 30% abert.= 1,14 10% abert.= 0,38	Épocas quentes Vento Bloco S Sul N Norte SE Sul
 <p>C2</p>	Ae= 5,28 As= 4,16	100% abert.= 3,28 50% abert.= 1,64 30% abert.= 0,98 10% abert.= 0,33	Épocas quentes Vento Bloco S Sul N Norte SE Sul
 <p>C3</p>	Ae= 4,16 As= 9,24	100% abert.= 3,81 50% abert.= 1,90 30% abert.= 1,14 10% abert.= 0,38	Épocas quentes Vento Bloco S Norte N Sul SE Norte
 <p>C4</p>	Ae= 3,96 As= 3,96	100% abert.= 2,80 50% abert.= 1,40 30% abert.= 0,84 10% abert.= 0,28	Épocas frias Vento Bloco S Sul/Norte N Sul/Norte SE Sul/Norte

Tabela 11- Fluxo e número de trocas de ar da ventilação de conforto e higiênica

Φ FLUXO VENTILAÇÃO DE CONFORTO (VERÃO)																		
Cenário ventilação	BLOCO SUL						BLOCO NORTE											
	C1			C3			C1			C3			C3					
Direção do vento	S			N			SE (V=3,27 x cos 45)			S			N			SE (V=3,27 x cos 45)		
Velocidade ar (m/s)	4,07			2,27			2,29			4,07			2,27			2,29		
	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N
100% abertura	3,72	13398	88,14	4,15	14945	98	2,09	7535	50	4,65	16747	110	3,63	13077	86	2,62	9419	62
50% abertura	1,86	6699	44,07	2,08	7472	49	1,05	3768	25	2,33	8374	55	1,82	6538	43	1,31	4709	31
30% abertura	1,12	4019	26,44	1,25	4483	29	0,63	2261	15	1,40	5024	33	1,09	3923	26	0,78	2826	19
10% abertura	0,37	1340	8,81	0,42	1494	10	0,21	754	5	0,47	1675	11	0,36	1308	9	0,26	942	6

Φ FLUXO VENTILAÇÃO HIGIÊNICA (INVERNO)																		
Cenário ventilação	BLOCO SUL						BLOCO NORTE											
	C4			C4			C4			C4			C4					
Direção do vento	S			N			SE (V=3,27 x cos 45)			S			N			SE (V=3,27 x cos 45)		
Velocidade ar (m/s)	4,07			2,27			2,29			4,07			2,27			2,29		
	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N	m3/s	m3/h	N
100% abertura	2,74	9846	64,78	3,05	10983	72	1,54	5538	36	3,42	12308	81	2,67	9610	63	1,92	6922	46
50% abertura	1,37	4923	32,39	1,53	5492	36	0,77	2769	18	1,71	6154	40	1,33	4805	32	0,96	3461	23
30% abertura	0,82	2954	19,43	0,92	3295	22	0,46	1661	11	1,03	3692	24	0,80	2883	19	0,58	2077	14
10% abertura	0,27	985	6,48	0,31	1098	7	0,15	554	4	0,34	1231	8	0,27	961	6	0,19	692	5

Sendo que:

Fluxo da Ventilação (Φ) = 0,6 * Ao * velocidade * Fator multiplic.

Area Equivalente (Ao) = 1/Ao² = 1/Ae² + 1/As²

Ventilação por efeito chaminé

Devido às instabilidades climáticas, podem existir cenários de calmaria a qualquer momento, onde a velocidade do vento é nula e não existe a retirada do calor por ação dos ventos. Portanto, houve a preocupação em propor um sistema de aberturas que também fornecesse conforto térmico através da ventilação por efeito chaminé.

Estimou-se um número de trocas de ar razoável para o tipo de ocupação em questão para se conhecer a área mínima necessária de abertura que promova essa renovação.

$$\text{Fluxo} = (10 \text{ trocas} \times \text{Volume da sala}) / 3600 \text{ seg.} = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portanto, a área mínima necessária para esse fluxo seria:

$$A = \text{Fluxo} / 0,14 * [H * (1-m) * \Delta t]^{1/2} = 0,42 / 0,14 * [1,2 * 0,1 * 6]^{1/2} = 3,53 \text{ m}^2$$

Onde:

H = distância entre a cota média da abertura inferior e a cota média da abertura superior

m = inércia do ambiente (calculada de acordo com o peso das superfícies opacas)

Δt = diferença entre as temp. externa e interna (a partir do balanço térmico)

Nessa análise preliminar foi constatada que a área mínima necessária foi atendida pelo sistema de aberturas do projeto, no entanto, é preciso checar se esse fluxo de ar que promove uma diferença de temperatura de 6°C está trazendo conforto ou não para o ambiente.

Esse cálculo será mostrado no item "Avaliação do desempenho térmico e luminoso das salas de aula" a seguir, mas pode-se adiantar que, com o Δt de 6°C chega-se a uma temperatura interna máxima em torno dos 28°C (que corresponde a uma temperatura efetiva de 24°C, segundo o índice de Temperatura Efetiva de 1923, proposto por Yaglow e Houghten (Koenigsberger, 1977) no mês mais quente do ano de referência.

Partindo-se de um valor de Δt de 6°C foi utilizado também o programa computacional Chaminé para checar se a área de aberturas e a disposição entre elas estavam garantindo uma eficaz ventilação por efeito chaminé. Segundo o programa, para retirar do ambiente uma carga térmica de 4240W (já calculado anteriormente) e apresentar um Δt de 6°C, seria necessária uma vazão mínima de 2019m³/h. Com 50% das esquadrias abertas, conseguiu-se uma vazão de 3126m³/h. O relatório de impressão deste cálculo encontra-se no Anexo B deste trabalho.

4.3.4. Massa/ inércia térmica

Nas épocas frias, o diagnóstico climático apontou para uma estratégia mista de massa térmica com aquecimento solar passivo, onde os materiais com grande capacidade de armazenamento fossem utilizados para estocar o calor adquirido pela radiação solar para depois transmiti-lo aos poucos ao ambiente interno. Esses materiais também deveriam manter a temperatura interna mais elevada, ao evitar a perda do calor gerado pelas pessoas e iluminação para o meio externo. Essa estratégia deveria ocorrer em boa parte do ano: quase em metade do tempo do inverno e primavera, e em 37% do outono.

Já nas épocas quentes, o diagnóstico apontou para uma estratégia mista de massa térmica para resfriamento e ventilação. Se a massa edificada armazena o calor durante o dia, esse é devolvido ao ambiente somente durante a noite, quando as temperaturas externas são inferiores. A ventilação noturna entra aqui como artifício eficiente de resfriamento do ambiente, pois com a massa edificada resfriada, essa se mantém com temperaturas baixas durante grande parte da manhã e primeiras horas da tarde. Em vista disso, decisões de projeto foram tomadas para que respondessem às demandas distintas por massa térmica para resfriamento e aquecimento.

Como colocado anteriormente no item "4.3.1. Implantação", os edifícios foram assentados no terreno de modo que não fossem necessárias maiores modificações na topografia do mesmo, e sim, apenas ajustes nos taludes para melhor acomodação da construção. Os edifícios encaixaram-se respeitosamente nos platôs existentes, platôs estes muitas vezes com desnível superior a um pé direito convencional. O resultado é um projeto com forte relação com a terra. Essa relação tão próxima trouxe inevitavelmente a inércia da terra para a construção.

Segundo Brown e Dekay (2004), como o solo é maciço, sua temperatura está sempre defasada em relação às mudanças sazonais do ar. Portanto, o condicionamento térmico por taludes reduz a perda térmica e o ganho térmico através do aumento da resistência do fechamento e da redução da diferença entre o interior e o exterior.

A inércia da edificação foi incrementada com a proposta de um teto jardim sobre as salas de aula do Bloco Sul (bloco térreo). Esse espaço pode abrigar diversos recantos e promover o desenvolvimento de diversas atividades, como: horta, local de descanso e leitura nos bancos, local de extensão da sala de aula, com aulas práticas de jardinagem, biologia, física, entre outros.

Essa solução poderia ter sido adotada a todos os edifícios. No entanto, o Bloco Norte, por exemplo, apresenta um teto convencional com telha trapezoidal sobre laje, por dois motivos:

- para testar e comparar o desempenho térmico das soluções de teto para as salas de aula;
- para propor uma solução que permitisse a expansão do número de salas de aula da escola, pois o Bloco Norte já possui um sistema de circulação vertical, e caso a estrutura já seja pensada para tal, mostra-se como local mais propício a expansões futuras.

No momento da proposta do telhado sobre laje foram calculados os Coeficientes de Transmissão Térmica do conjunto laje/ar/telha para as situações de espaço de ar confinado ou ventilado: coefic. ganho= 1,13 e perda= 1,24 W/m²°C (ar confinado); coefic. ganho= 2,48 e perda= 3,09 W/m²°C (ar ventilado). Analisando-se esses valores, optou-se pela cobertura com ar confinado, pois além de possuir valores de transmitância menores, não precisaria de uma grelha para abrir ou fechar de acordo com a época do ano, evitando assim problemas de manutenção e operação do conjunto.

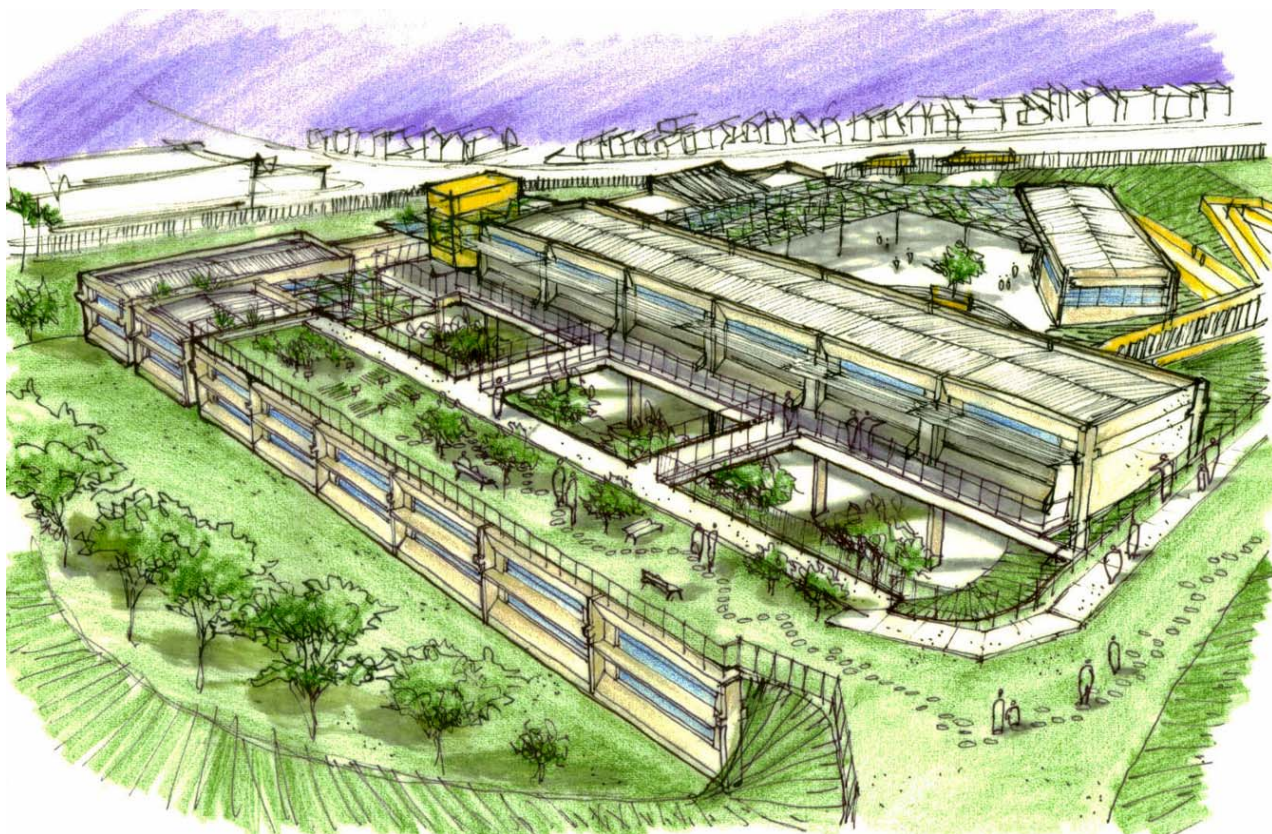


Figura 87 - Integração com a terra

A estrutura da construção e os materiais das envoltórias também foram pensados para trazer mais massa térmica aos edifícios. Com maiores valores de capacidade e atraso térmicos, e com menores valores de transmitância térmica, o conjunto garantiria uma temperatura interna mais amena do que a externa. O uso da inércia dos materiais promove um atraso das trocas de calor do ambiente com o meio externo, diminuindo assim a amplitude da temperatura interior em relação à exterior.

A estrutura em concreto pré-fabricado (vigas e pilares) já é adotada como padrão pela FDE. Propuseram-se também peças de concreto como o peitoril, prateleiras de luz e platibanda de seção trapezoidal. Ainda, foi sugerida uma redução da área da caixilharia padronizada pelo sistema FDE, sem que houvesse prejuízos em relação à ventilação e iluminação naturais dos ambientes.

4.3.5. Sistema de aberturas

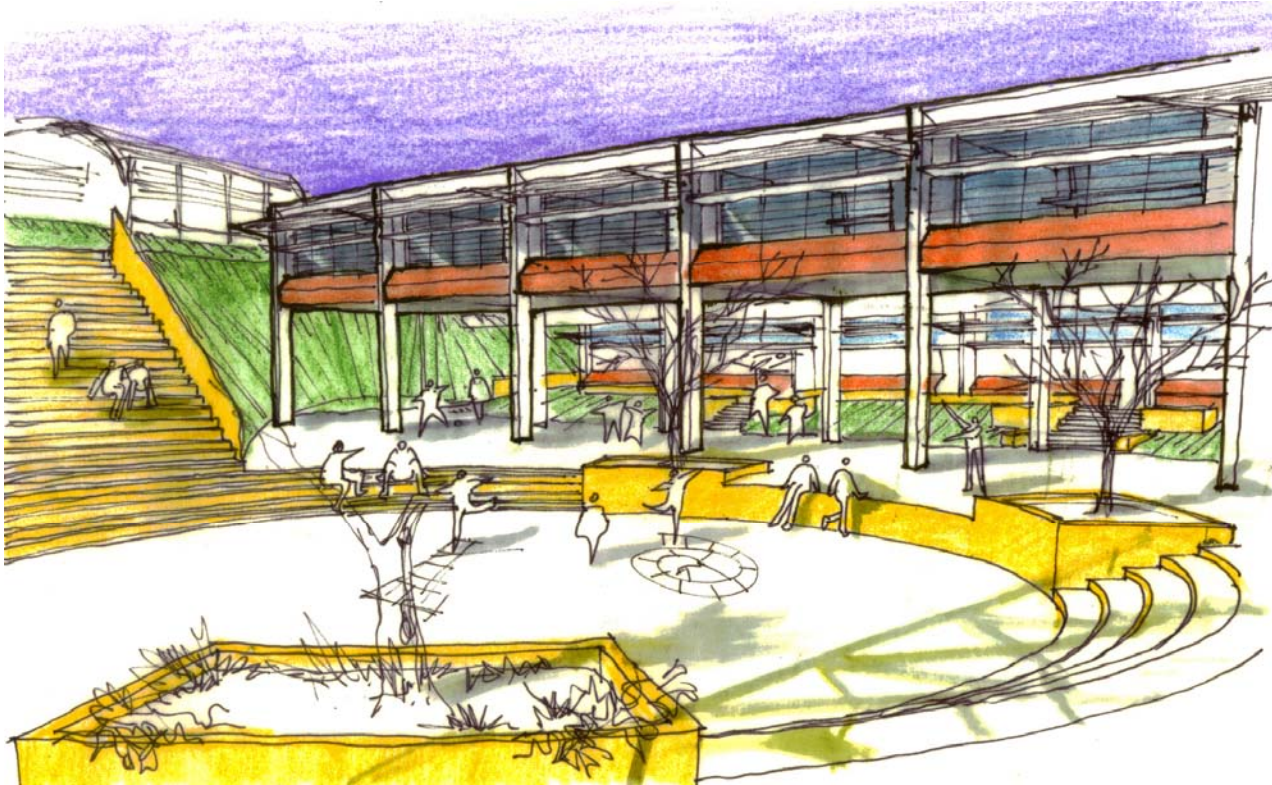


Figura 88 - Recreio coberto sob pilotis do Bloco Norte; esquadrias com vista para o anfiteatro

As aberturas das salas de aula, dos ambientes administrativos e dos serviços foram projetadas a fim de oferecer iluminação natural, ventilação cruzada e vertical e o contato visual com o exterior.

Para o fornecimento de luz natural de qualidade nas salas de aula foram propostas prateleiras de luz que interceptam a radiação solar direta e redirecionam a luz para o teto, uniformizando a distribuição da mesma. A incrementação da superfície refletora do teto e a diminuição das áreas escuras que o rodeiam foi proporcionada através de janelas altas que encontram o teto.

O peitoril e o trapézio de fechamento da esquadria superior, além de se abrirem e permitirem a entrada de mais luz ao interior, funcionam também como superfícies refletoras da luz, devido ao seu formato. Para evitar o ofuscamento no quadro do professor, as janelas laterais foram protegidas da incidência direta do sol, e tiveram seu comprimento total reduzido para que não encontrassem a parede adjacente que possui o quadro.

Para proporcionar contato visual com o exterior, as aberturas das salas de aula foram direcionadas a áreas de atividades diversas na escola, de modo a permitir o descanso visual dos alunos.

O contato com o exterior foi muito incentivado no refeitório. Além de contar com grande área de abertura para renovação do ar interno, o espaço proporciona uma experiência diferenciada aos

usuários ao voltar esquadrias e portas de abrir a um grande *deck* de madeira. Esse *deck* está acomodado sobre um talude localizado em frente à quadra de esportes aberta, e configura-se, ao mesmo tempo, como varanda para refeições, mirante de observação, e palanque para assistir as atividades realizadas na quadra.

4.3.6. Acústica

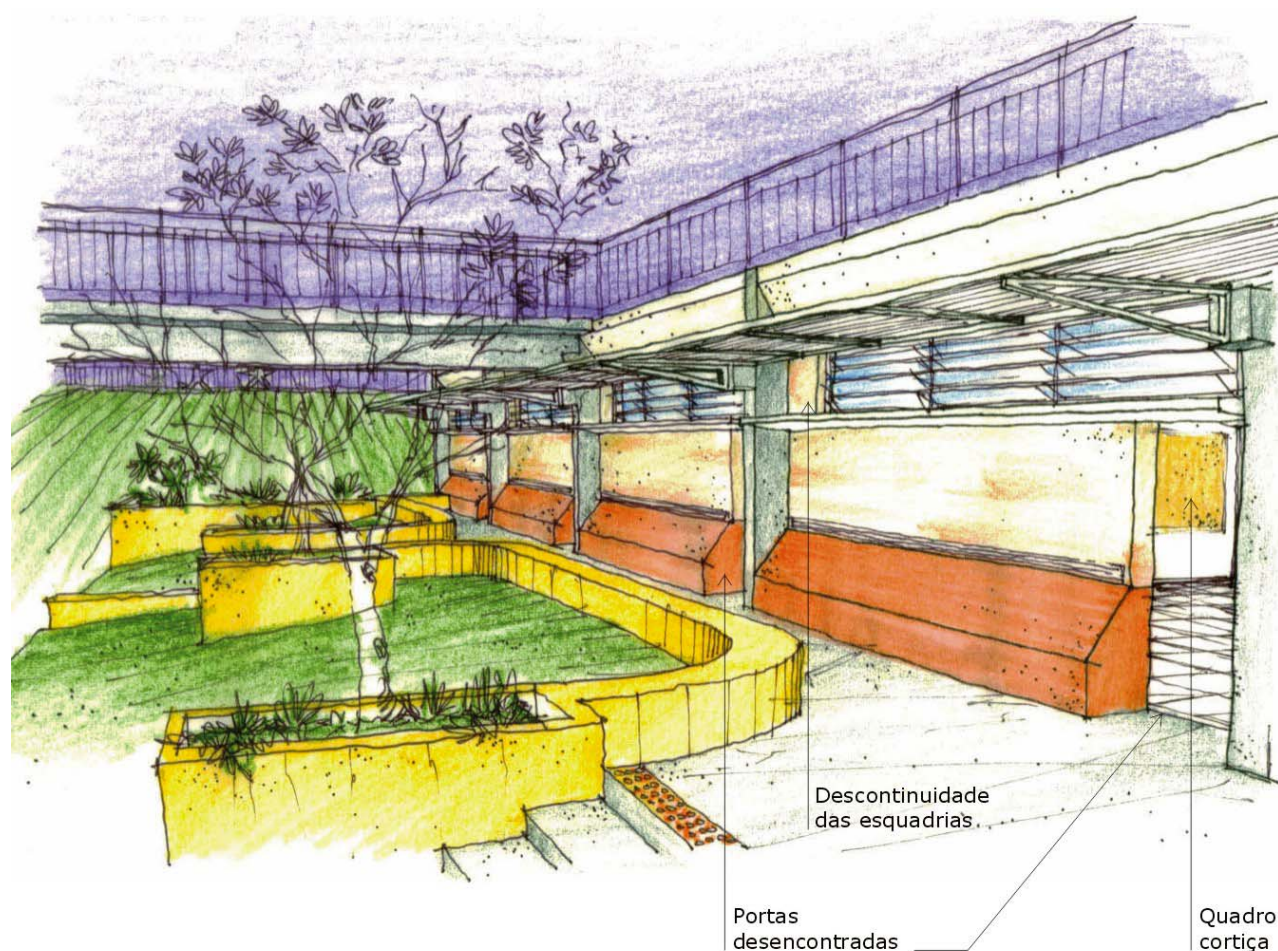


Figura 89 - Salas de aula com propostas simples para melhoria da acústica interna

Como no projeto da escola foi utilizada essencialmente a ventilação natural para se atingir o conforto térmico interno, tornava-se incoerente o fechamento das esquadrias para se evitar a entrada do ruído externo. Felizmente o ruído vindo da rua não era considerável, como mostrado na análise anterior, e o mesmo já tinha sido amenizado com a implantação adequada das atividades no terreno.

Quanto ao ruído gerado pelas atividades da própria escola, foram propostas medidas simples de localização dos edifícios conforme os níveis de silêncio exigidos em cada atividade, como explicado no item "4.3.1. Implantação".

Além do zoneamento das atividades, propôs-se a localização das portas das salas distante umas das outras, para evitar a concentração dos ruídos na entrada dessas, estratégia anteriormente recomendada por Seep et al. (2000) no item "2.3.2. O conforto acústico em prática".

A fim de amenizar a passagem do ruído de uma sala a outra foram propostas estratégias como o pilar sobressalente em relação ao plano da fachada, e a alvenaria lateral às esquadrias, que evita o encontro das mesmas com a parede adjacente.

Para evitar as reflexões indesejáveis e a reverberação do ruído, foi proposto o revestimento de uma das superfícies internas com material absorvente. A superfície escolhida foi a parede posterior da sala de aula, onde foi colocado um quadro de cortiça (pintado de branco para refletir a luz), que funciona também como quadro de recados. Segundo Seep et al. (2000), cobrir a parede do fundo faz com que o som seja absorvido e não retorne para o professor. As demais superfícies (paredes laterais com esquadrias, parede frontal com quadro do professor e teto) não poderiam ser absorventes porque a voz do professor seria absorvida antes mesmo de alcançar a última fileira de carteiras.

4.3.7. Vegetação e espaços abertos

Foram propostos espaços abertos com uma vegetação variada entre arbustos, árvores de caule liso e copa alta, e árvores caducifólias, que permitem tanto o resfriamento do ar que por ali passe, quanto a absorção da radiação solar pelas superfícies nas épocas frias, e o sombreamento das mesmas nas épocas quentes.

O teto jardim do Bloco Sul é um destaque no projeto, pois oferece diversos espaços e microclimas e promove várias atividades num só. O plantio de árvores de pequeno porte, arbustos, árvores frutíferas, horta e gramado, associado a caminhos, recantos e mobiliário específico, transforma o teto jardim num local aprazível com qualidade ambiental.

Essa diversidade proposta aos espaços abertos garantiu microclimas diferenciados para a escola, incentivando a pluralidade de usos nesses "recantos" externos. O objetivo dessa gama de microclimas é tornar todo o terreno da escola habitável, estendendo as atividades de ensino-aprendizagem para todo e qualquer espaço da mesma.

4.3.8. Ergonomia

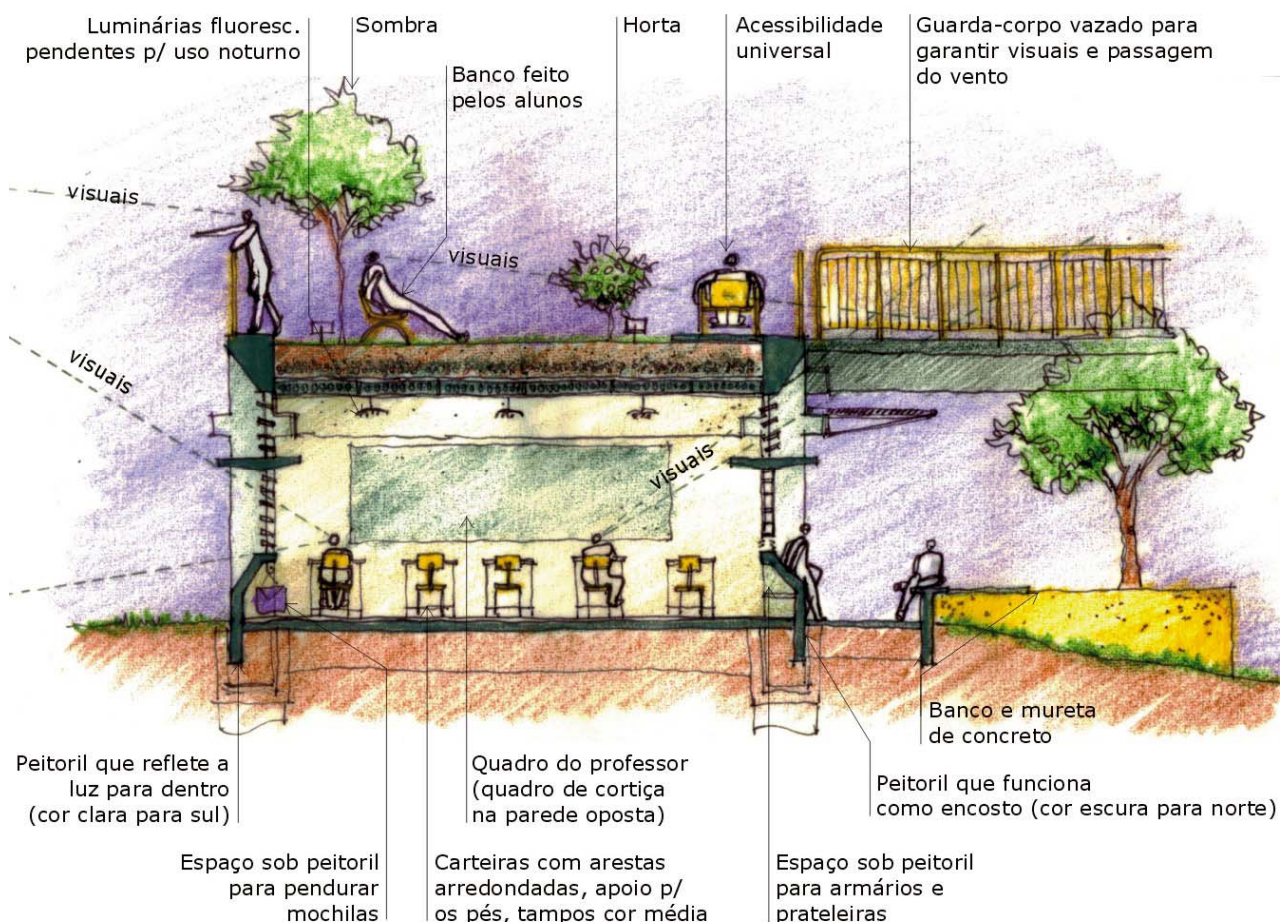


Figura 90 - Sala de aula do bloco sul

A ergonomia do ambiente foi pensada de maneira integrada: mobiliário interno, geometria e envoltórias da sala de aula, altura de peitoril e esquadrias, bancos e recantos externos, acessibilidade, etc.

A sala de aula possui uma proporção agradável, com pé direito de 3,15m, e dimensões de 7,20 por 7,20m entre eixos de estrutura (modulação de 7,20m padronizada pela FDE). O peitoril da sala de aula é inclinado externamente, e possui um formato que incrementa e reflete a entrada de luz no ambiente. Além disso, expõe mais a massa à insolação no inverno e oferece qualidades ergonômicas ao espaço, como armários internos e possibilidade de encosto pela parte externa. A altura do peitoril é tal que oferece visuais para o exterior, mas libera a área de trabalho da passagem do vento.

As esquadrias superiores, além de incrementar a iluminância interna, proporcionam qualidade visual ao ambiente, pois permitem o descanso dos olhos quando estes enxergam uma porção de céu.

Os guarda-corpos padronizados pela FDE foram adotados nesse projeto, pois possuem uma altura segura (1,25m) e um desenho limpo. Além disso, são vazados, permitindo a passagem livre dos ventos.

Todas as salas de aula e demais ambientes da escola são acessíveis, pois não possuem desníveis ou obstáculos que impedem o trânsito de pessoas com dificuldade de locomoção. Todos os ambientes são acessados por rampas de até 8% de inclinação. Inclusive o Bloco Norte de salas de aula, que está elevado do piso, pode ser acessado pela passarela de ligação com o Bloco Sul, pois o teto jardim desse bloco está quase nivelado com o passeio externo da cota +107m (esse passeio é igualmente acessado por rampas).

Apesar do mobiliário adotado pela FDE ser padronizado, propôs-se aqui carteiras com arestas arredondadas para estimular a integração dos alunos em atividades que solicitam o rearranjo das mesmas. Além disso, arestas arredondadas oferecem mais segurança contra acidentes comuns nessa faixa etária, que corre e brinca mesmo em salas de aula. Os tampos das carteiras possuem cor média para evitar o ofuscamento e facilitar a visualização para pessoas com dificuldades visuais (devido ao contraste com a folha branca). A carteira possui ainda um descanso para os pés, fundamental para a postura e concentração dos alunos.

Todo o conjunto da escola possui qualidade ergonômica, pois oferece recantos de estar de diferentes tipos, com diferentes bancos, em diferentes microclimas externos: bancos e encostos de concreto junto aos corredores de acesso às salas de aula e ao jardim central; e bancos de madeira ou de material reciclável produzidos pelos próprios alunos, alocados inclusive no teto jardim sobre as salas de aula.

4.3.9. Materiais e sistema construtivo

Para viabilizar a aplicação das soluções arquitetônicas em cenário real, buscou-se utilizar primeiramente o sistema construtivo adotado atualmente pela FDE:

- Estrutura em concreto pré-fabricado (resistência mínima de 40 MPa): pilares de 30x60cm e 30x30cm, vigas 30x60cm;
- Lajes alveolares de 15cm ou 20cm (com capeamento em concreto de 5cm; forro com pintura látex na cor branca sobre chapisco/emboço/reboco);
- Paredes de bloco de concreto de 39x19x19cm (revestimento externo: pintura acrílica cor clara sobre chapisco, emboço, reboco; e revestimento interno: pintura esmalte sobre gesso, e=5mm).
- Esquadrias basculantes na horizontal: caixilho de ferro (cor branca) e vidro incolor 5mm;

- Pisos externos em concreto desempenado, cor natural, em requadros de 1,80x1,80m;

Os demais materiais foram propostos visando melhor desempenho térmico e luminoso do ambiente:

- Peitoril em concreto $e=15\text{cm}$ (revestimento externo: pintura acrílica cor média (norte) e cor clara (sul); revestimento interno: pintura esmalte cor clara).
- Prateleira de luz em concreto $e=15\text{cm}$ (revestimento: pintura acrílica cor clara);
- Platibanda de concreto de seção trapezoidal (revestimento externo: pintura acrílica cor clara);
- Lajes alveolares de 20cm (revestimento interno: pintura látex na cor branca sobre chapisco/emboço/reboco) com teto jardim (capeamento em concreto, impermeabilização, argila expandida, terra, vegetação arbustiva) e de 15cm (revestimento interno: pintura látex na cor branca sobre chapisco/emboço/reboco) cobertas telha metálica trapezoidal;
- Cobertura de telha metálica trapezoidal cor branco, $e=0,8\text{mm}$, $h=38\text{mm}$.
- Marquise de régua metálicas inclinadas com pintura eletrostática cor clara, sob vidro aramado quando visar proteção contra a chuva.
- Veneziana metálica regulável (cor clara) encaixada na alvenaria.

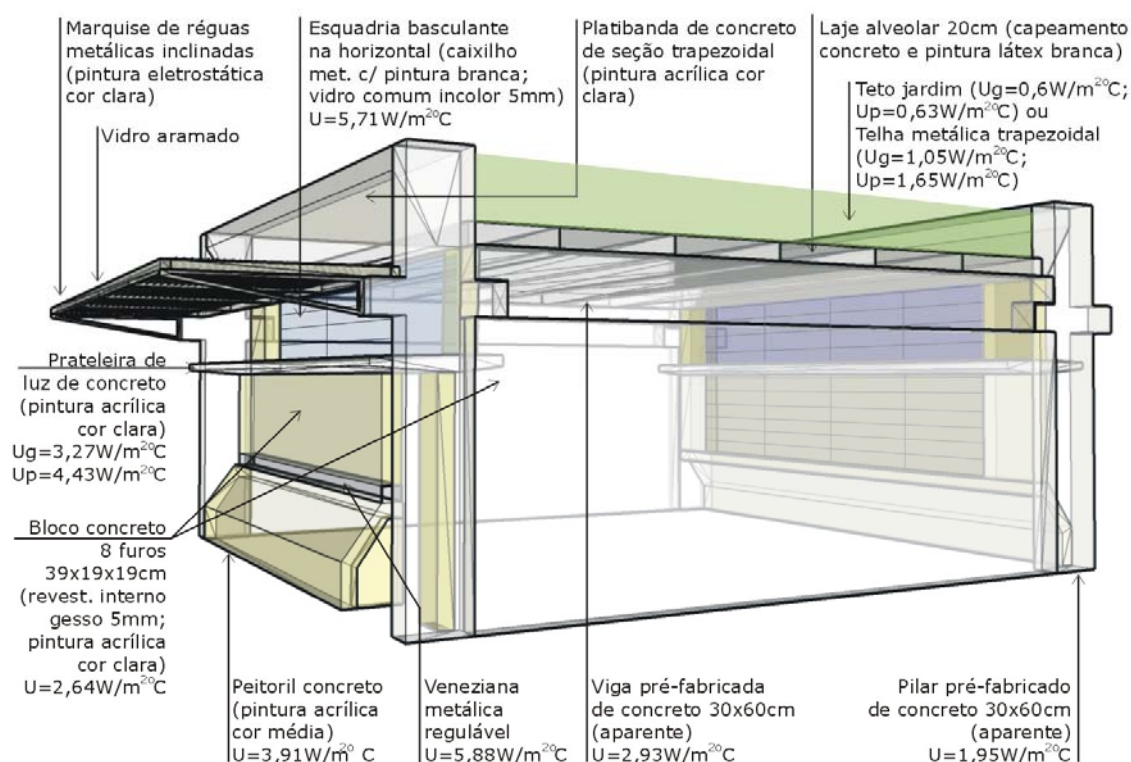


Figura 91 - Materiais de construção aplicados ao módulo de sala de aula

4.4. Avaliação do desempenho térmico e luminoso das salas de aula

O estudo da insolação nos edifícios apresentado anteriormente foi de fundamental importância para o projeto, porque as respostas desse tanto embasariam a proposta de implantação e arquitetura, como seriam utilizados nas avaliações preliminares do desempenho térmico e luminoso dos ambientes.

Nessa etapa de avaliação de desempenho foi realizada uma análise quantitativa dos resultados térmicos e luminosos das salas de aula dos blocos Norte e Sul através de:

- cálculos de desempenho térmico;
- simulações do desempenho luminoso em programas computacionais.

4.4.1. Desempenho térmico

O método de cálculo manual do CSTB foi utilizado para fazer a análise preliminar do desempenho térmico das salas de aula no inverno e no verão. Com esse método foram consideradas as características reais da construção, como os dispositivos de sombreamento, geometria do espaço, sistemas de ventilação, etc. A maioria dos programas computacionais ainda possuem uma limitação no momento da modelagem do edifício a ser simulado.

Por outro lado, programas mais complexos de simulação de desempenho forneceriam resultados para as 8760 horas do ano, como temperaturas e carga térmica a ser retirada, por exemplo. No entanto, acredito que para essa fase de projeto, onde foram feitos estudos preliminares para o conjunto da escola, seja suficiente a aplicação dos conceitos e estratégias bioclimáticas, seguida por cálculos de balanço térmico do ambiente nas épocas críticas.

Para o cálculo foram considerados os seguintes dados: características das envoltórias, ocupação (número de pessoas e atividade realizada), iluminação artificial (quando necessária), ventilação natural (número de trocas de ar por hora), dados climáticos do mês mais frio e mais quente, insolação das fachadas de acordo com a orientação e dispositivos de sombreamento.

Para isso, montou-se uma planilha no *Excel* para auxiliar o registro dos dados e nos cálculos de ganho de calor solar por orientação, balanço térmico entre ganhos e perdas, e fator de inércia térmica. Outros cálculos também se encontram no Anexo B deste trabalho, como: os Coeficientes de Transmissão Térmica U ou K ($W/m^2\text{°C}$) das envoltórias; Fluxo do ar pela ação dos ventos e por efeito chaminé (m^3/h) e Número de trocas de ar por hora.

Foi calculado o desempenho térmico para o mês mais quente do verão e mês mais frio do inverno, para uma sala de aula central do bloco Sul (com teto jardim) e outra do Norte (com telha sobre laje).

Além de analisar os cenários mais extremos (mês mais quente do verão e mês mais frio do inverno), buscou-se analisar também os horários críticos para essas épocas, porque, se os piores cenários tivessem um desempenho térmico satisfatório, os demais também teriam. Por isso, optou-se por analisar os seguintes cenários:

- **14h no mês mais quente:** maior Temperatura Efetiva externa do dia (27,8°C) e terceira radiação mais elevada do dia (conforme banco de dados climáticos adotado);
- **08h no mês mais frio:** segunda menor Temperatura Efetiva externa do dia (14,1°C) e segunda menor radiação no dia (conforme banco de dados climáticos adotado).

Tabela 12 - Temperatura e umidade relativa do ar para São Paulo no mês mais quente e mais frio

	mês mais quente: fev 2003		mês mais frio: jul 2004	
	de projeto	média	de projeto	média
Média das Temp max (°C)	30,6	32,8	18,6	21,8
Temp max abs (°C)	35,0		25,0	
Média das Temp min (°C)	22,9	27,1	14,6	16,8
Temp min abs (°C)	20,0	21,5	9,0	11,8
Umidade Relativa (%)	65		79	

Fonte (dados climáticos): De Benedetto (2006)

Tabela 13 - Média das Temperaturas Efetivas horárias para São Paulo no mês mais quente e mais frio

época	horário																							
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
fev.2003	22,4	22,2	21,9	21,6	21,4	21,3	21,1	21,0	21,7	23,0	24,2	25,5	26,4	27,3	27,8	27,7	27,0	25,9	25,0	23,9	23,1	22,9	22,6	
jul.2004	16,1	15,7	15,4	15,2	14,7	14,5	14,2	14,0	14,1	14,8	16,0	17,3	18,7	19,7	20,3	20,7	20,9	20,4	19,5	18,2	17,5	17,0	16,7	16,4

dia mais quente do ano de referência: 11/2/2003

dia mais frio do ano de referência: 22/7/2004

Fonte (dados climáticos): De Benedetto (2006)

Com os resultados das Temperaturas Efetivas internas, fez-se uma comparação com os valores de temperatura de conforto calculados para São Paulo nos respectivos meses. A partir da comparação com o índice de conforto adotado (apresentado anteriormente no item "3.4.1.1. Parâmetros de conforto térmico"), pôde-se concluir se o ambiente estava em conforto ou não.

Tabela 14 - Resumo do cálculo de desempenho térmico no verão e inverno para a sala de aula 3 (Bloco Sul)

Desempenho Térmico da Sala de Aula 3 - Bloco Sul					
sala central com teto jardim				inércia	0,9
Verão	Número de trocas de volume de ar por hora				
mês mais quente do ano de referência: fev 2003 (BENEDETTO, 2006)	10 trocas/h	15 trocas/h	30 trocas/h	50 trocas/h	
Ganhos de calor (W)	4264	4264	4264	4264	
Perdas de calor (W)	798	1064	1863	2928	
Balanço térmico (°C)	5,3	4,0	2,3	1,5	
Temp. Efetiva (TE) externa às 14h	27,8	27,8	27,8	27,8	
Temp. bulbo seco int. máx. às 14h [$t_i = TE + (1-m)E + (1-m)\Delta T$] (°C)	28,6	28,5	28,3	28,3	
Temp. bulbo úmido às 14h (°C), sendo que UR=65%	23,0	23,0	22,8	22,8	
Temp. Efetiva (TE) interna às 14h (Var = 0,5m/s) (°C)	25	25	24,9	24,9	
Temp. de Conforto p/ o mês mais quente às 14h (modelo adaptativo) (°C)	24,9	24,9	24,9	24,9	
Inverno	Número de trocas de volume de ar por hora				
mês mais frio do ano de referência: jul 2004 (BENEDETTO, 2006)	1 troca/h	3 trocas/h	5 trocas/h	8 trocas/h	
Ganhos de calor (W)	3736	3736	3736	3736	
Perdas de calor (W)	319	425	532	692	
Balanço térmico (°C)	11,7	8,8	7,0	5,4	
Temp. Efetiva (TE) externa às 08h	14,1	14,1	14,1	14,1	
Temp. bulbo seco int. mín. às 08h [$t_i = TE + (1-m)E + (1-m)\Delta T$] (°C)	15,4	15,1	14,9	14,8	
Temp. bulbo úmido às 08h (°C), sendo que UR=79%	13,2	13,1	13	12,9	
Temp. Efetiva (TE) interna às 08h (Var = 0,1m/s) (°C)	15	14,5	14,5	14,4	
Temp. de Conforto p/ o mês mais frio às 08h (modelo adaptativo) (°C)	23,6	23,6	23,6	23,6	

Tabela 15 - Resumo do cálculo de desempenho térmico no verão e inverno para a sala de aula 9 (Bloco Norte)

Desempenho Térmico da Sala de Aula 9 - Bloco Norte					
sala central com telha sobre laje				inércia	0,7
Verão	Número de trocas de volume de ar por hora				
mês mais quente do ano de referência: fev 2003 (BENEDETTO, 2006)	10 trocas/h	15 trocas/h	30 trocas/h	50 trocas/h	
Ganhos de calor (W)	4155	4155	4155	4155	
Perdas de calor (W)	847	1114	1912	2977	
Balanço térmico (°C)	4,9	3,7	2,2	1,4	
Temp. Efetiva (TE) externa às 14h	27,8	27,8	27,8	27,8	
Temp. bulbo seco int. máx. às 14h [$t_i = TE + (1-m)E + (1-m)\Delta T$] (°C)	30,2	29,9	29,4	29,2	
Temp. bulbo úmido às 14h (°C), sendo que UR=65%	24,5	24,4	24	23,8	
Temp. Efetiva (TE) interna às 14h (Var = 0,5m/s) (°C)	26,7	26,5	26	25,9	
Temp. de Conforto p/ o mês mais quente às 14h (modelo adaptativo) (°C)	24,9	24,9	24,9	24,9	
Inverno	Número de trocas de volume de ar por hora				
mês mais frio do ano de referência: jul 2004 (BENEDETTO, 2006)	1 troca/h	3 trocas/h	5 trocas/h	8 trocas/h	
Ganhos de calor (W)	4600	4600	4600	4600	
Perdas de calor (W)	368	475	581	741	
Balanço térmico (°C)	12,5	9,7	7,9	6,2	
Temp. Efetiva (TE) externa às 08h	14,1	14,1	14,1	14,1	
Temp. bulbo seco int. mín. às 08h [$t_i = TE + (1-m)E + (1-m)\Delta T$] (°C)	18,2	17,4	16,8	16,3	
Temp. bulbo úmido às 08h (°C), sendo que UR=79%	16	15,5	14,8	14,5	
Temp. Efetiva (TE) interna às 08h (Var = 0,1m/s) (°C)	17,5	17	16,3	15,9	
Temp. de Conforto p/ o mês mais frio às 08h (modelo adaptativo) (°C)	23,6	23,6	23,6	23,6	

Abaixo, são apresentados os valores de Temperatura Efetiva interna alcançados para as 14h no mês mais quente de verão (com 10 trocas de ar por hora) e às 08h no mês mais frio de inverno (com 1 troca de ar por hora), identificados sobre o gráfico de temperaturas efetivas de conforto para São Paulo.

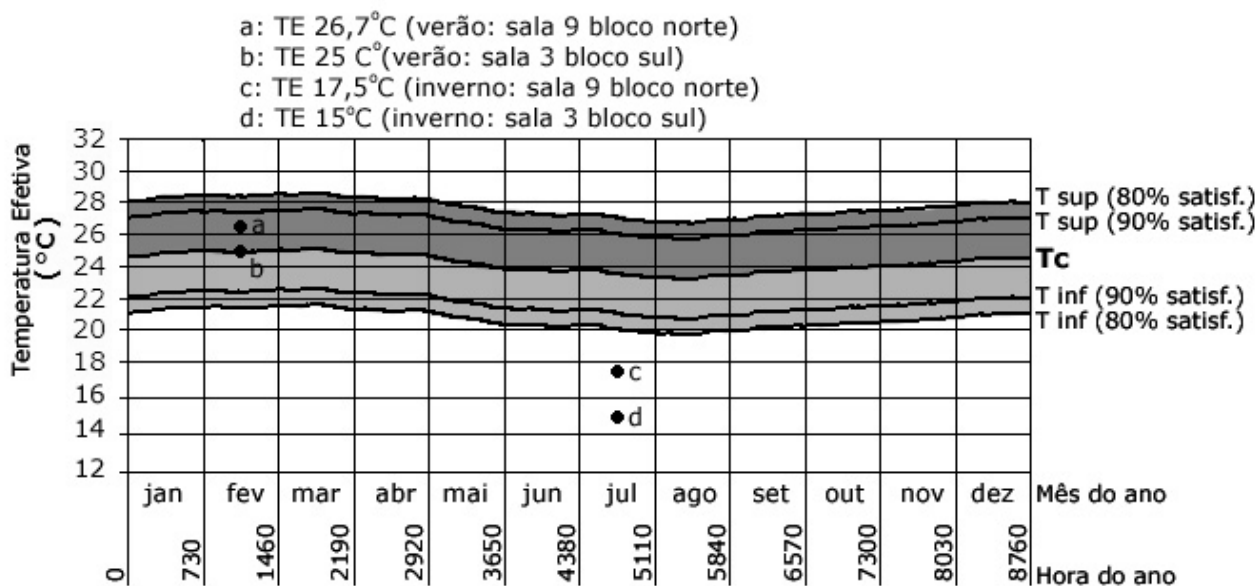


Gráfico 3 - Temperaturas Efetivas de Conforto para São Paulo, segundo modelo adaptativo de conforto. Planilha de cálculo para originar o gráfico: LABAUT. Fonte (dados climáticos): De Benedetto (2006). Montagem gráfica: MUELLER, C.M.

Pôde-se perceber que no verão a sala de aula com maior inércia térmica (Bloco Sul: teto jardim) apresentou Temperaturas Efetivas internas com 1 a 1,5°C mais amenas que a sala com telha. Mesmo considerando para análise um dos piores horários do dia, no mês mais quente do ano de referência, ambas as salas de aula são termicamente agradáveis, deixando 90% dos usuários satisfeitos, segundo o modelo adaptativo de conforto.

No cenário de verão, a temperatura efetiva interna do Bloco Sul teve um decréscimo mínimo quando se aumentou o número de trocas de volume de ar por hora: de 25°C para 24,9°C quando o número de trocas aumentou de 10 a 50. Já no bloco com menor inércia, a temperatura efetiva interna variou mais: de 26,7°C para 25,9°C quando o número de trocas aumentou de 10 a 50. Isso se deve ao atraso térmico provocado pela massa da edificação. O bloco com menos massa térmica responde mais rapidamente às alterações provocadas pela ventilação interna.

Já no mês mais frio do ano de referência, se fosse considerado para análise o mesmo horário de análise do verão (14h), chegar-se-ia a Temperaturas Efetivas internas em torno dos 21°C para o Bloco Sul, e dos 24°C para o Bloco Norte. Como se optou por analisar o ambiente às 08h da manhã (TE ext=14,1°C), as temperaturas internas resultantes foram 15°C para o Bloco Sul e 17,5°C para o Bloco Norte.

Acredito que esses resultados também configuram uma situação de conforto, pois as temperaturas efetivas internas são de 1 a 3,5°C mais elevadas que as externas. No modelo adaptativo de conforto considera-se que as pessoas estão aclimatadas e vestidas adequadamente para suportar as condições climáticas daquela estação.

A própria norma brasileira NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) sobre Desempenho Térmico de Edificações coloca que para se atingir níveis de desempenho térmico mínimo, intermediário e superior no inverno, o ambiente interno deve apresentar temperaturas internas superiores a 12, 15 e 17°C respectivamente.

De uma maneira geral, o Bloco Norte, cuja inércia é menor, apresentou temperaturas mais elevadas tanto no verão quanto no inverno. Mesmo com as diferenças de inércia e de sombreamento (a fachada sul do Bloco Norte possui uma marquise metálica no corredor), ambos os blocos alcançaram resultados térmicos satisfatórios.

Apesar da análise do desempenho dos dois blocos ter sido efetuada apenas para as situações extremas de inverno e verão, pode-se concluir que ambos os blocos apresentaram um bom desempenho térmico durante o ano, pois as situações climáticas nos equinócios são mais amenas, trazendo, por conseqüência, situações internas mais amenas.

4.4.2. Desempenho luminoso

O modelo tridimensional dos blocos de salas de aula foi desenhado no *AutoCad* e posteriormente exportado para o programa *Ecotect*. Foram consideradas todas as características e detalhes arquitetônicos do projeto, como a geometria da sala, os dispositivos de sombreamento, e a interferência de outros elementos sombreadores, como os edifícios adjacentes.

Nesse programa foram inseridas as características dos materiais transparentes (transmitância e fator de depreciação), além de todas as características dos outros materiais presentes na sala de aula e que exercem importante influência na distribuição da luz nesse ambiente: piso, paredes, teto, prateleira de luz, marquise metálica, porta, quadro do professor e caixilharia da esquadria. Cada item desses possui diferentes capacidades para refletir a luz, dependendo da cor, do brilho ou opacidade do material, da rugosidade, etc. Portanto, é fundamental o estudo integrado de todos esses materiais para verificar o resultado obtido em relação à homogeneidade da iluminação e aos níveis de iluminância do ambiente.

Uma vez atribuídas as características do ambiente no *Ecotect*, a simulação da sala de aula do Bloco Sul foi realizada no *Radiance*, por ser considerada uma das ferramentas de simulação de iluminação mais confiáveis pela comunidade científica. No entanto, não é uma ferramenta com *interface* amigável, e uma alternativa geralmente encontrada para amortecer esse problema é utilizar outros programas que sejam mais fáceis de manusear. Portanto, utilizou-se o *Ecotect* para fazer essa *interface* com o *Radiance*, porque ele utiliza os algoritmos de cálculo do último.

A sala de aula foi simulada de duas em duas horas para os solstícios e equinócios, sob condições de céu claro. Das simulações foram obtidas imagens tridimensionais com as curvas *isolux*, as cores

falsas de iluminância, e os níveis de iluminância do ambiente em planta baixa. Todos os horários de simulação no verão, inverno e equinócios são encontrados no Anexo B deste trabalho.

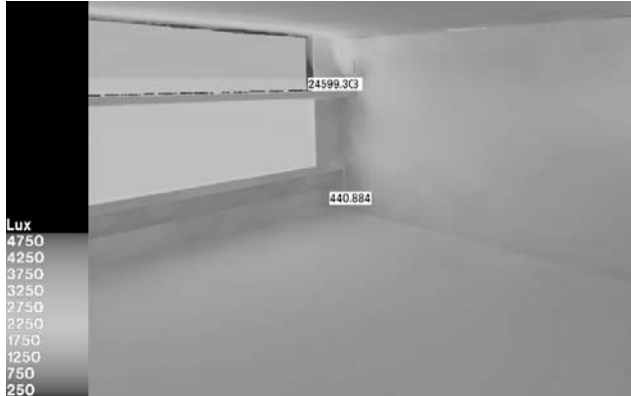


Figura 92 - Cores falsas de iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 08h no verão (céu claro). Fonte (programas de simulação): *Radiance* e *Ecotect*

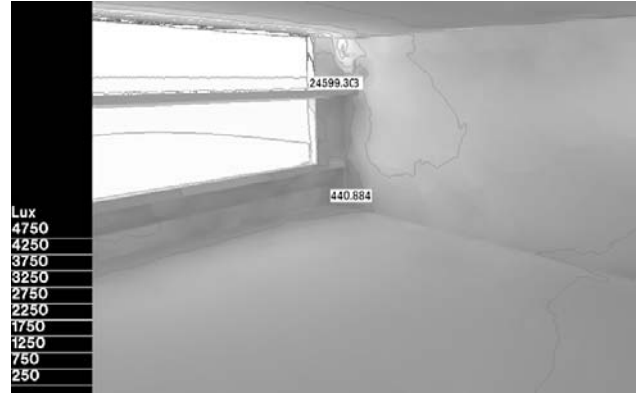
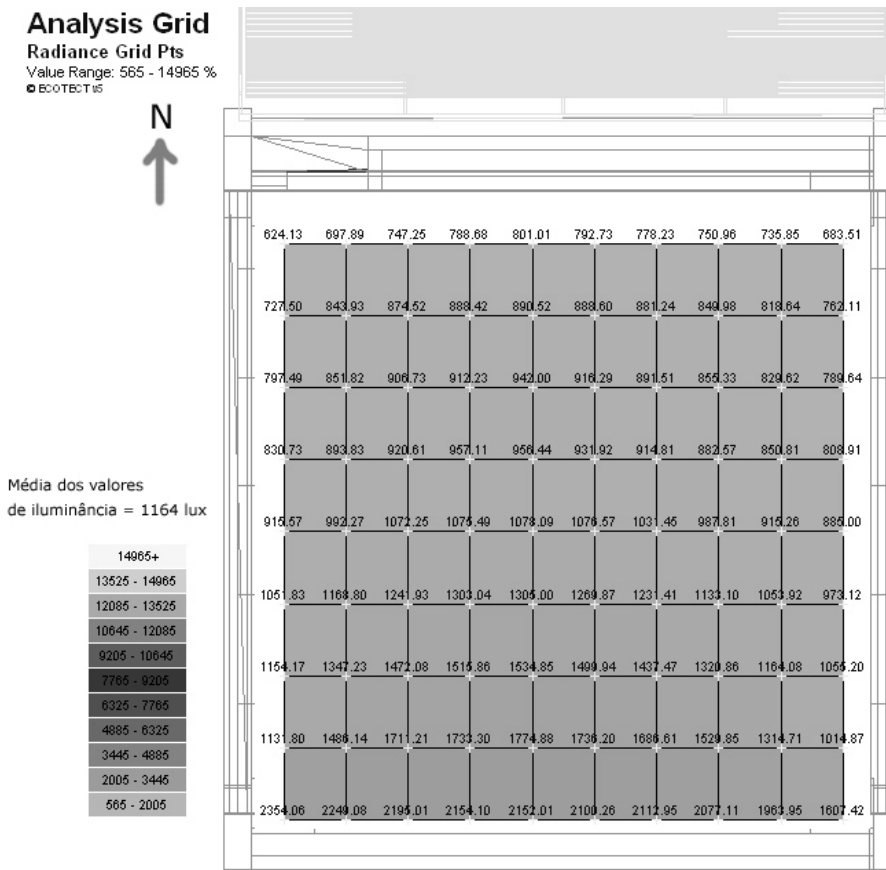
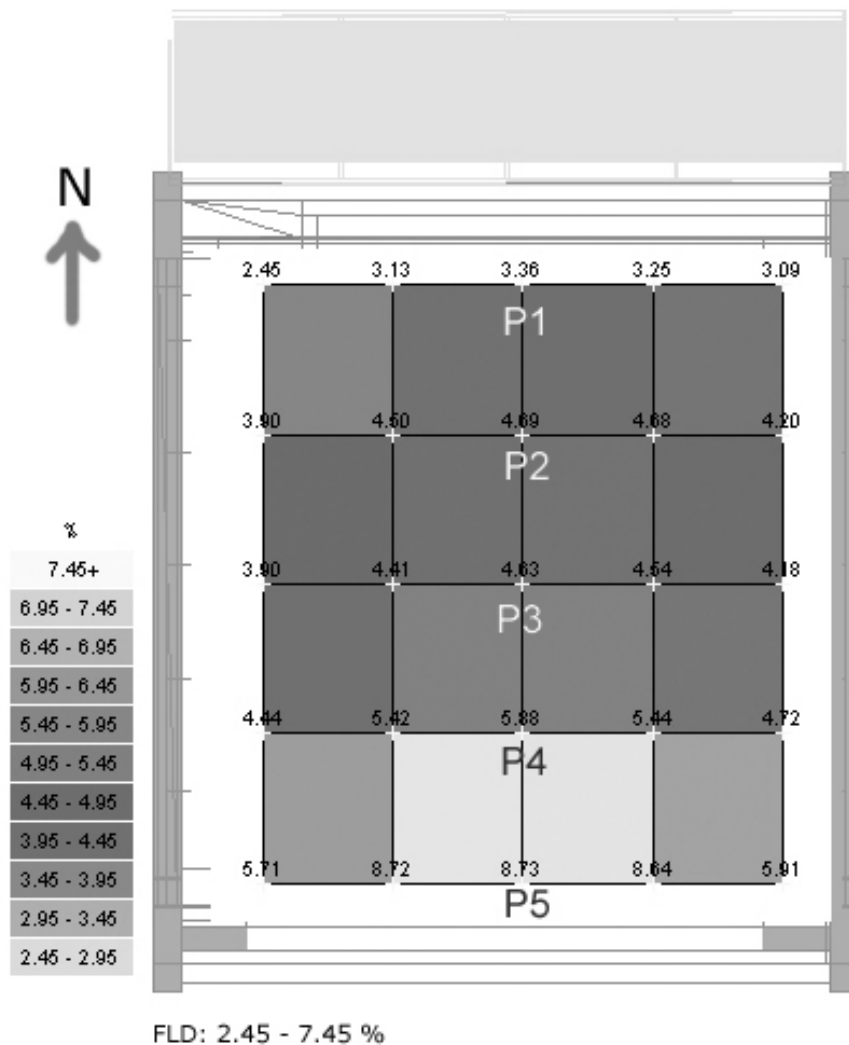


Figura 93 - Curvas isolux na sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programas de simulação): *Radiance* e *Ecotect*



Os resultados apresentaram uma uniformidade nos valores de iluminância interna durante todo o ano, importante característica que impede a ocorrência de ofuscamento no ambiente.

Figura 94 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programas de simulação): *Radiance* e *Ecotect*



O desempenho luminoso da sala de aula foi considerado satisfatório, pois possui uma distribuição de FLD (Fator de Luz Diurna) equilibrada.

O FLD da sala de aula foi simulado no *Radiance* considerando-se uma linha perpendicular às esquadrias. Esses valores simulados são dados em porcentagem, pois é uma relação entre disponibilidade de luz externa e interna do ambiente.

Figura 95 - Fator de luz diurna na sala de aula do Bloco Sul. Fonte (programas de simulação): *Radiance* e *Ecotect*

Tabela 16 - Iluminância interna média para a sala de aula do Bloco Sul nos solstícios e equinócios (sob condição de céu claro)

Iluminância interna média (lux)				
Horário	Verão	Inverno	Inverno	Equinócios
08h	1164	713	1974	1283
10h	1284	2823	1541	4191
12h	2690	3584	1741	1970
14h	1308	2806	1566	4247
16h	1160	1309	875	2979
	prateleira de luz original	prateleira de luz original	prateleira de luz modificada	prateleira de luz modificada

Em condições de céu claro, a sala apresentou uma média de iluminância superior ao nível geral de 450 lux e local de 900 lux, estipulados anteriormente no item "3.4.1.2. Parâmetros de conforto luminoso". Mesmo com níveis internos de iluminância consideravelmente elevados, o ambiente se encontra em conforto luminoso, pois não apresenta ofuscamentos decorrentes da incidência direta do sol ou da distribuição não uniforme de luz.

Após as simulações sob condições de céu claro, procurou-se também verificar o desempenho luminoso da sala de aula sob condições de céu encoberto. O céu encoberto configura-se como a pior condição de projeto, porque a disponibilidade de luz natural deste céu é inferior ao do céu claro ou parcialmente encoberto.

Assim, foi utilizada a metodologia de Mansy (2004) adaptada por Pereira (2006) para a verificação do Potencial de Economia de Energia (PEE) no ambiente devido ao uso da luz natural, quando esse se encontrar sob a pior condição de disponibilidade da mesma. O valor do potencial de economia de energia é dado pela razão entre a iluminância interna prevista e a iluminância requerida por projeto. Assim, se a razão for maior ou igual a 1, significa que o ambiente possui 100% de potencial de economia de energia.

Com os valores percentuais de FLD, calculou-se a iluminância interna a partir de dados de iluminância externa para São Paulo sob condição de céu encoberto, dados esses encontrados no programa computacional DLN – Disponibilidade de luz Natural.

Com o auxílio de uma planilha de *Excel*, os valores de iluminância interna foram estimados e chegou-se a um potencial de economia de energia anual de 86,3% para a sala de aula, utilizando-se como parâmetro os 450 lux de nível de iluminância geral (anteriormente adotado no item "3.4.1.2. Parâmetros de conforto luminoso"). Para o valor de 900 lux no plano de trabalho, chegou-se a um potencial de economia de energia anual de 68%. As planilhas de cálculo encontram-se no Anexo B deste trabalho.

É válido alertar que esse método considera o aproveitamento da luz natural disponível e a consequente dimerização das lâmpadas. Se for utilizado um sistema de controle elétrico menos eficiente que o *dimmer*, o potencial de economia de energia será inferior aos valores calculados.

Todavia, ainda considero que a sala de aula teve um desempenho luminoso bastante satisfatório, porque conseguiu oferecer uma luz de qualidade e com uma quantidade adequada, uniformidade na distribuição, ausência de ofuscamentos e por fim, uma quase independência do uso da iluminação natural que gerou, pelo menos, uma economia anual de energia elétrica em torno de 68%.

5. Considerações finais

A pesquisa buscou propor etapas que configurassem um processo metodológico viável para a elaboração de projetos arquitetônicos com qualidade ambiental. Como arquiteta por vocação, especialista em Conforto Ambiental e Conservação de Energia por formação, e perseguidora da arquitetura sustentável por determinação filosófica, existia um anseio muito forte por parte da autora em tentar aproximar os conceitos técnicos dessa área específica da arquitetura ao exercício prático da profissão.

Foram então apresentados estudos preliminares para um anteprojeto de escola primária, a fim de exemplificar tal processo, testar sua efetividade e apontar as dificuldades encontradas durante o mesmo.

As etapas propostas buscaram abranger aquelas já utilizadas no processo projetual convencional (como análise do programa arquitetônico e pesquisa sobre as leis de ocupação do terreno, por exemplo), mas também incluir etapas como: a caracterização físico-climática do terreno e do entorno, os ruídos no local, a aplicação da bioclimatologia à arquitetura através da formulação de diretrizes de projeto, e por fim, a avaliação do desempenho do edifício.

Dentre as etapas acima apresentadas, parte da atenção foi dada ao diagnóstico físico-climático da região, pois é partir desta que se recomendam as estratégias de projeto bioclimático. A obtenção de dados climáticos e de características como tipo de céu e níveis de ruído pode ser difícil e pode atrasar o processo, caso o local não esteja relacionado nos bancos climáticos existentes ou o local não possa ser visitado pela equipe para se verificar o cenário acústico de projeto.

No caso dessa pesquisa, o terreno está localizado em São Paulo, cujos dados climáticos e de tipos de céu são facilmente encontrados bibliografia sobre o tema, nos bancos de clima e programas computacionais sugeridos neste trabalho. No entanto, caso a cidade não apresente facilidades para a obtenção dos dados, sempre há a opção de pesquisa na *internet*, contanto que as características relacionadas pelos *sites* consigam caracterizar o cenário climático e luminoso da região.

Para caracterizar o cenário acústico de projeto, a presença do projetista no local é muito importante, já que esse depende das situações de tráfego das vias locais, dos tipos de estabelecimentos comerciais da região e da existência de obstáculos à propagação do ruído. Caso a visita não seja viável, é importante obter informações com pessoas que conhecem a área e pesquisar em *sites* que forneçam dados do tráfego das vias próximas ao terreno. O importante desta etapa é conseguir dados suficientes que caracterizem os cenários de projeto, para assim dar prosseguimento ao trabalho.

Passada esta etapa, as informações coletadas foram sintetizadas a fim de se definir as estratégias de projeto. O método do diagnóstico climático a partir de uma carta bioclimática se mostrou bastante apropriado e acessível, devido ao número de programas computacionais que o fazem e à

indicação de uso pela própria norma brasileira de desempenho térmico de edificações, publicada pela ABNT em 2005 (NBR 15220).

No entanto, para saber transformar as estratégias bioclimáticas recomendadas em projeto arquitetônico é necessário compreender principalmente como ocorrem as relações de trocas de calor entre os meios, para se chegar a um balanço térmico razoável do ambiente.

Porém, é válido ressaltar que as estratégias de projeto adotadas para o lançamento dos estudos preliminares apresentados nessa pesquisa não só levou em consideração o diagnóstico climático da região, mas também dados como: os ruídos verificados na ocasião da visita ao terreno, os tipos de céu e a disponibilidade de luz natural em São Paulo, a topografia do terreno, o entorno edificado, o programa arquitetônico e o método construtivo adotado atualmente pela FDE.

Posso afirmar que trabalhar com essa gama de informações auxiliou no processo de criação, e de maneira alguma atrapalhou ou restringiu as possibilidades estético-formais do projeto. Mesmo necessitando um acréscimo de tempo para a coleta e a análise dos dados, a partir destes foram concebidos os primeiros estudos para um projeto de escola, cujas decisões buscaram abranger desde a disposição dos edifícios e áreas abertas no terreno, até a geometria dos espaços, o desenho das fachadas, as soluções de cobertura e a escolha dos materiais.

Tomadas as decisões iniciais de projeto, foi possível verificar os desempenhos térmico e luminoso da sala de aula, ambiente foco para a análise deste trabalho. A avaliação quantitativa das salas de aula foi realizada através do cálculo do balanço térmico do ambiente nas estações críticas, e da simulação do desempenho luminoso nos solstícios e equinócios, em situações de céu claro e encoberto. Os demais ambientes foram avaliados qualitativamente durante o processo, pois as estratégias gerais de projeto adotadas para esses tiveram as mesmas preocupações em relação à qualidade ambiental.

Os resultados obtidos da avaliação dos desempenhos térmico e luminoso das salas de aula foram bastante satisfatórios. Apesar da análise do desempenho térmico dos blocos de salas de aula ter sido efetuada apenas para as situações extremas de inverno e verão, pôde-se concluir que ambos apresentaram um bom desempenho durante o ano, pois as situações climáticas nos equinócios são mais amenas, trazendo, por consequência, situações internas mais amenas.

Mesmo considerando para análise um dos horários mais quentes do dia (14h), no mês mais quente do ano de referência (fevereiro de 2003), ambas as salas de aula apresentaram-se termicamente agradáveis, com Temperaturas Efetivas internas de 25° e 26,7°C (bloco com maior e menor inércia, respectivamente), quando a Temperatura Efetiva externa era de 27,8°C. Segundo o modelo adaptativo de conforto adotado pela ASHRAE 55-2004, que incorporou o *ASHRAE FINAL REPORT RP-884* de DEAR, BRAGGER e COOPER (1997), esses resultados refletem na satisfação de 90% dos usuários.

Como se optou por analisar o ambiente às 08h da manhã no mês mais frio do ano de referência (julho de 2004), as temperaturas internas resultantes foram 15°C e 17,5°C (bloco com maior e menor inércia, respectivamente), quando a Temperatura Efetiva externa era de 14,1°C. Ainda no modelo adaptativo de conforto, considera-se que as pessoas estão aclimatadas e vestidas adequadamente para suportar as condições climáticas daquela estação.

Em relação ao desempenho luminoso da sala de aula, pôde-se concluir que, com todos os artifícios arquitetônicos para proteção da incidência direta do sol e rebatimento da luz para dentro do ambiente (como a prateleira de luz, por exemplo), o mesmo alcançou a qualidade luminosa e o conforto visual desejados. Os resultados da simulação mostraram que foram fornecidos ao ambiente níveis bastante satisfatórios de iluminância (média mínima de 700 lux e 1100 lux, às 8h no inverno e no verão, respectivamente), distribuídos uniformemente, sem produzir ofuscamentos ou iluminamentos excessivos de regiões. Mesmo em situação de céu encoberto no inverno, obteve-se uma economia anual de energia elétrica em torno de 68%.

Os resultados térmicos e luminosos encontrados nas salas de aula propostas, resumidamente apresentados na conclusão deste trabalho, ilustram o cenário geral atingido pelo projeto. Além desses resultados, foi possível mostrar no decorrer deste trabalho a preocupação também com o conforto acústico, visual e ergonômico. Portanto, mesmo tratando-se de estudos preliminares para um projeto de escola, o objetivo de exemplificar o processo metodológico para elaboração de projetos com qualidade ambiente foi atingido.

Conhecendo as exigências e as dificuldades da rotina do arquiteto do mercado de trabalho atual, elegeu-se como premissa dessa pesquisa mostrar que é viável a inserção de 'novos' hábitos na rotina de projeto, sem atrapalhar o produto final. Pelo contrário, o produto final tem um diferencial em relação aos projetos convencionais, pois oferece ao cliente todas as características e itens encontrados nesses projetos, e ainda, garante ao mesmo, qualidade ambiental, redução dos custos com energia elétrica e dos impactos ao meio ambiente.

Geralmente, o tempo disponível para a criação e o desenvolvimento de um projeto arquitetônico é restrito e envolve etapas fundamentais e às vezes complicadas (como a compatibilização de projetos complementares) durante esse mesmo espaço de tempo. Então, por que se deve destinar parte desse tempo para compreender o clima de um dado local, ou estudar a insolação, ou calcular o desempenho térmico e luminoso dos edifícios?

A justificativa em destinar parte do tempo às análises acima referidas é dada pela necessária preocupação em relação à satisfação dos usuários com o ambiente ocupado e ao impacto ambiental provocado por essa arquitetura. Pode-se responder, por exemplo, que as pessoas que trabalham em um moderno edifício de escritórios estão satisfeitas com seu ambiente de trabalho. No entanto, o impacto ambiental provocado por essa tipologia de edifício é altíssimo, devido ao uso exagerado de sistemas artificiais de condicionamento térmico e de iluminação.

No caso dos espaços de ensino-aprendizagem (objeto dessa pesquisa), pode-se dizer o contrário: essa tipologia de edifício não possui significativo impacto ambiental, no entanto, os alunos e professores mal conseguem desenvolver suas atividades dentro dos ambientes, tal é o desconforto térmico, acústico ou luminoso encontrado.

Os espaços com qualidade ambiental devem ser uma realidade em qualquer lugar do mundo, porque, antes de mais nada, preservam os recursos naturais do meio ambiente para que ainda seja possível ao cidadão das próximas gerações ter um meio ambiente.

Os espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental não podem ser uma realidade distante para o Brasil e nem para nenhum país em desenvolvimento. Devido à atual situação sócio-econômica encontrada nesses países, muitas escolas públicas tornam-se uma referência de bem-estar e conforto para o estudante, que ao regressar à sua casa, encontra uma realidade bem mais difícil, repleta de dificuldades materiais e psico-emocionais. Se ir à escola torna-se uma atividade prazerosa, a vontade crescente de estudar e aprender será uma consequência.

Bem apontado por Christopher (2002), se uma criança passa a maior parte do dia dentro de uma escola, porque não aproveitar que esse espaço a ensine como conservar os recursos naturais, já que nesta fase, a criança está em processo de formação do caráter? A pesquisa procurou responder, justificando a pesquisa, por que o aprendizado é mais eficiente nestes espaços, como podemos usar o meio ambiente como ferramenta de ensino, entre outros assuntos. As respostas dessas perguntas abrem novas oportunidades para incentivar o projeto de escolas com qualidade ambiental.

Segundo Christopher (2002), as crianças que têm a oportunidade de estudar em escolas com qualidade ambiental desenvolvem uma consciência de respeito e preservação pelas riquezas naturais: passam a ter um respeito inato pelo meio ambiente, pelo ar que respiram, pela água que bebem, e pela vida de animais e plantas. Assim, se transformarão em adultos, pais e líderes preocupados onde as próximas gerações viverão. Para ele, o maior benefício de construir escolas com essas características é prover uma significativa e importante experiência de aprendizado ambiental aos estudantes.

Além disso, espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental e com alto desempenho energético trazem à escola e aos usuários dessa vários benefícios, como: a melhora da saúde, do desempenho, da produtividade e da satisfação de todos os envolvidos, a diminuição do absenteísmo e a redução dos custos com manutenção e operação.

Ao dividir o espaço físico escolar em ambientes térmico, luminoso, acústico, visual e ergonômico pôde-se verificar as influências das variáveis de cada um desses ambientes no organismo humano e no desempenho dos usuários dentro deste espaço. No entanto, essas variáveis não podem ser analisadas separadamente, porque todas elas se inter-relacionam, interferem no resultado parcial, e alteram, no final, o desempenho geral do espaço em questão.

Por exemplo, uma sala de aula com superfície envidraçada e desprotegida da incidência solar direta será mais luminosa, porém sofrerá com o ofuscamento e com as elevadas temperaturas internas. Se essa superfície for protegida com uma cortina ou com sombreadores externos muito fechados, a sala ficará escura e perderá a vista para uma paisagem agradável.

Se, por outro lado, essa superfície envidraçada estiver voltada para uma quadra de esportes, o ruído penetrará na sala de aula, prejudicando as atividades internas. Se então as janelas forem vedadas, demandarão algum recurso de condicionamento artificial do ar, que por sua vez, também terão que ser tratados acusticamente. Se a escolha for por um sistema de ar condicionado, o forro convencional (com bocas de insuflamento e retorno do ar) não permitirá o aproveitamento de um dispositivo de luz zenital.

Como visto acima, todos esses exemplos demonstram que qualquer tomada de decisão terá conseqüências no desempenho do espaço, seja ele térmico, luminoso, acústico, visual ou ergonômico. É preciso ter bom senso para usar as estratégias de projeto em favor do melhor resultado, pois o que se espera, no final, é um ambiente confortável, agradável e funcional.

Nesse contexto de tomadas de decisão se encaixa a necessidade de ferramentas de projeto práticas e acessíveis. Quando são muitas as variáveis a serem consideradas, a simulação computacional do desempenho do ambiente torna-se uma ferramenta imprescindível de projeto, pois proporciona a visualização dinâmica de resultados, qualquer que seja a combinação dos fatores.

Atualmente podemos contar com a ajuda de diversos programas computacionais de simulação de desempenho térmico, luminoso, acústico e de eficiência energética, muitos deles gratuitos. Alguns programas são fáceis de operar, possuem uma *interface* amigável, e aceitam a importação de arquivos tridimensionais modelados em outros programas. Isso facilita bastante o trabalho, já que a maioria dos escritórios de arquitetura trabalha com programas de desenho tradicionais (como o *AutoCad*, por exemplo).

Alguns programas de simulação trabalham com algoritmos de cálculo simplificados. No entanto, para fases preliminares de projeto são mais que suficientes. Outros programas são mais complexos, não são gratuitos e exigem treinamento contínuo para domínio da ferramenta. Se não houver tempo disponível para isso, aconselha-se a contratação de um profissional que faça parte da equipe de projeto, pois ele fornecerá dados importantes para a continuação do trabalho.

Como colocado por Lamberts, Dutra e Pereira (1994), mesmo que o uso de programas requeira a contratação de um profissional para sua operação, o arquiteto deve saber avaliar a importância de contar com a simulação na otimização de seu projeto, seja para orientar as decisões de projeto ou para comprovar a eficiência e análise do custo-benefício dessas decisões.

O profissional que trabalhará com as simulações nesses programas deve conhecer o que os mesmos levam em consideração para gerar os resultados. O desconhecimento do tipo de céu que

o programa utiliza, ou dados de clima, infiltrações, simplificações na geometria, etc., pode levar a análises equivocadas dos resultados obtidos, e assim comprometer todo o projeto.

É importante estabelecer, desde as etapas de planejamento, a satisfação dos usuários e o baixo impacto ambiental como metas de projeto, e lutar para isso durante todo o processo de desenvolvimento, até a construção e operação do edifício. Quanto mais cedo essas metas forem consideradas no processo de projeto, mais fácil e menos custoso será para incorporá-las. Além de definir as metas, é preciso estipular os prazos e contratar especialistas para as áreas específicas de projeto.

Mesmo sabendo-se que o orçamento é sempre restrito para construção de edifícios como escolas, por exemplo, é fundamental ter em mente que há soluções para todos os tipos de orçamentos. Tão importante quanto se trabalhar com uma equipe coesa e com os mesmos objetivos, é conseguir que o projeto integre bem todas as áreas, evitando assim redundâncias e conflitos.

Para tornar viável a inserção desses 'novos' hábitos na rotina de projeto, são destacadas abaixo algumas atitudes que devem partir dos próprios escritórios de arquitetura:

- Acrescentar em contrato, um número de horas de trabalho destinado à análise do desempenho ambiental e energético em todas as etapas do projeto. Com isso, é possível encaixar e/ou dissolver o processo metodológico apresentado nessa pesquisa em cada fase do projeto, como:
 - a) estudo do clima, da insolação, e da implantação mais adequada já nos estudos preliminares;
 - b) estudo preliminar de desempenho térmico, luminoso e acústico durante a etapa de anteprojeto;
 - c) simulações mais detalhadas, se for o caso, na etapa de projeto executivo e compatibilização de projetos complementares. Com isso, o tempo 'gasto' com as preocupações ambientais será dissolvido ao longo do contrato do projeto.
- Contratar um profissional especialista na área de conforto ambiental e eficiência energética para efetuar estudos preliminares juntamente com a equipe de projeto e posteriormente, analisar o desempenho ambiental e energético do edifício via cálculos e simulações, fornecendo relatório dos resultados e alternativas para melhorias.

Por fim, recomenda-se como continuidade dessa pesquisa, testar o processo metodológico para a elaboração de projetos com qualidade ambiental aqui apresentado em outras tipologias e soluções arquitetônicas. Assim, o processo metodológico poderá ser aprimorado e complementado com outras etapas e com sugestões de novos métodos de cálculo e programas computacionais de simulação. Com isso, os 'novos' hábitos poderão ser mais rapidamente compreendidos e incorporados à rotina de projeto do arquiteto.

Referências

Bibliografia referenciada
Bibliografia consultada
Programas computacionais utilizados



6. Referências

6.1. Bibliografia referenciada

AKUTSU, M.; SATO, N.M.N.; PEDROSO, N.G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares**: Manual de procedimentos de avaliação. São Paulo: Publicação IPT nº 1732, 1987.

AKUTSU, M. S.; VITTORINO, F.; PEDROSO, N. G.; CARBALLEIRA, L. **Critérios mínimos de desempenho de habitações térreas unifamiliares**: Conforto Térmico. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998.

ALLUCI, M. P. **Recomendações para adequação de uma edificação ao clima, no Estado de São Paulo**. 1981. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

_____. **Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica**. 1993. Tese (doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55-1992**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, Georgia: ASHRAE, 1992.

_____. **ASHRAE 55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401: 1980**: Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto (NB 10). Rio de Janeiro: ABNT, dez. 1980. 17 p.

_____. **NBR 10152: 1987**: Níveis de ruído para conforto acústico (NB 95). Rio de Janeiro: ABNT, dez. 1987. 4 p.

_____. **NBR 5413: 1992**: Iluminância de Interiores - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 13 p.

_____. **NBR 10151: 2000**. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.

_____. **NBR 9050: 2004**. Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaço e Equipamentos Urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 15220-1: 2005**. Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a. 8 p.

_____. **NBR 15220-3: 2005**. Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c. 30 p.

_____. **Projeto 02:136.01-001/1: 2006**. Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2006. 41 p.

ASA - ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **ANSI/ASA S12.60-2002**: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools. 2002. Disponível em: <www.access-board.gov/publications/acoustic-factsheet.htm>

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Energy and Environment in Architecture**. A Technical Design Guide. London: Taylor & Francis Group, 2000. 224 p. il.

BALARAS, C.A. Thermal Comfort. In: SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. **Passive Cooling of Buildings**. Londres: James & James, p. 129-170, 1996.

BOYATZIS, C.J.; VARGHESE, R. **Children's emotional associations with colors**. Estados Unidos: National Center for Biotechnology Information (NCBI), 1994. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=8021626&d>. Acesso em: 20 abr. 2006.

BRAGER, G.S.; DEAR, J.D. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, n. 27, 1998.

BRASIL. Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1996. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em: 27 dez. 2005.

_____. Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003. Dispõe sobre os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, e dá outras providências. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Diário Oficial da União; Poder Executivo**, Brasília, DF, de 16 de janeiro de 2003. Disponível em: <<http://www.techcleaner.com.br>>. Acesso em: 13 abr. 2006.

BROWN, G.Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz**: estratégias para o projeto de arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2ª ed. 2004. 415 p., il.

BUSCH, J.F. A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. Energy Analysis Program, Applied Science Division, Lawrence Laboratory. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 235-249, 1992.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. Windows and Classrooms: a Study of Student Performance and the Indoor Environment. **Commission Report**, out. 2003. Califórnia, 2003b. Disponível em: <<http://www.newbuildings.org/downloads>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

CARVALHO, J.C. A qualidade subjetiva do sono e atividades organo-cerebrais relacionadas com níveis sonoro e hormonal de cortisol em pacientes hospitalizados. 1996. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996. Disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/lpf/2-20intro.html>>. Acesso em 18 abr. 2006.

CHAMBERS, J.D. The furniture equation. **American School & University**. 01 junho 2004. Disponível em: <http://asumag.com/Furniture/university_furniture_equation/>. Acesso em: 20 abr. 2006.

CHRISTOPHER, G. Design for sustainable learning. **Educational Facility Planner**, n. 37 (2), 2002. Disponível em: <<http://sbw.cefp.org/pdf/DesignSustainable.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2005.

CHPS – THE COLLABORATIVE FOR HIGH PERFORMANCE SCHOOLS. **Best Practices Manual 2002**: Planning. V. I. Califórnia, 2002a. Disponível em: <<http://www.chps.net/manual/index.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

_____. **Best Practices Manual 2002**: Design. V. II. Califórnia, 2002b. Disponível em: <<http://www.chps.net/manual/index.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos** – conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 288 p. il.

DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptative model of thermal comfort and preference**. Sydney: ASHRAE, 1997. (ASHRAE FINAL REPORT RP-884)

DE BENEDETTO, G. S. De. **Análise de dados climáticos: São Paulo e Rio de Janeiro**. 2006. 55 f. Trabalho Programado 1 do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DEUTSCHE NORM. **DIN 5034**. Part 1: Daylight in interiors. General requirements. 1983.

E DESIGN. **Rethinking Classroom Acoustics**: Part One. In: ASHRAE WINTER MEETING SEMINAR - HVAC NOISE IN CLASSROOMS: OVERCOMING BARRIERS TO LEARNING, jan. 1999, Chicago. Publicado em 06 abr. 1999. Disponível em: <<http://www.state.fl.us/fdi/edesign/news/9904/acous1.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2006.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. A literature review of the effects of natural light on building occupants. **National Renewable Energy Laboratory - NREL**, Colorado, jul. 2002. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/30769.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

ENERGY DESIGN RESOURCES. **Design Brief: Daylighting**. Architectural Energy Corporation. Estados Unidos, 1999. Disponível em: <www.energydesignresources.com>. Acesso em: 18 jan. 2006.

ENGELBRECHT, K. **The impact of color on learning**. Chicago, Illinois: Perkins & Will, 2003. il. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20040218065036/http://www.merchandisemart.com/neocon/NeoConConfPro/W305.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2006.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Indoor Air Quality & Student Performance**. United States: Indoor Environments Division - Office of Radiation and Indoor Air. Revised August 2003 (402-K-03-006). 8 p. Disponível em: <www.epa.gov/iaq/schools>. Acesso em: 20 nov. 2005.

EYER, R. Mobiliário escolar acessível e tecnologia apropriada. Uma contribuição para o ensino inclusivo. In: EDUCAÇÃO INCLUSIVA NO BRASIL - DIAGNÓSTICO ATUAL E DESAFIOS PARA O FUTURO, 24 a 26 março de 2003, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: 2003. Disponível em: <www.cnotinfor.pt/inclusiva>

FERIADI, H.; WONG, N.H. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. **Energy and Buildings**, n. 36, 2004.

FERREIRA, A. de F.; MELLO, M. G. de. **Arquitetura escolar paulista: estruturas pré-fabricadas**. São Paulo: FDE. Diretoria de Obras e Serviços, 2006. 336 p. il.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 5ª ed. 2001. 243 p., il.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289 p. il.

FROTA, A.B. **Ventilação natural nas Edificações**. Apostila (material de aula). Universidade de São Paulo, CECACE - Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia, São Paulo.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Applied Science, 1976. 483 p.

_____. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

_____. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 262 p. il.

GOULART et. al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. 1994. 80 p. il. Relatório interno n. 02/94 – Núcleo de Pesquisa em Construção,

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/publicacoes>. Acesso em: 25 mar. 2006.

HESCHONG, L. Daylighting and Human Performance. **ASHRAE Journal**. Jun. 2002. Disponível em: <www.ashrae.org>. Acesso em: 14.jun.2005.

HESCHONG MAHONE GROUP. Daylighting in schools: an investigation into the relationship between daylighting and human performance. **Pacific Gas and Electric Company Report**. Califórnia, 1999. Disponível em: <www.pge.com/pec/daylight/>. Acesso em 01 nov. 2005.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.

JABARDO, J.M.S. Conforto Térmico. **Série Comunicação Técnica IPT**. Publicação n. 1598. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1984. 21 p.

JAGO, E.; TANNER, K. **Affects of the school facility on student achievement**. 1999. Disponível em: <<http://www.coe.uga.edu/sdpl/researchabstracts/visual.html>>. Acesso em: 20 abr. 2006.

KENNEDY, M. Furniture. **American School & University**, 01 abril 2004. Disponível em: <http://asumag.com/Furniture/university_furniture/>. Acesso em: 20 abr. 2006.

KENNEDY, M. Classroom Colors. **American School & University**, 01 maio 2005. Disponível em: <http://asumag.com/mag/university_classroom_colors/>. Acesso em: 20 abr. 2006.

KHOUIW, N. The meaning of color for gender. **Color Matters**, 2002. Disponível em: <<http://www.colormatters.com/khouw.html>>. Acesso em: 20 abr. 2006.

LABAUT - LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **CENPES II, Arquitetura e Eco-eficiência: Clima, Insolação e Índices de Conforto**. 2004. (Relatório técnico de acesso restrito) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: ProLivros, 2004. 2ª edição. 192p. il.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação da habitação de interesse social**. Relatório parcial do projeto de Normalização em Conforto Ambiental. Florianópolis, 1998.

LANG, D. Essential criteria for an ideal learning environment. **New Horizons for Learning**, Seattle, 1996. Disponível em:

<http://www.newhorizons.org/strategies/learning_environments/lang.htm>. Acesso em: 20 abr. 2006.

LEUCZ, J. **Ambiente de trabalho das salas de aula no ensino básico nas escolas de Curitiba**. 2001. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MANSY, K. A user-friendly procedure to visualize the hourly quantitative performance of daylighting systems. **Solar Energy**, v. 77, p. 373-380. Elsevier: London, 2004.

MASCARÓ, L. R. de. **Luz, Clima e Arquitetura**. São Paulo: Editora USP, 1978.

_____. **Energia na Edificação**. São Paulo: Projeto, 1991.

MÜLLER, Dominique Gauzin. **Sustainable architecture and urbanism: concepts, technologies, examples**. Basel; Berlin; Boston: Birkhäuser, 2002. il.

NELSON, P.G. et al. **Classroom acoustics II: Acoustical barriers to learning**. Melville, NY: Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America, 2003. 16 p. il. Disponível em: <<http://asa.aip.org/classroom/bookletII.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2006.

OITICICA, M.L.G. da R.; GOMES, M. de L.B. O estresse do professor acentuado pela precariedade das condições acústicas das salas de aula. In: XXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP 2004, Florianópolis, SC, Brasil. **Anais...** Florianópolis, SC: 03 a 05 nov. 2004. p. 2539-2546. Disponível em: <http://www.producaoonline.inf.br/v04n04/artigos/PDF/Enegep0405_0681.pdf>. Acesso em 19 abr. 2006.

OLESEN, B.W.; PARSONS, K.C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730, **Energy Buildings**, n. 34, 2002.

OLGYAY, V. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1963.

_____. **Clima Y Arquitectura en Colômbia**. Colômbia: Universidade del Valle, 1968.

_____. **Arquitectura y clima – Manual de desenho bioclimático para arquitetos y urbanistas**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A., 1998.

OLSON, S.L.; KELLUM, S. The impact of sustainable buildings on educational achievements in K-12 schools. **Leonardo Academy Cleaner and Greener Program Report**, nov. 2003. Disponível em: <<http://www.cleanerandgreener.org/download/sustainable-schools.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

PEREIRA, D.C.L. **Modelos físicos reduzidos**: uma ferramenta para a avaliação da iluminação natural. 2006. 245 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PLYMPTON, P. et al. Daylighting in schools: improving student performance and health at a price schools can afford. **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**, ago. 2000. (Apresentado em AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY CONFERENCE, Madison, Wisconsin, 16 jun. 2000). Disponível em: < <http://www.doe.dov/bridge>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

PRADO, L.C. **Acústica Arquitetônica**. 1962. 128 p. Texto datilografado (material de aula) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1962.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima**: condicionamento térmico natural. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1985.

RORIZ, M. **Conforto Térmico e Economia de Energia em Edificações**. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 1991.

SAINZ, M. Nervios y problemas auditivos, los principales efectos del ruido. **El mundo salud**, Madri, 10 maio 2004. Disponível em: <http://elmundosalud.elmundo.es/elmundosalud/2004/05/07/salud_personal/1083943649.html>. Acesso em: 18 abr. 2006.

SCARAZZATO, P. S. **Investigação sobre critérios para determinação e medição dos níveis de conforto térmico**. 1987. 163 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SCHNEIDER, M. Do school facilities affect academic outcomes? **National Clearinghouse for Educational Facilities**, nov. 2002. Disponível em: <www.edfacilities.org>. Acesso em: 01 dez. 2005.

SEEP, B. et al. **Classroom Acoustics I**: A resource for creating learning environments with desirable listening conditions. Melville, NY: Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America, 2000. 16 p. il. Disponível em: <<http://asa.aip.org/classroom/booklet.html>>. Acesso em: 12 abr. 2006.

SZOKOLAY, S.V. **Thermal design of buildings**. RAI A Educational Division 2^a Mugga Way Red Hill ACT 2603, Austrália, 1987.

_____. Use of the new effective temperature: ET* in practice. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA), 18, 2001, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: PLEA, 2001. p. 1003-1008.

THOMPSON, S. Color in Education. **School Planning & Management**, dez. 2003. [S.l.]: Peter Li Education Group, 2003. Disponível em: < <http://www.peterli.com/archive/spm/551.shtm>>. Acesso em 20 abr. 2006.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001. 378 p.

VIANNA, N. S. O Estado da Arte em Ensino e Pesquisa na Área de Conforto Ambiental no Brasil. São Paulo: FAU USP, 2001.

6.2. Bibliografia consultada

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215: 2005**. Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005e.

AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE (ARI). **Executive Summary: ARI Classroom Acoustical Study**. Disponível em: <http://www.ari.org/er/documents/ARI_clsrm_exc_sum.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2006.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55-1974**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. New York: ASHRAE, 1974.

_____. **ASHRAE 55-1981**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, Georgia: ASHRAE, 1981.

AUGENBROE, G.; HENSEN, J. Simulation for better building design. **Building and Environment**, v. 39, n. 8, p. 875-877, ago. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

BAKER, N. The influence of thermal comfort and user control on the design of a passive solar school building: Locksheath primary school. **Energy and Buildings**, v. 5, n. 2, p. 135-145, dez. 1982. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

BONEH, M. Environmental comfort in educational buildings — Influence of windows and other openings. **Energy and Buildings**, v. 4, n. 3, p. 239-243, jul. 1982. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

BRAGER, G.S.; DEAR, R. A standard for natural ventilation. **ASHRAE Journal**, 2000.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. Recommended best design practices for all new public schools. **Commission Report**, set. 2003. Califórnia, 2003a. Disponível em: <<http://www.newbuildings.org/downloads>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

CARTER, D. J. The lighting of the St. Mary's School, Wallasey. **Building and Environment**, v. 19, n. 4, p. 209-215, 1984. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

CHPS – THE COLLABORATIVE FOR HIGH PERFORMANCE SCHOOLS. **Best Practices Manual 2002**: Criteria. V. III. Califórnia, 2002c. Disponível em: <<http://www.chps.net/manual/index.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

_____. **Best Practices Manual 2002**: Maintenance and Operations. V. IV. Califórnia, 2002d. Disponível em: <<http://www.chps.net/manual/index.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

_____. **Demonstration project**: Georgina Blach Intermediate school. Califórnia, 2002e. Disponível em: <<http://www.chps.net>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

_____. **Case Study**: Georgina Blach Intermediate school. Califórnia, 2002f. Disponível em: <<http://www.chps.net>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

CONTRERAS, V. S.; GONZÁLES, J. B. D. UNITEC Universidad Tecnológica. **ADHOC**. Morelia, México: A+P Arquitectura + Publicaciones S.A. de C.V., dez/jan 2006, p. 16-47.

DANZ, Ernst. **La arquitectura y el Sol**. Protección solar de los edificios. Barcelona: Editora Gustavo Gili, S.A., 1967. 149 p. il.

FIELDING, R. Lighting the learning environment. **Design Share**. Jun. 2000. Disponível em: <<http://www.designshare.com/Research/Lighting/LightingEnvr1.htm>>. Acesso em: 22 set. 2006.

FILIPPIN, C. Thermal response of solar and conventional school buildings to design- and human-driven factors. **Renewable Energy**, v. 30, n. 3, p. 353-376, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FDE). Diretoria de Obras e Serviços. **Escolas Estaduais de 1º grau**: projetos arquitetônicos 96/97/ Fundação para o Desenvolvimento da Educação. São Paulo: FDE, 1997. 164 p.

_____. **Arquitetura escolar e política educacional**: os programas na atual administração do Estado; apresentação: Mário Covas; prefácio: Rose Neubauer. São Paulo: FDE, 1998. 156 p. il.

GONZÁLEZ, E.; BRAVO, G. Toward appropriate comfort temperatures to the hot and humid climatic conditions. In: PLEA - THE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Florianópolis, 2001. **Anais...** Florianópolis: 2001. p. 823-828.

HAWKES, D. **Energy efficient building: architecture, engineering, and environment**. New York: Norton & Company Inc., 1ª ed. 2002. 239 p., il.

HENSEN, J.; AUGENBROE, G. Performance simulation for better building design. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 8, p. 735-736, ago. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

HUMPHREYS, M. A. A study of the thermal comfort of primary school children in summer. **Building and Environment**, v. 12, n. 4, p. 231-239, 1977. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

INNOVATIVE DESIGN. **Sustainable schools**: Buildings that teach sustainability. Disponível em: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 mai. 2005.

_____. **Sustainable schools**: Reducing operating costs. Disponível em: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 mai. 2005.

_____. **Sustainable schools**: Improving academic performance. Disponível em: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 mai. 2005.

_____. **Sustainable schools**: Protecting our environment. Disponível em: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 mai. 2005.

_____. **Sustainable schools**: Improving health, safety and comfort. Disponível em: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 mai. 2005.

_____. **Sustainable schools**: Supporting community values. Disponível em: <www.innovativedesign.net>. Acesso em: 10 mai. 2005.

JOÃO FILGUEIRAS LIMA LELÉ. **Arquitetos Brasileiros**. Lisboa: Editora Blau, 2000. Instituto Lina Bo e P.M. Bardi. 264 p.

JOHNSTON, S. A. The dynamic pattern of shading and solar heat gains through windows. **Vital Signs Curriculum Materials Project**. United States of America: Miami University. Disponível em: <<http://arch.ced.berkeley.edu/vitalsigns>>. Acesso em: 7 jul. 2005.

KATS, G. et al. The Costs and Financial Benefits of Green Buildings. A report to **California's Sustainable Building Task Force**, oct. 2003. Estados Unidos, 2003. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/docs/news/news477.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2006.

KRÜGER, E. L.; ZANNIN, P.H.T. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1055-1063, set. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

KWOK, A. G.; CHUN, C. Thermal comfort in Japanese schools. **Solar Energy**, v. 74, n. 3, p. 245-252, mar. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

LNEC - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Regras de qualidade relativas ao conforto térmico dos edifícios escolares**. 1979a. 1º Projecto. Relatório integrado no Plano de Estudos no Domínio dos Edifícios. Lisboa, 1979.

_____. **Apreciação duma construção escolar segundo a solução Engil**. 1979b. Estudo realizado para a Direcção-geral do Equipamento Escolar. Lisboa, 1979.

MASCARÓ, L. R. de. **Luz, Clima e Arquitetura**. São Paulo: Editora USP, 1978.

MAITREYA, V. K. Integrated design for school buildings. **Building and Environment**, v. 14, n. 2, p. 119-124, 1979. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

MCKENNAN, G. T. St. George's School Wallasey, the visual environment. **Building and Environment**, v. 20, n. 1, p. 61-71, 1985. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

MILAN, B. J.; PATTISON, J. R. The thermal behaviour of an integrated environment school design (Elmstead Market County primary) 1974-1975. **Building and Environment**, v. 14, n. 3, p. 167-181, 1979. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

NICKLAS, M.; BAILEY, G. Analysis of the Performance of Students in Daylit Schools. In: AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY (ASES) CONFERENCE, 1997, Washington D.C. **Anais...** Washington D.C: abr. 1997. p. 25-30. Disponível em: <<http://www.deptplanetearth.com/pdfdocs/energydaylit.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

O'CONNOR, J. et al. **Tips for Daylighting with windows**. The integrated approach. California: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997. Disponível em: <<http://btech.lbl.gov/pub/designguide/credits.html>>

SOUZA, J.M.A. (coord. geral); MELLO FILHO, J.H. (elabor.). **Urbanização: ambientes das áreas de recrutamento** (Recomendações técnicas. Especificações n. 7). Brasília: Fundescola/ MEC, 2000, 32 p.

UNICEF. 2005 acaba e meninas continuam sem escola. **Nações Unidas no Brasil**. Pequim, 25 nov. 2005. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/view_news.php?id=3230>. Acesso em: 29 nov. 2005.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. **National Best Practices Manual for Building High Performance Schools**. United States of America, 2002. Disponível em: <www.energy.gov>. Acesso em: 10 mai. 2005.

_____. **Energy Design Guidelines for High Performance Schools**. United States of America, 2004. Disponível em: <www.eere.energy.gov>. Acesso em: 10 mai. 2005.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Indoor Environments Division. **Indoor Air Quality Tools for Schools**. United States of America, 2000. Disponível em: <www.epa.gov>. Acesso em: 10 mai. 2005.

WARD, I. C. **Energy and environmental issues for the practicing architect: a guide to help at the initial design stage**. London: Thomas Telford Limited, 2004. 292 p. il.

WONG, N. H.; JAN, W. L. S. Total building performance evaluation of academic institution in Singapore. **Building and Environment**, v. 38, n. 1, p. 161-176, jan. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journals>>. Acesso em: 07 jul. 2005.

6.3. Programas computacionais utilizados

LABEEE. **Declinação Magnética Brasil v. 2.0**. Florianópolis.

MENDES, N. **Psychros**. Florianópolis, 1997.

LABEEE. **Analysis Bio v.2.1.2**. Florianópolis, 2004.

ALUCCI, M.P. **Climaticus v. 4.2**. São Paulo, 2005.

ALUCCI, M.P. **Chaminé v. 2.5**. São Paulo, 2006.

MARSH, A. **Ecotect**. Austrália, 1997.

@ LAST SOFTWARE. **Sketch Up v.4.0.123**. Colorado, 1999.

SCARAZZATO, P.; SILVA, R. R. **DLN - Disponibilidade de Luz Natural v. 2.0.6**. São Paulo, 1997.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORIES. **Radiance**. Califórnia.

Anexos

Anexo A - Estudos preliminares para um anteprojeto de escola
Anexo B - Cálculos e simulações de desempenho



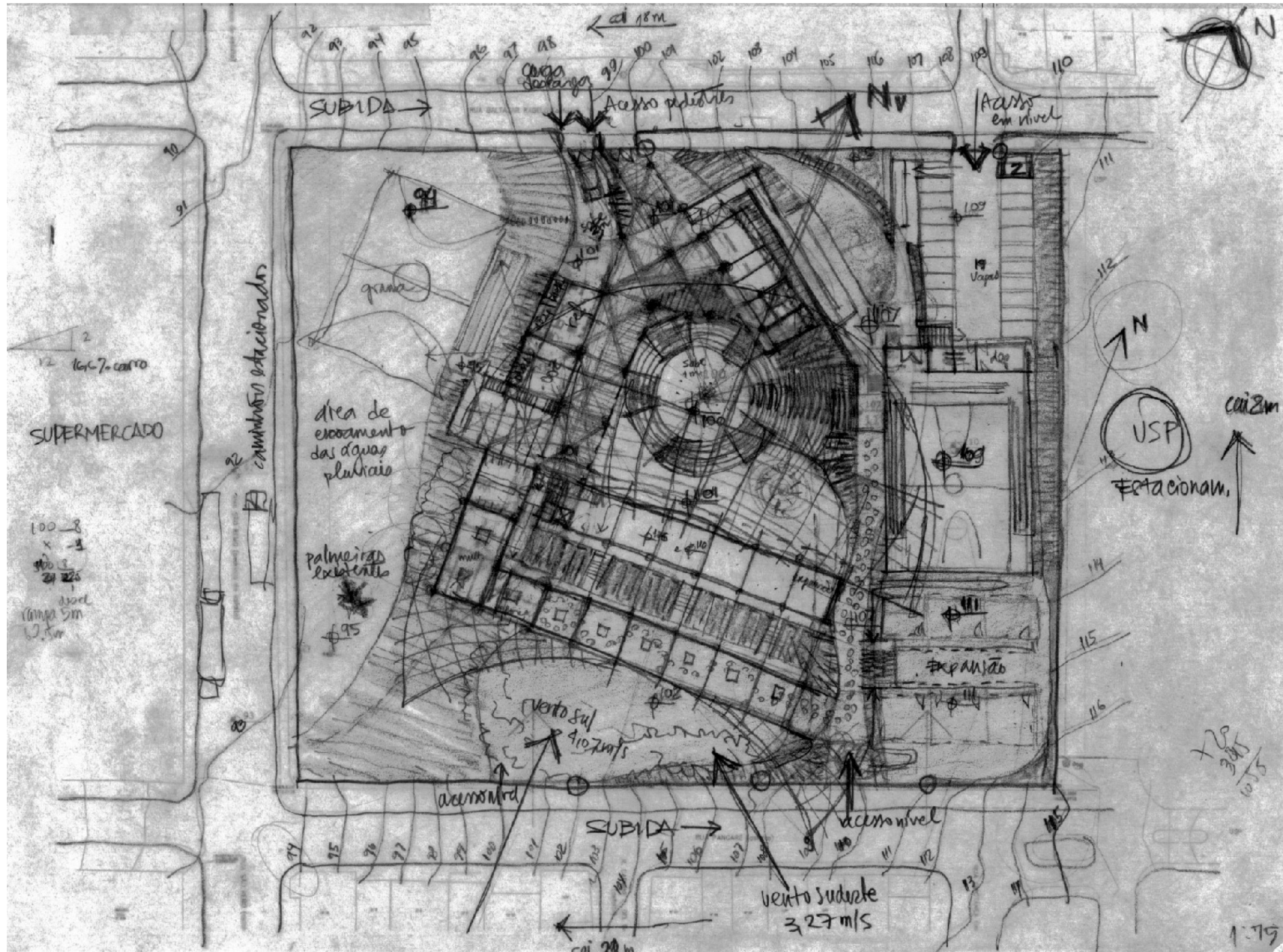


Figura 96 - Estudos iniciais de implantação

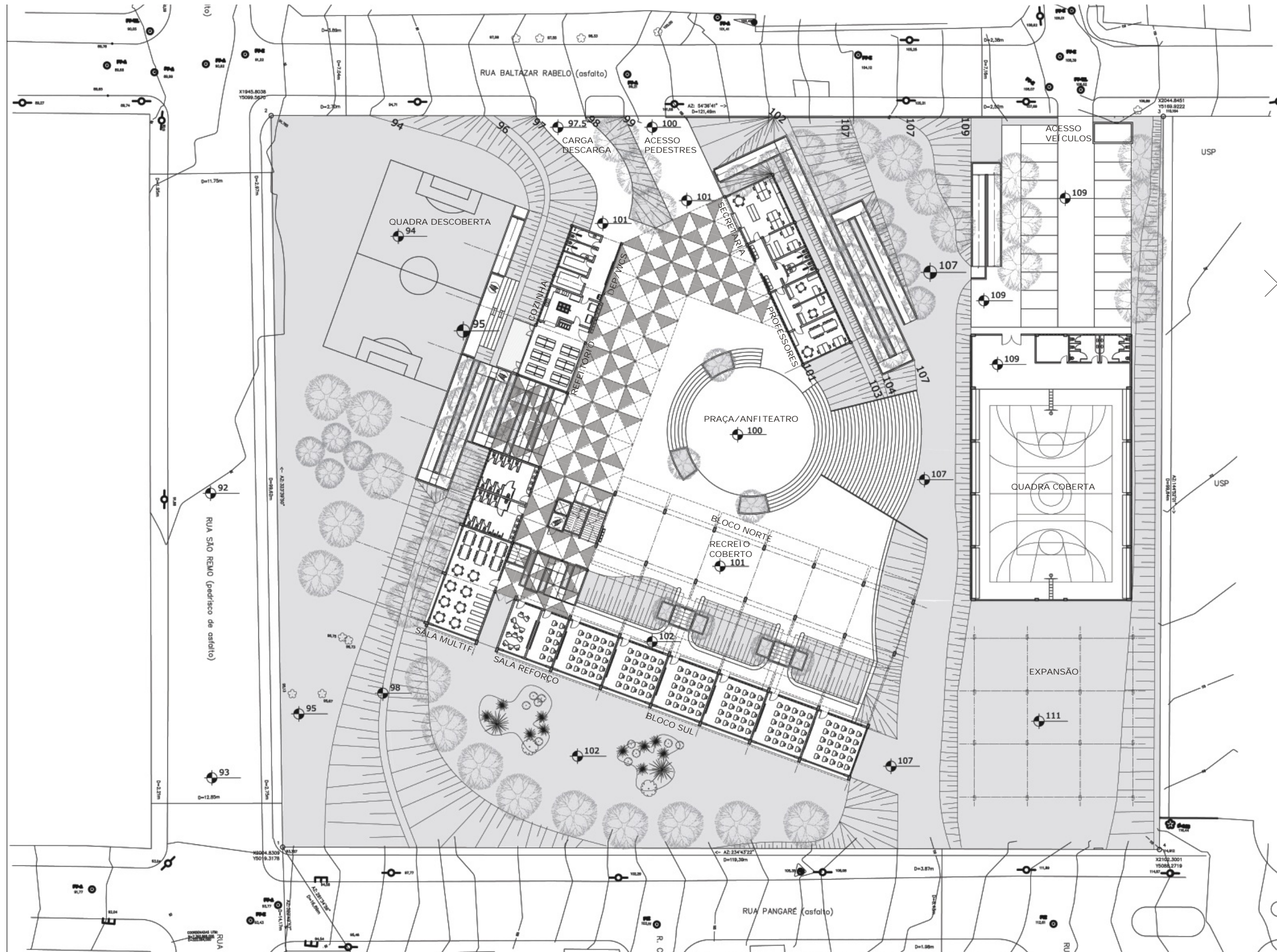


Figura 97 - Implantação do conjunto; planta baixa dos edifícios

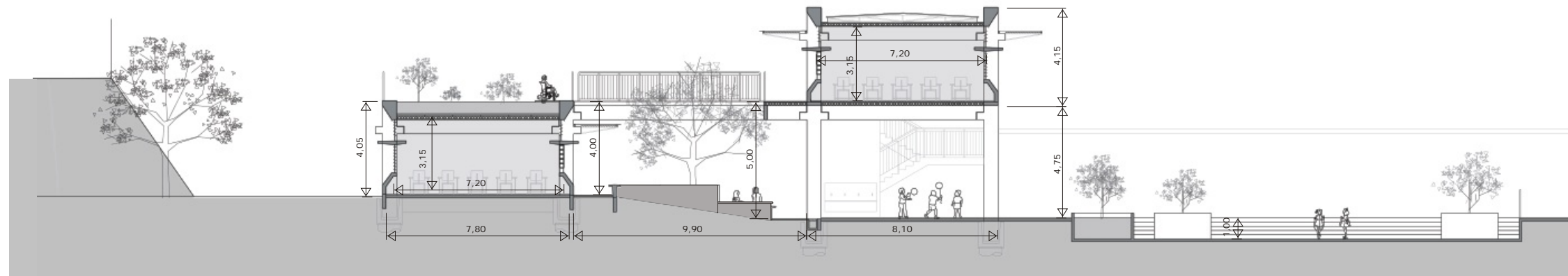


Figura 98 - Corte transversal AA pelos blocos de salas de aula

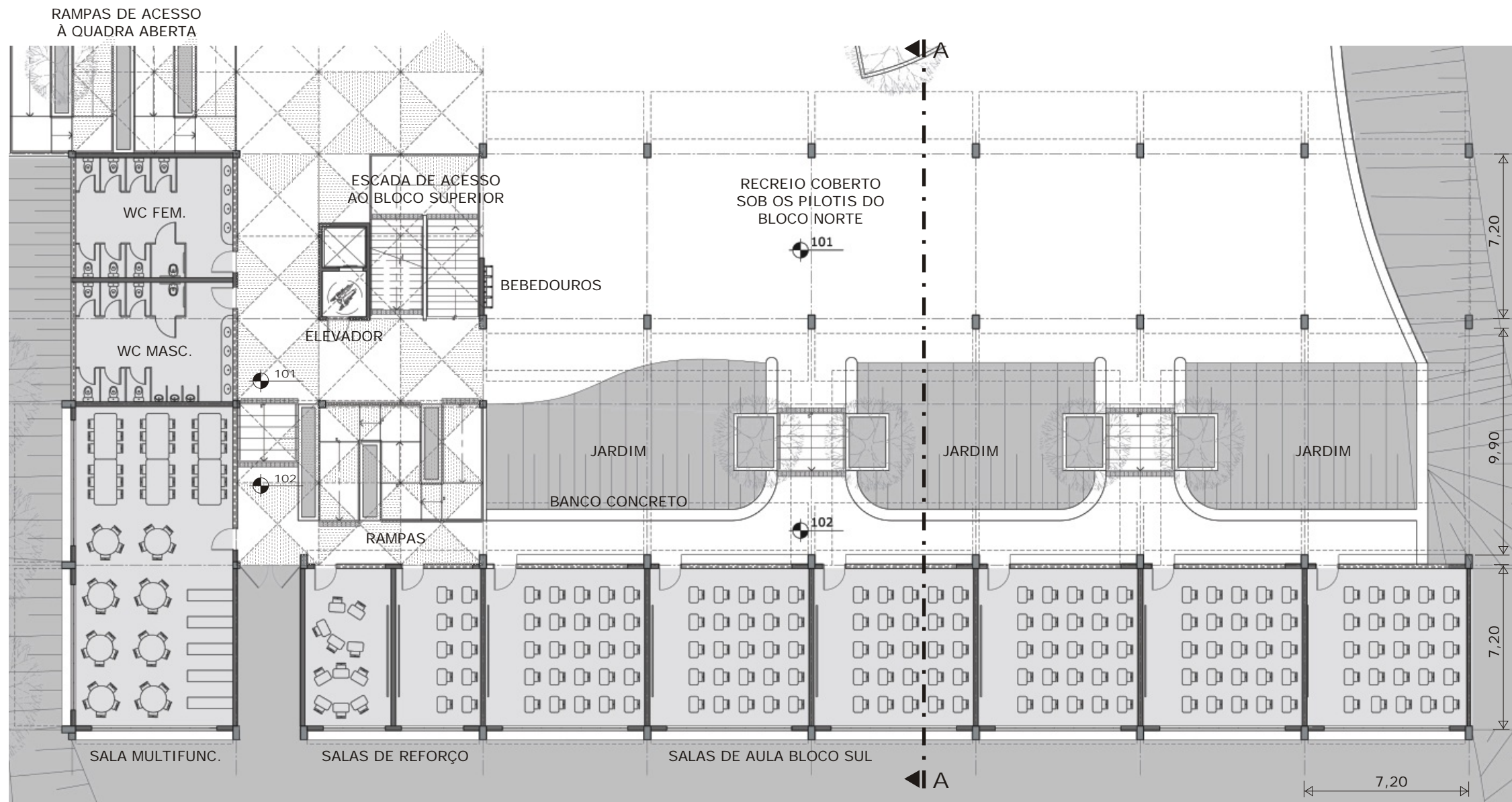


Figura 99 - Planta ampliada dos blocos de salas de aula

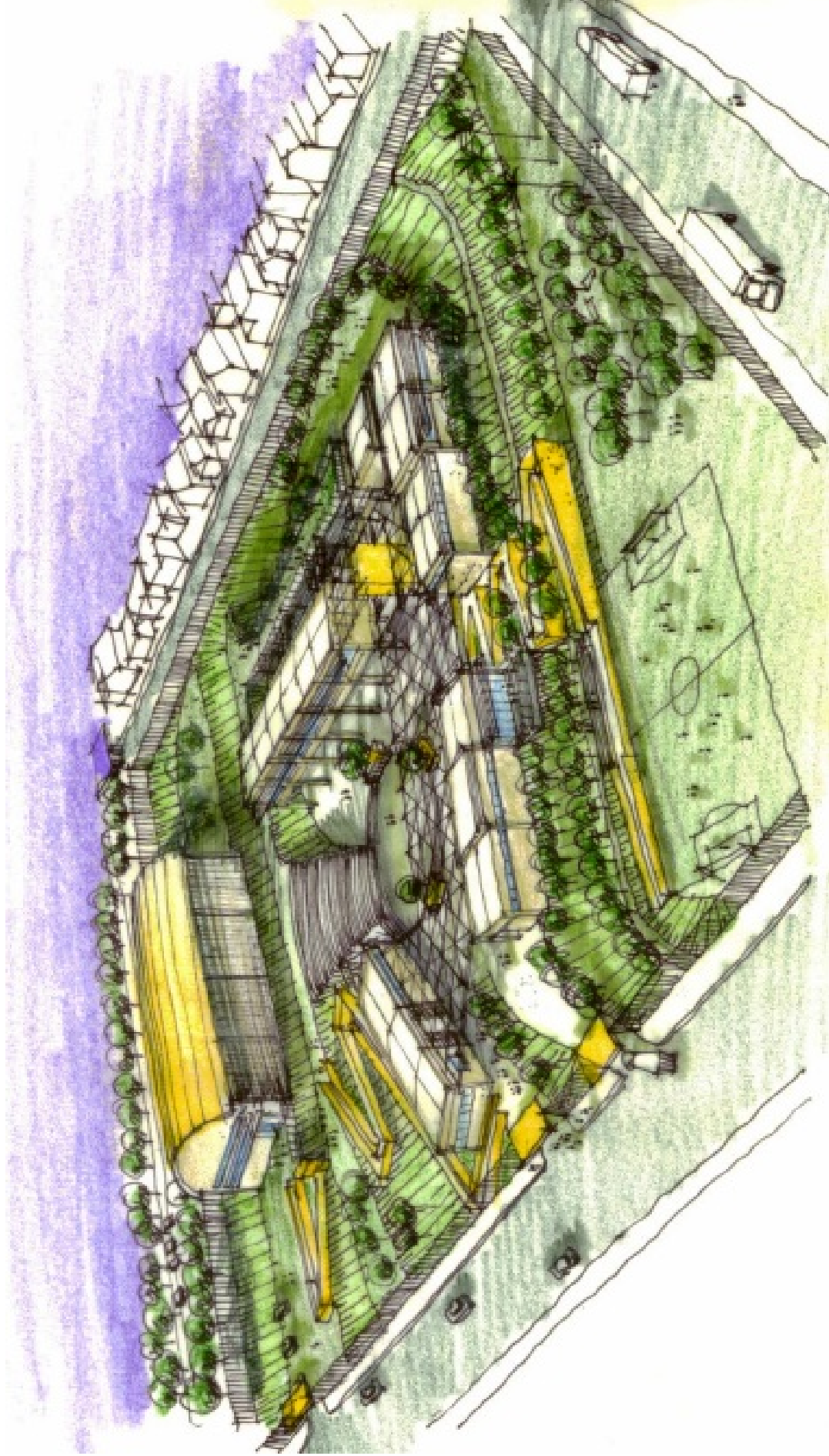


Figura 100 - Implantação geral do conjunto



Figura 101 - Vista parcial do conjunto; teto jardim sobre o bloco sul de salas de aula



Figura 102 - Acesso de pedestres ao conjunto da escola; percurso sob pérgola



Figura 103 - Anfiteatro e praça central da escola

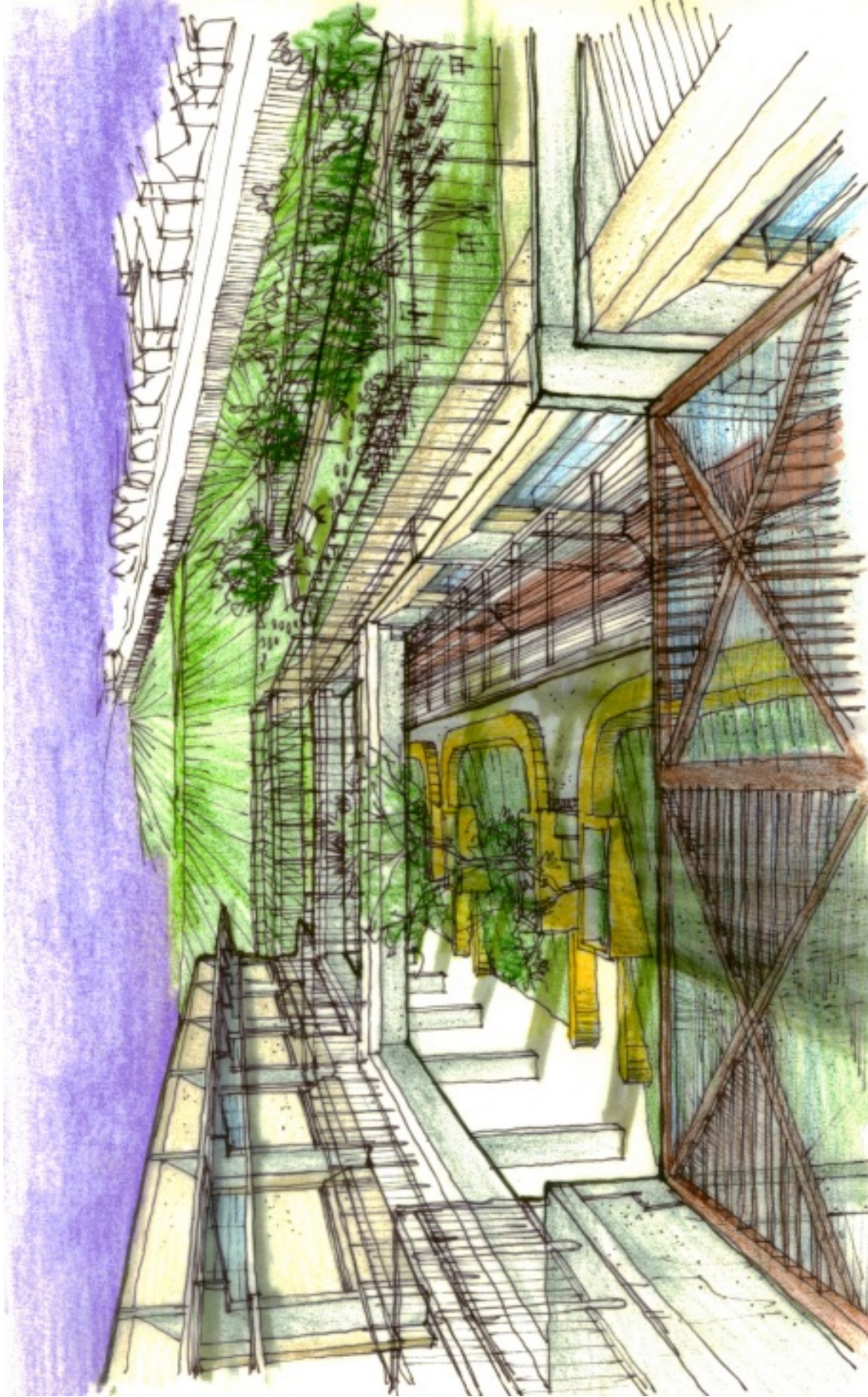


Figura 104 - Conexão entre os blocos de salas de aula; inserção da construção à topografia do terreno

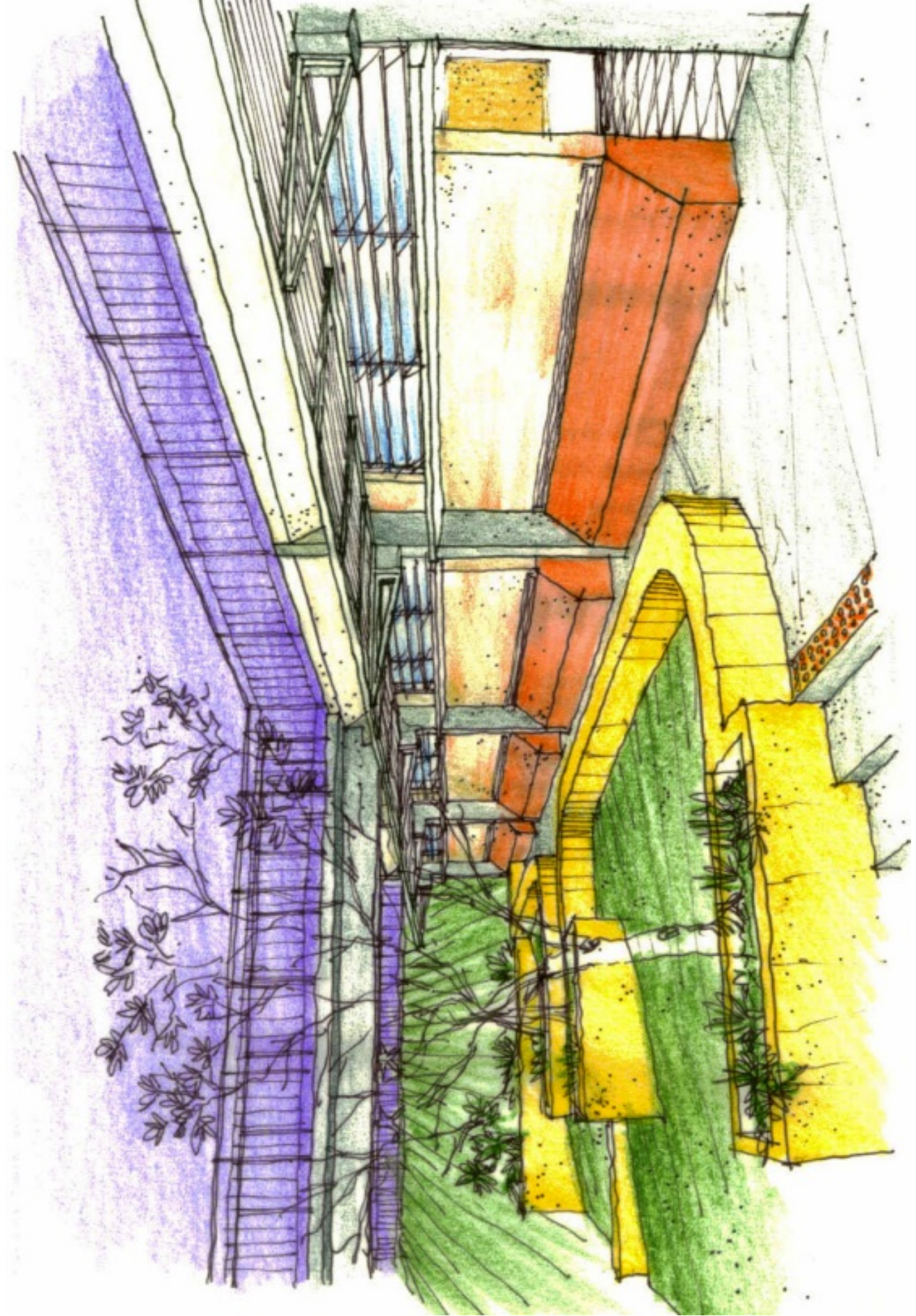


Figura 105 - Jardim entre os blocos de salas de aula

ANEXO B - Cálculos e simulações de desempenho

Insolação

Estudo de insolação realizado no programa computacional *Ecotect*

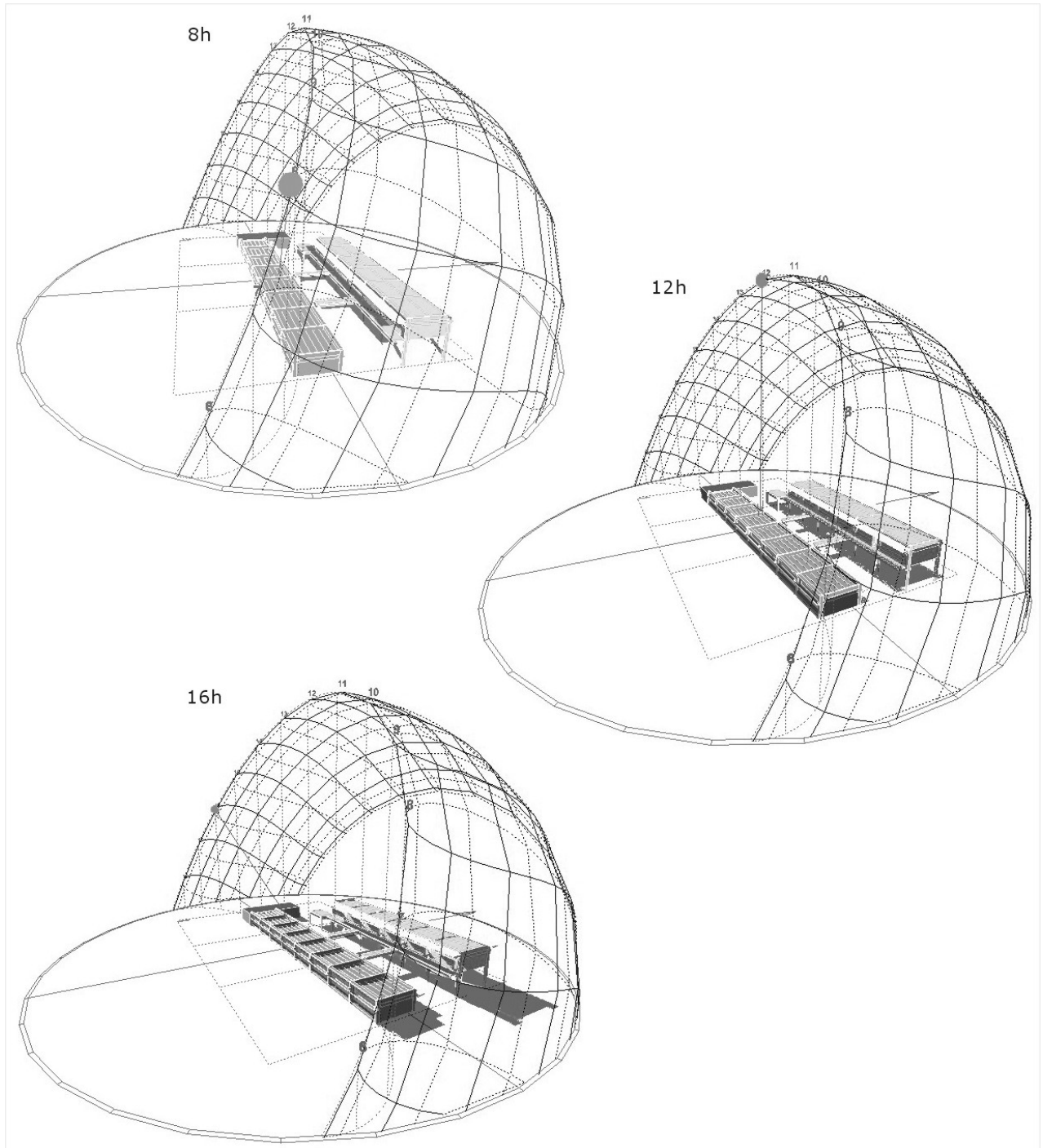


Figura 106 - Trajetória solar no solstício de verão

Estudo de insolação realizado no programa computacional *Ecotect*

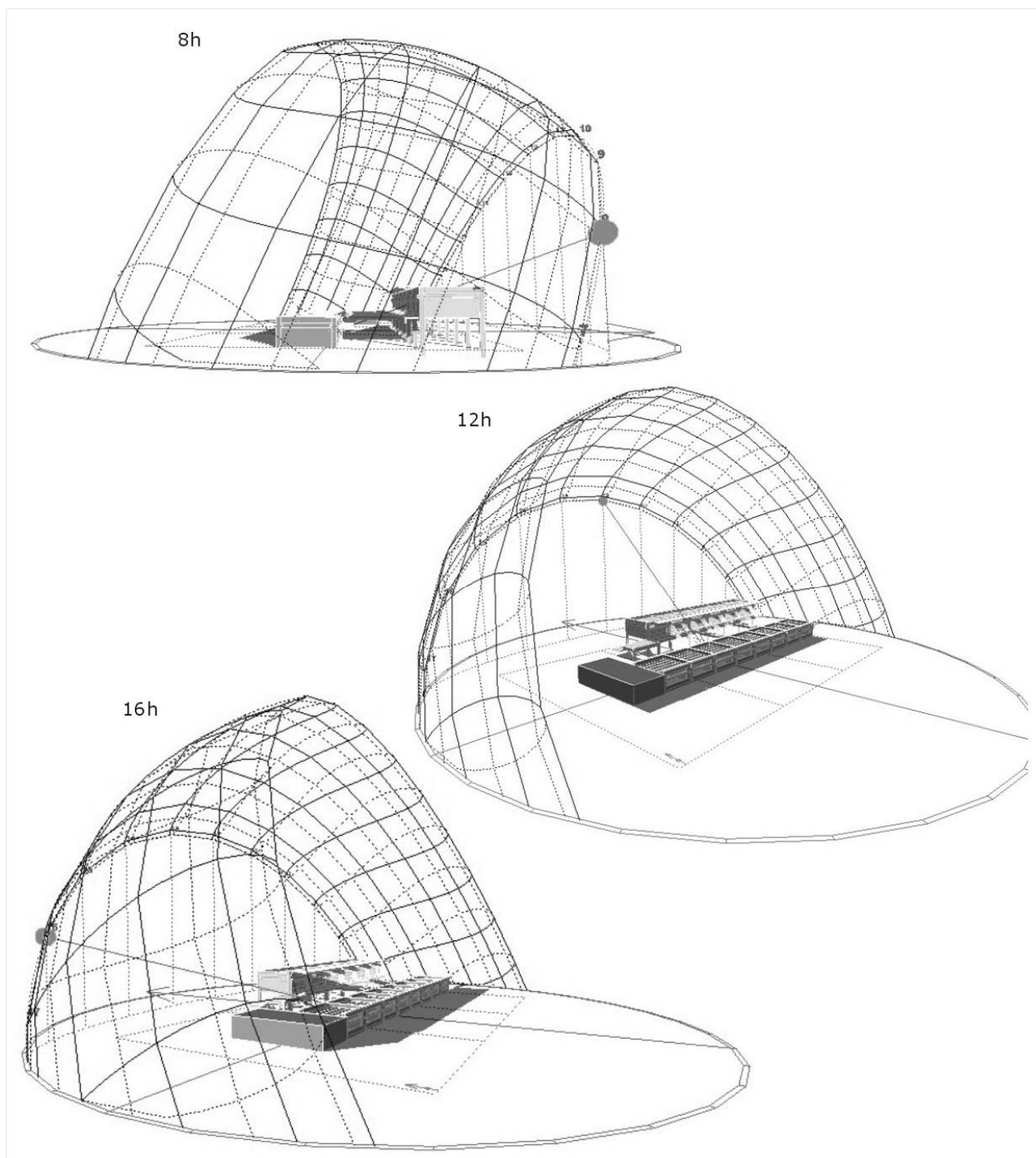


Figura 107 - Trajetória solar no solstício de inverno

Estudo de insolação realizado no programa computacional *Ecotect*

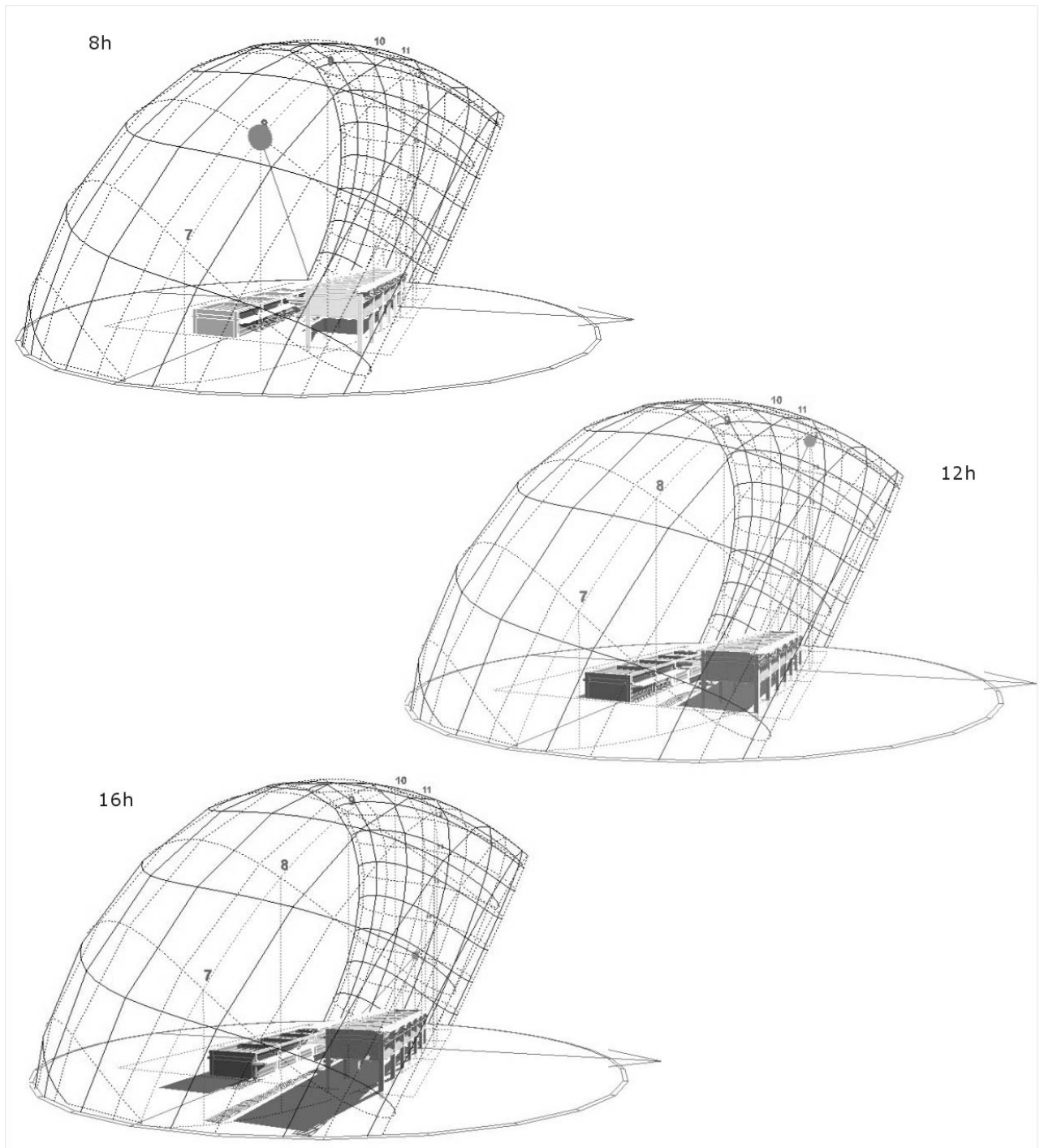
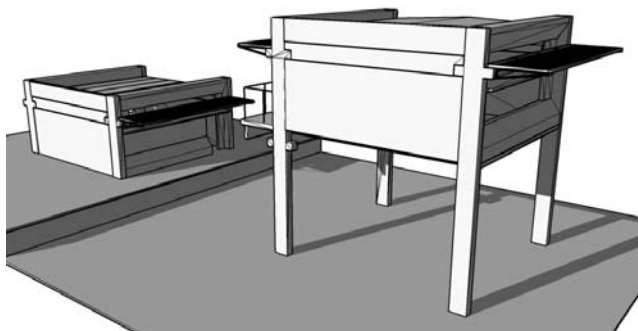


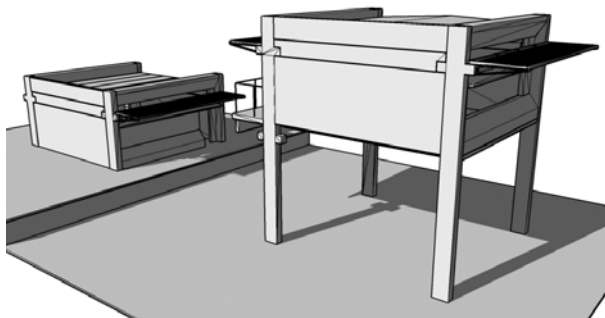
Figura 108 - Trajetória solar nos equinócios

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

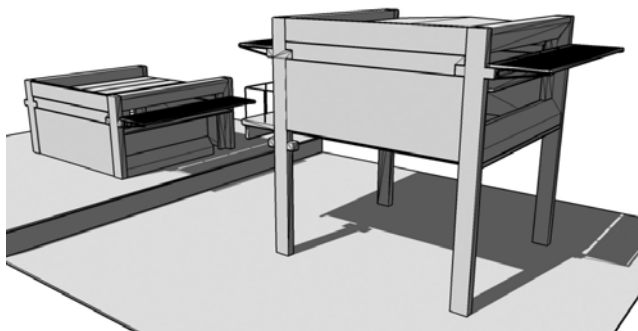
7h



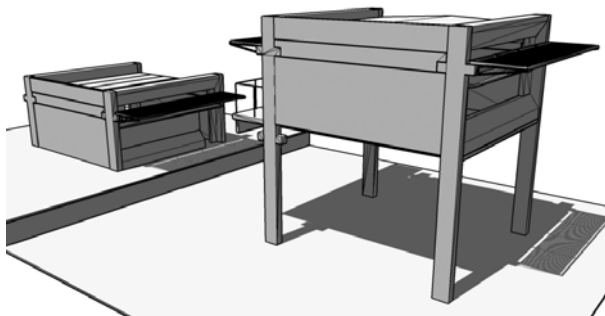
8h



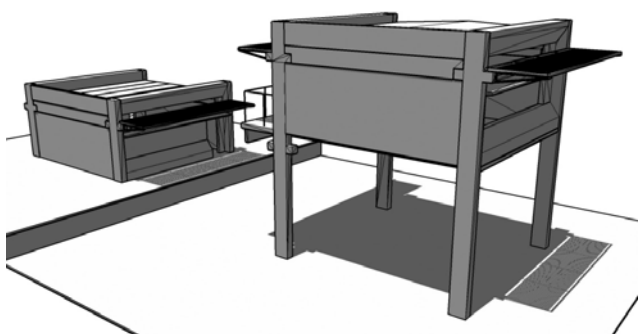
9h



10h



11h



12h

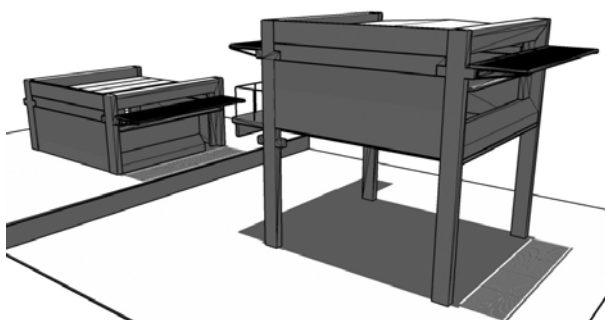
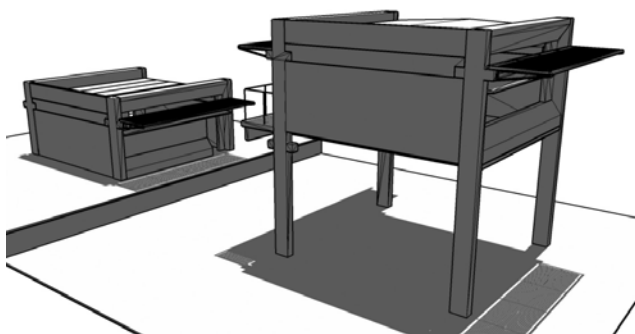


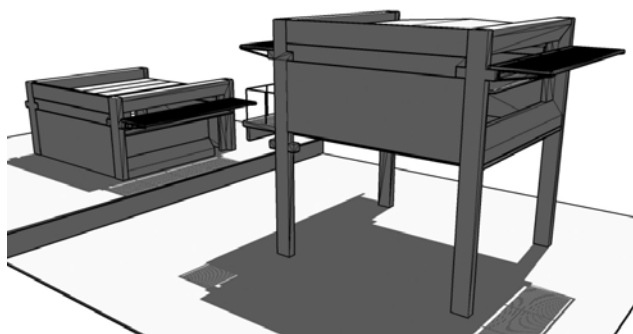
Figura 109 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de verão (fachadas Norte)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

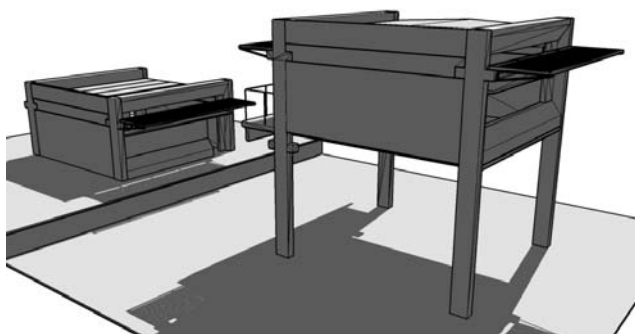
13h



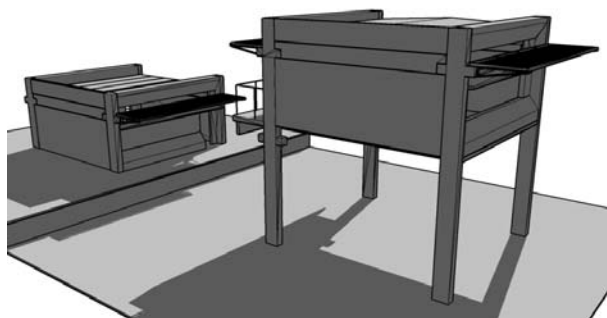
14h



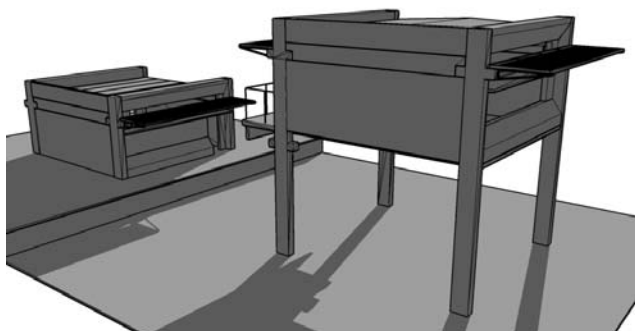
15h



16h



17h



18h

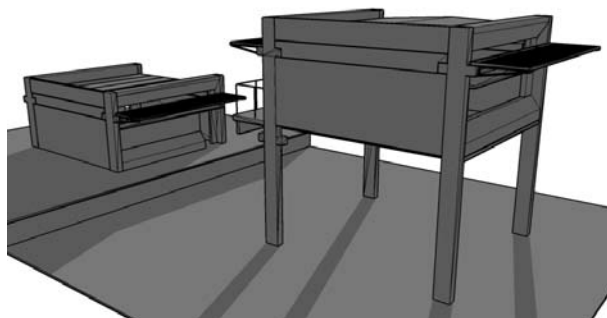
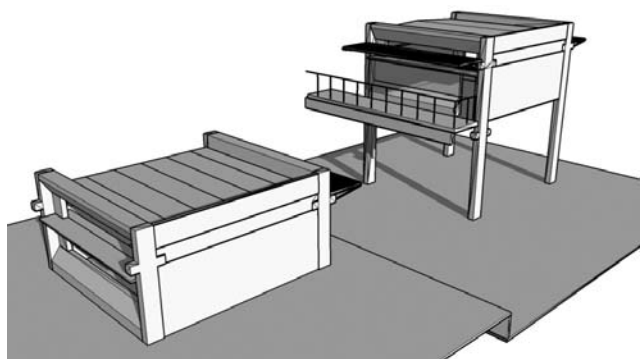


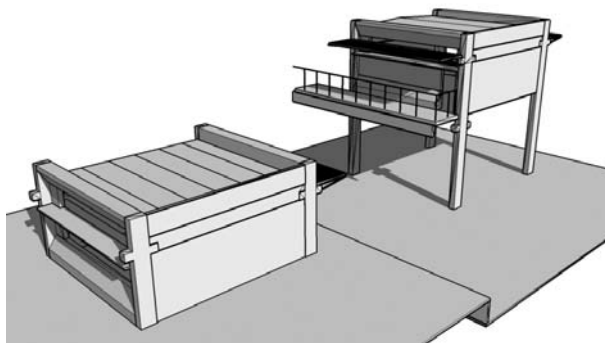
Figura 110 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de verão (fachadas Norte)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

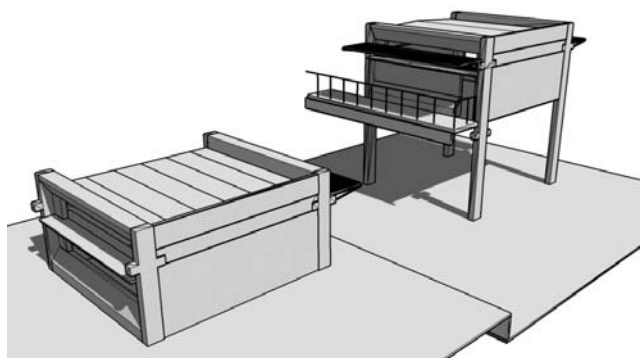
7h



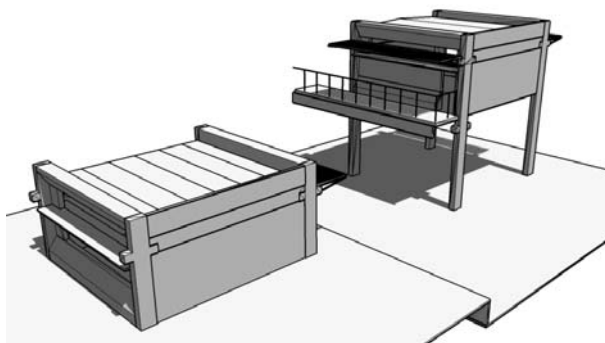
8h



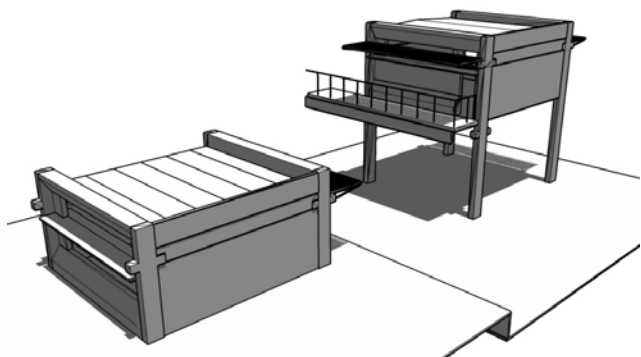
9h



10h



11h



12h

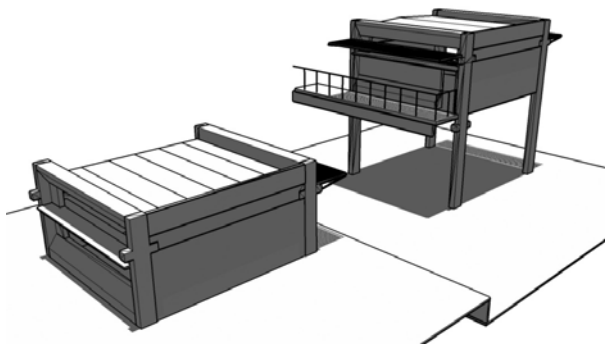
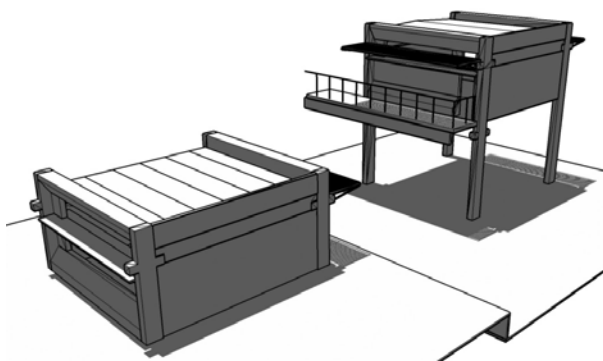


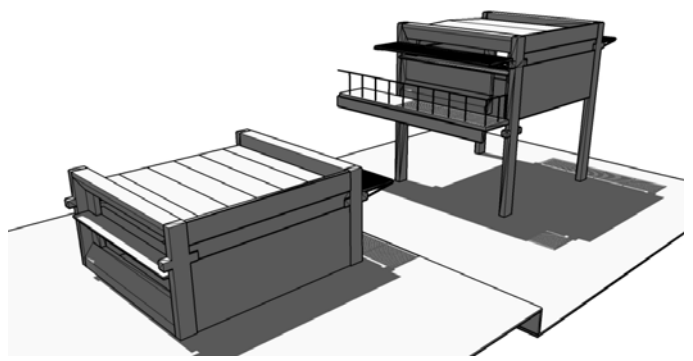
Figura 111 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de verão (fachadas Sul)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

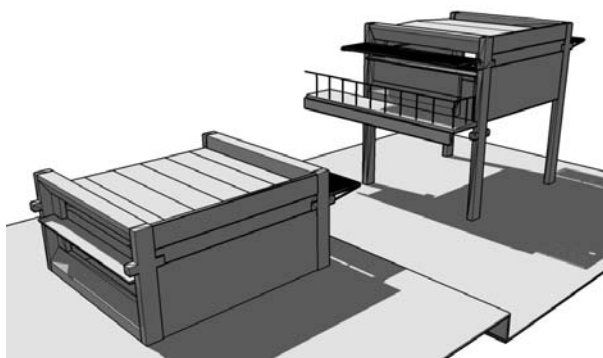
13h



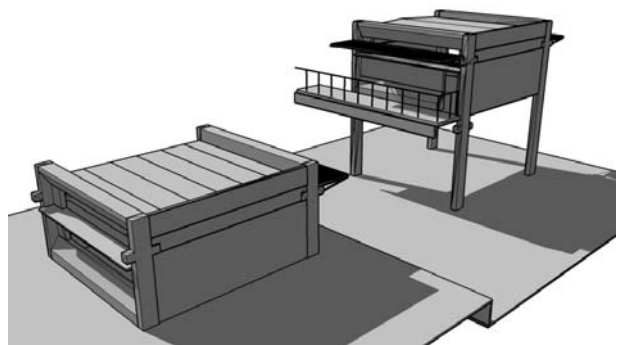
14h



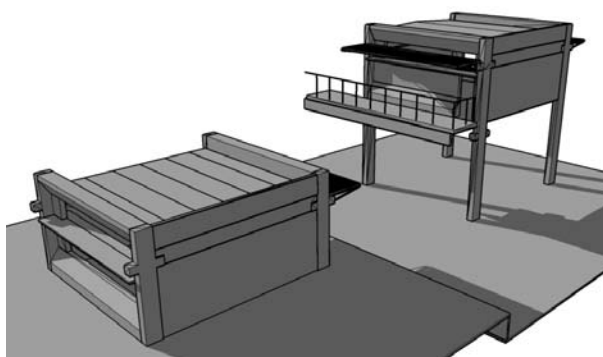
15h



16h



17h



18h

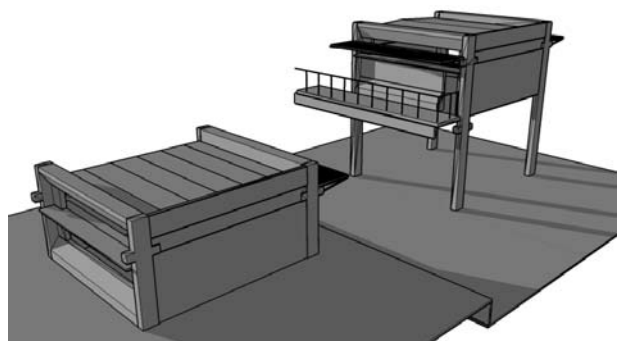
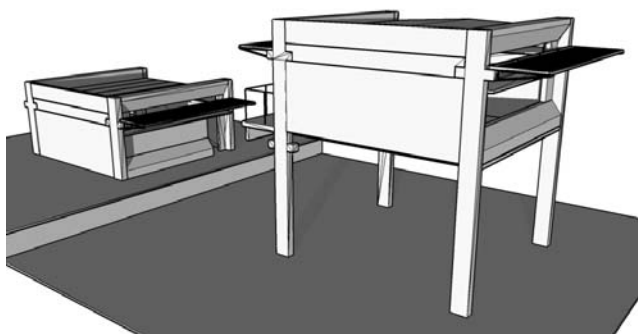


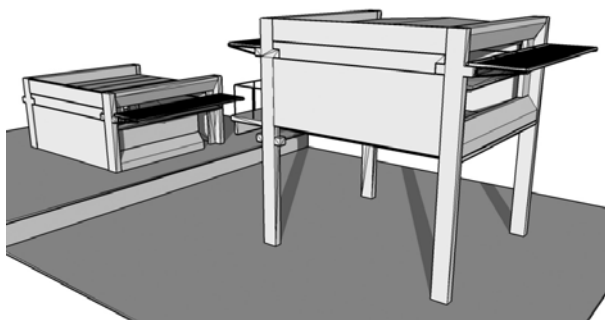
Figura 112 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de verão (fachadas Sul)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

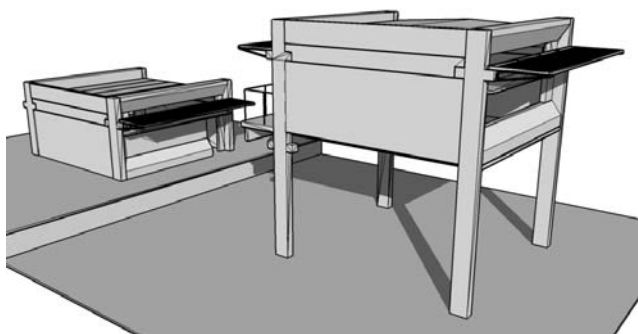
7h



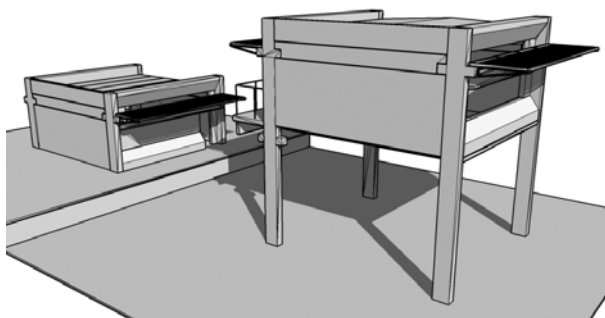
8h



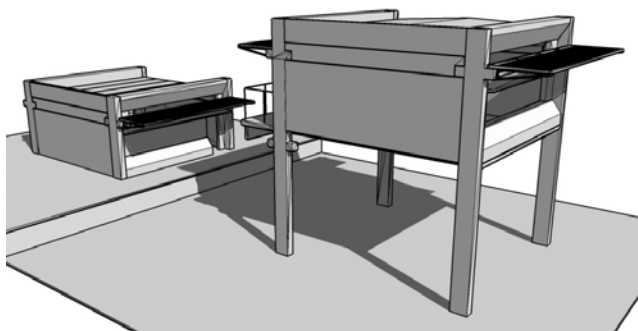
9h



10h



11h



12h

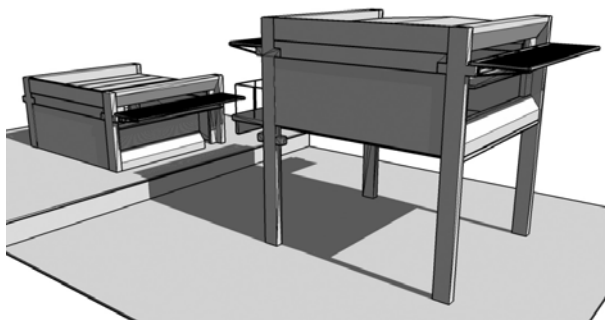
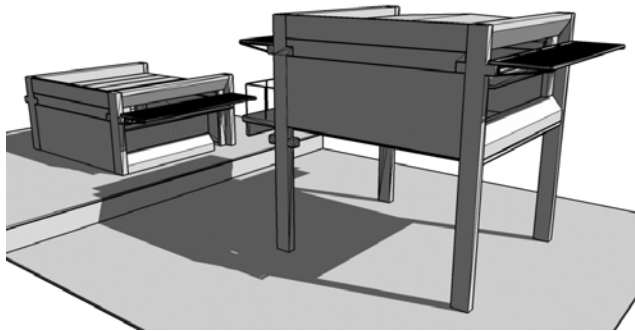


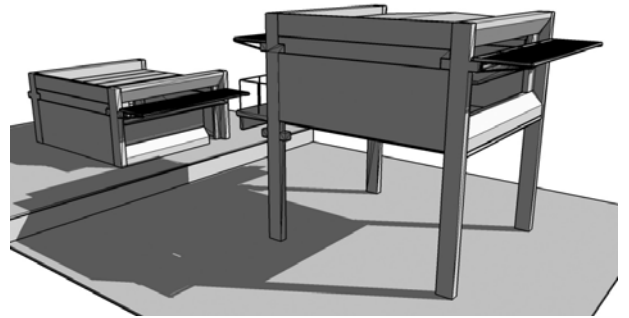
Figura 113 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de inverno (fachadas Norte)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

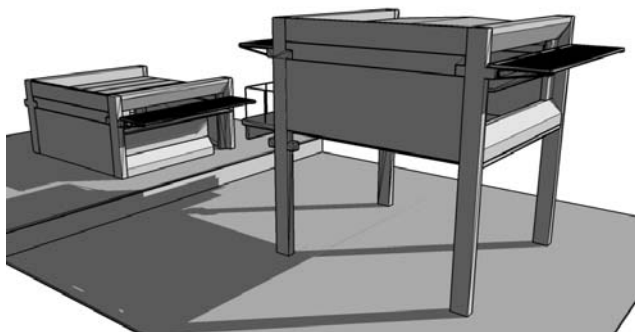
13h



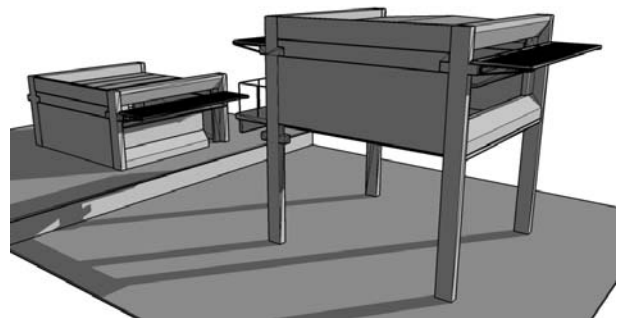
14h



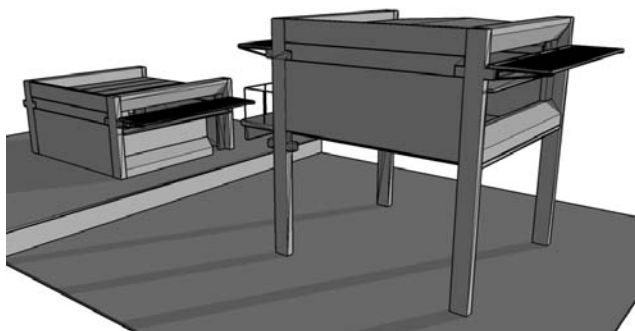
15h



16h



17h



18h

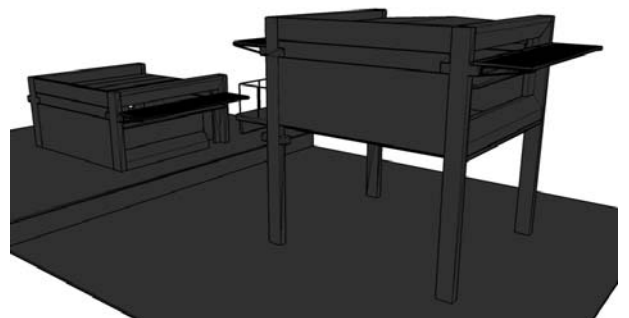
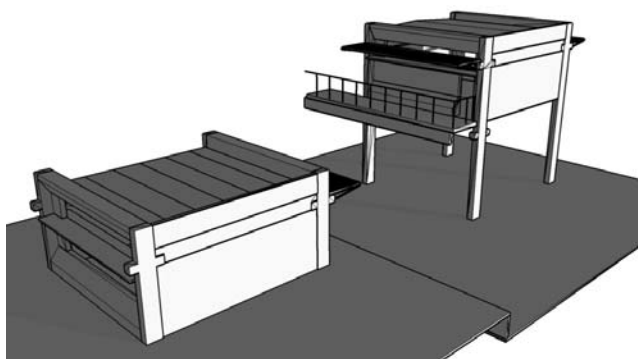


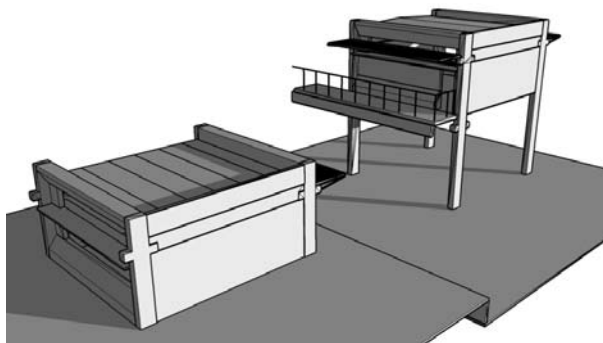
Figura 114 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de inverno (fachadas Norte)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

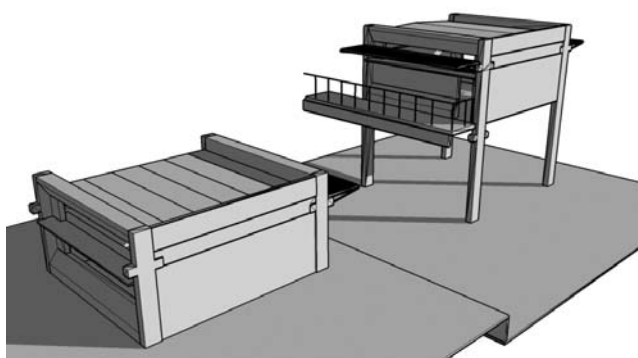
7h



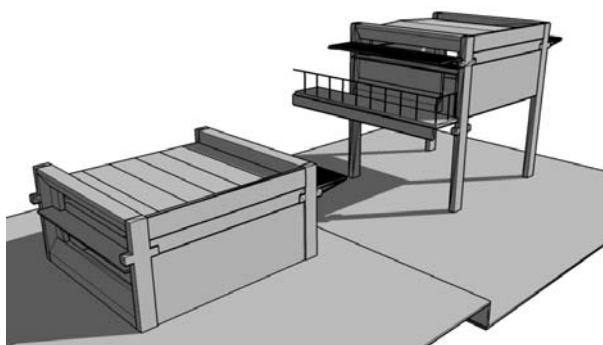
8h



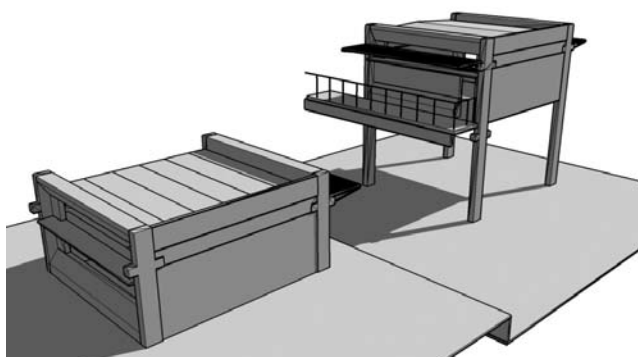
9h



10h



11h



12h

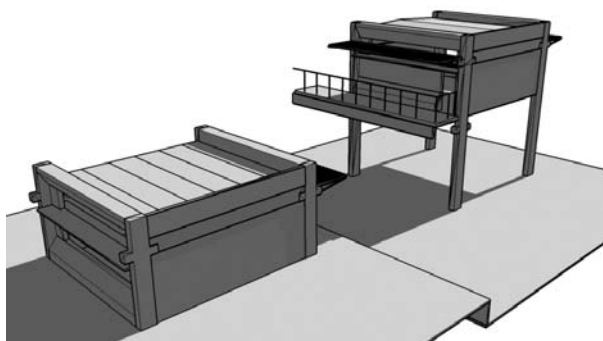
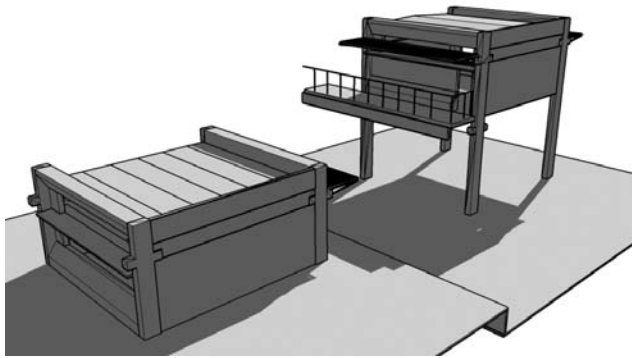


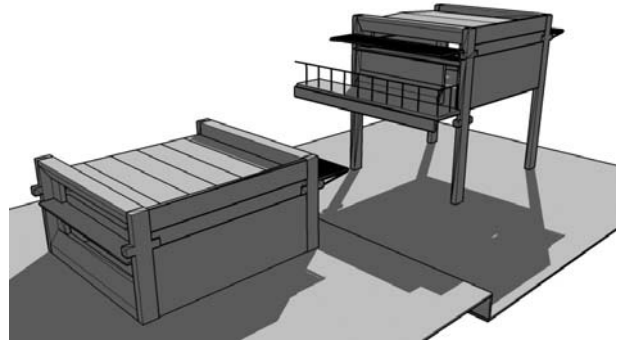
Figura 115 - Trajetória solar das 7h às 12h no solstício de inverno (fachadas Sul)

Estudo da insolação hora a hora realizado no programa computacional *Sketch Up*

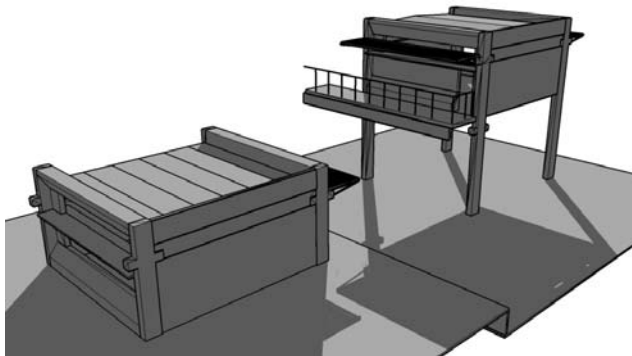
13h



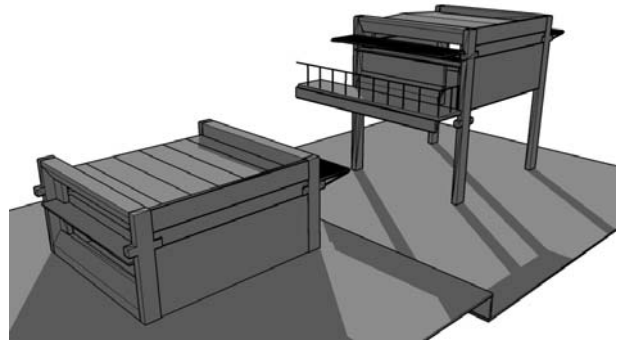
14h



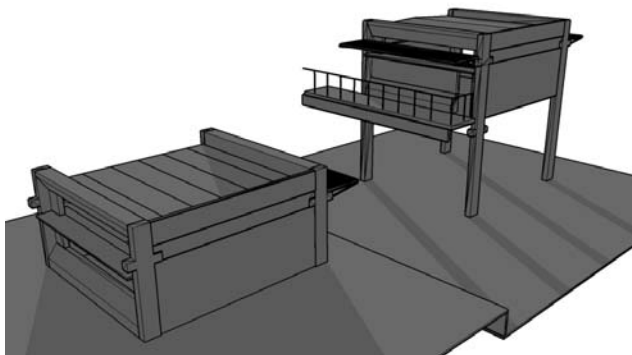
15h



16h



17h



18h

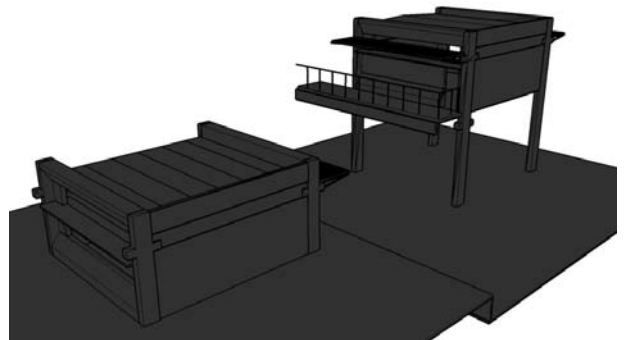


Figura 116 - Trajetória solar das 13h às 18h no solstício de inverno (fachadas Sul)

Desempenho térmico

Cálculo da ventilação por efeito chaminé



Relatório Final

Volume do ambiente= 152,00 m³

Pé direito= 3,20 m

Temperatura interna - temperatura externa= 6 °C

Aberturas verticais

	L	Hs	Hi
abertura 1	5,50	2,10	0,90
abertura 2	5,50	3,15	2,25
abertura 3	0,00	0,00	0,00
abertura 4	0,00	0,00	0,00
abertura 5	0,00	0,00	0,00
abertura 6	0,00	0,00	0,00
abertura 7	0,00	0,00	0,00

Aberturas zenitais

	área da abertura	H _z (m)
zenital 1	0,00	0,00
zenital 2	0,00	0,00
zenital 3	0,00	0,00
zenital 4	0,00	0,00
zenital 5	0,00	0,00

Carga a ser removida= 4240 W
Vazão necessária= 2019 m³/h

Zona Neutra = 2,00 m
Vazão de entrada= 3126 m³/h
Vazão de saída= 3126 m³/h
Num de renovações= 20,6 vol/h

Avaliação das condições de ventilação
para remoção da carga térmica:
Suficiente

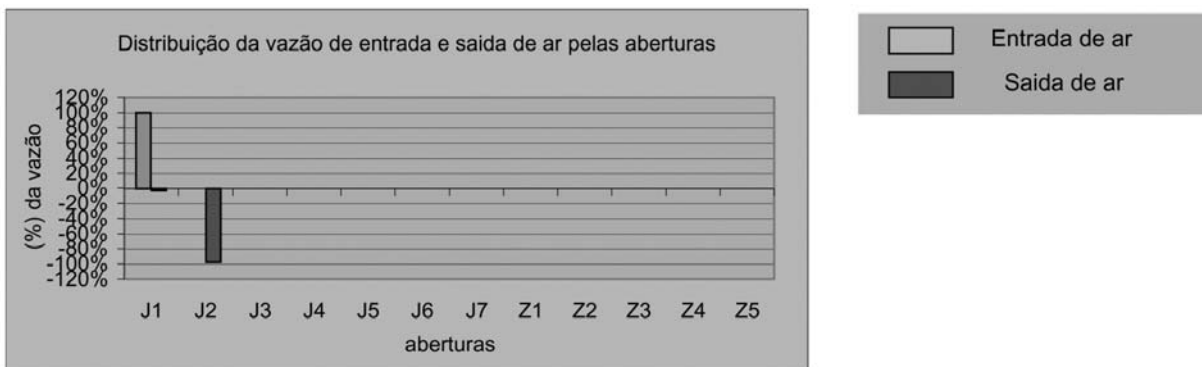


Figura 117 - Relatório de impressão do cálculo de ventilação por efeito chaminé para uma sala de aula feito no programa Chaminé

Desempenho Térmico da Sala de Aula 3 - Bloco Sul

48,3	m ²
3,15	m
152	m ³

Área do piso do ambiente
Pé direito do ambiente
Volume do ambiente

1. Superfícies Opacas

Opaca 1: Peitoril em concreto armado maciço 15cm (peitoril sul: cor clara/ peitoril norte: cor média)					
espessura total	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,15 m	2400 kg/m ³	0,3	1,75 W/m ² °C	3,91 W/m ² °C	
					0,6 peitoril norte
				Total	
				12,6	1,11
				49,27	

Opaca 2: Bloco de concreto 8 furos 19x19x39cm (paredes 6mm) + gesso 5mm branco					
espessura total	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,19 m	1700 kg/m ³	0,3	0,91 W/m ² °C	2,64 W/m ² °C	
				Total	
				17,85	0,71
				47,12	
				17,85	0,71
				47,12	
				6,65	0,26
				17,56	
				0	0,00
				0,00	
				42,35	1,68
				111,80	

Opaca 3: Teto Jardim: Laje alveolar 20cm + capeamento concreto celular 5cm + argila 5cm + terra 50cra					
espessura total	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,8 m	0,6 terra	1,75 W/m ² °C conc;	0,16 concreto capeam;	0,72 argila;	0,6 terra umida
				Total	
				48,3	0,87
				30,43	

Opaca 4: Telha trapezoidal (com face interna aluminizada) sobre laje alveolar 15cm (com ar confinado)					
espessura telha	densidade aço	α	λ	U ganho/perda	
0,008 m	7780 kg/m ³	0,3	1,75 W/m ² °C	2,93 W/m ² °C	
					Rar (ganho) 0,58
					Rar (perda) 0,32
				Total	
				0	0,00
				0,00	
				0	0,00
				0,00	

Opaca 5: Vigas internas de concreto (30x60cm)					
espessura viga	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,30 m	2400 kg/m ³	0,3	1,75 W/m ² °C	2,93 W/m ² °C	
				Total	
				4,14	0,18
				12,13	
				4,14	0,18
				12,13	
				8,28	0,36
				24,25	

Opaca 6: Pilares de concreto (30x60cm)					
profundidade	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,60 m	2400 kg/m ³	0,3	1,75 W/m ² °C	1,95 W/m ² °C	
				Total	
				1,185	0,03
				2,31	
				1,185	0,03
				2,31	
				2,37	0,07
				4,62	

Opaca 7: Prateleira de luz de concreto com pintura branca					
espessura	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,15 m	2400 kg/m ³	0,2	1,75 W/m ² °C	3,27 W/m ² °C	
				Total	
				8,4	0,27
				27,48	
				8,4	0,27
				27,48	
				8,4	0,27
				27,48	
				16,8	0,55
				54,95	

Opaca 8: Venezianas metálicas cor média					
espessura	densidade	α	λ	U ganho/perda	
0,002 m	7780 kg/m ³	0,6	52 W/m ² °C	5,88 W/m ² °C	
				Total	
				1	0,18
				5,88	
				0	0,00
				0,00	
				1	0,18
				5,88	

Totalização dos ganhos e perdas por superfícies opacas

	Área	ganhos	perdas
Norte		1,49	77,86
Sul		0,68	54,42
Oeste	NÃO CONSIDERAR pois é face interna		
Leste	NÃO CONSIDERAR pois é face interna		
Horizontal		0,89	59,25
Total	113,9	3,31	190,19

2. Superfícies Transparentes

Transp.1: Esquadria inferior basculante: vidro comum transparente 4mm					
espessura	densidade	λ	Str	U ganho/perda	
0,004 m	2200 kg/m ³	0,8	0,86	5,71 W/m ² °C	
				Total	
				5,28	4,54
				30,17	

Transp.2: Esquadria superior basculante: vidro comum transparente 4mm					
espessura	densidade	λ	Str	U ganho/perda	
0,004 m	2200 kg/m ³	0,8	0,86	5,71 W/m ² °C	
				Total	
				7,92	6,81
				45,26	

Totalização dos ganhos e perdas por superfícies transparentes

	Área	ganhos	perdas
Norte		3,41	22,63
Sul		7,95	52,80
Horizontal			
Total	13,2	11,35	75,43

Desempenho Térmico da Sala de Aula 3 - Bloco Sul
mês mais quente: fev 2003

período a ser avaliado

Dados de radiação incidente no verão												
dezembro	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE												
I global norte	66	105	138	164	179	185	179	164	138	105	66	27
I direta norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I difusa norte	66	105	138	164	179	185	179	164	138	105	66	27
SUL												
I global sul	121	150	166	178	184	187	179	178	166	150	121	60
I direta sul	55	44	29	14	4	0	0	14	29	44	57	35
I difusa sul	66	105	138	164	179	185	179	164	138	105	66	27
HORIZONTAL												
I global horiz.	174	292	395	476	527	545	527	476	395	292	174	56

fonte: IAG/IPT em FROTA e SCHIFFER (2001)

1. Ganhos de calor por Radiação solar nas superfícies (W)

dezembro	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE												
Opaca 1 (peitoril)		0,74	49	78	102	132	137	121	102	78	49	20
Opaca 2 (Bloco)		0,26	17	28	36	47	49	43	36	28	17	7
Opaca 6 (pilar)		0,03	2	4	5	6	6	6	5	4	2	1
Opaca 7 (prateleira)		0,27	18	29	38	49	51	49	38	29	18	7
Opaca 8 (venez)		0,18	12	19	24	32	33	29	24	19	12	5
Transp 2 (esq. Sup.)		3,41	225	358	470	610	630	559	470	358	225	92
SUL												
Opaca 1 (peitoril)		0,37	45	55	61	68	66	66	61	55	45	22
Opaca 6 (pilar)		0,03	4	5	6	6	6	6	6	5	4	2
Opaca 7 (prateleira)		0,27	33	41	46	51	49	49	46	41	33	16
Transp 1 (esq. Inf.)		4,54	549	681	754	808	813	808	754	681	549	272
Transp 2 (esq. Sup.)		3,41	187	150	99	0	0	48	99	150	187	119
HORIZONTAL												
Opaca 3 (teto jardim)		0,87	151	254	343	458	474	414	343	254	151	49
Opaca 7 (prateleira)		0,27	48	80	109	145	150	131	109	80	48	15
TOTAL	21894	1293	1701	2193	2308	2355	2269	2193	1984	1701	1300	613

Qsolar = maior ganho por radiação solar

2.355 W

Qpessoas = ganho de calor por trabalho executado

1.950 W

30 pessoas

65 W

Qilumin = ganho de calor por iluminação artificial

5 W/m² 242 W

48,30 m²

Qequip = ganho de calor por equipamentos

- W

TOTAL GANHOS = Qsol + Qpess + Qilumin + Qequip (W)

4.426

2. Perdas de calor (W)

Q'opaca = perda de calor pelas superfícies opacas

190 ΔT

Q'transp = perda de calor pelas superfícies transparentes

75 ΔT

Q'vent = perda de calor por ventilação

nº de trocas 10 Q'v = 0,35 * N * V * ΔT

533 ΔT

TOTAL PERDAS= Q'opaca + Q'transp + Q'vent (ΔT)

798

3. Balanço Térmico (°C)

ΔT

5,5

4. Inércia Térmica

	Área m ²	Peso e/2 * d * 1m ² kg/m ²	Resist. Térmica revestimento e/l	Coefficiente Tabela	Superfície Equivalente Pesada m ²
Opaca 3 - terra	48,3	450	<0,15	1,00	48,30
Opaca 3 - argilla	48,3	43	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - capeam. conc. cel	48,3	15	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - laje alv. conc. armado	48,3	120	<0,15	0,67	32,20
Piso - capeam. Conc. Cel.	48,3	15	0,043	0,00	0,00
Piso - laje maciça conc. Arm.	48,3	120	<0,15	0,67	32,20
N opaca 1 - peitoril conc. arm.	6,3	180	<0,15	0,67	4,20
S opaca 1 - peitoril conc. arm.	6,3	180	<0,15	0,67	4,20
L opaca 2 - bloco concreto	17,85	4,5	0,0142	0,00	0,00
O opaca 2 - bloco concreto	17,85	4,5	0,0142	0,00	0,00
TOTAL					121,10

com teto jardim

Sup. Eq. pesada/área piso = 2,5072

m = **0,90** alta

(inércia alta: peso 1/2 das paredes > 300kg)

com telha trapezoidal sobre laje

Sup. Eq. pesada/área piso = 1,5072

m = **0,7** inércia baixa a média

5. Resultados horários

	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Ganhos de calor (W)	3.364	3.771	4.055	4.264	4.379	4.426	4.339	4.264	4.055	3.771	3.371	2.684
Perdas de calor (W)	798	798	798	798	798	798	798	798	798	798	798	798
Balanço térmico (°C)	4,21	4,73	5,08	5,34	5,49	5,55	5,44	5,34	5,08	4,73	4,22	3,36
Médias das TE horárias ao longo do mês mais quente (°C)	21,0	21,7	23,0	24,2	25,5	26,4	27,3	27,8	27,8	27,7	27,0	25,9
Tbs interna máx. (ti = TE + (1-m)E + (1-m)ΔT) (°C)	21,5	22,2	23,6	24,9	26,3	27,2	28,1	28,7	28,7	28,6	27,8	26,7
Tbu (°C) sendo que UR= 65%	17,5	17,8	18,7	20,0	22,0	22,2	22,5	23,0	23,0	23,0	22,3	22,1
Temp. Efetiva TE (°C) quando Var = 0,5m/s	19	19,5	20,5	22,0	23,3	23,5	23,7	25,0	25,0	25,0	24,3	23,4

ET segundo nomograma de Koenigsberger (FROTA, SCHIFFER, 2001)

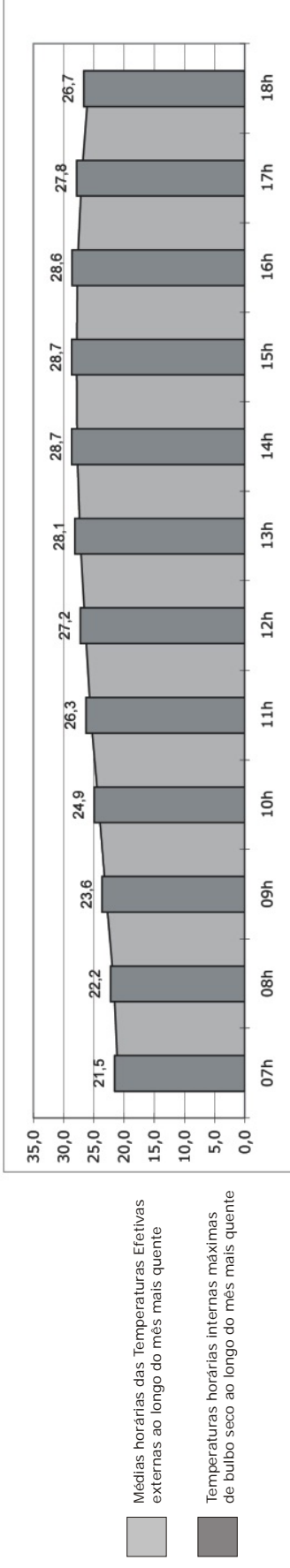


Figura 119 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Sul no verão (método do CSTB)
 Fonte (planilha): MUELLER, C.M.

Desempenho Térmico da Sala de Aula 3 - Bloco Sul
período a ser avaliado **mês mais frio: jul 2004**

Dados de radiação incidente no inverno												
dezembro	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE												
I global norte	36	243	360	436	482	498	486	436	360	243	36	0
I direta norte	27	194	275	323	352	362	352	323	275	194	27	0
I difusa norte	9	49	85	113	130	136	134	113	85	49	9	0
SUL												
I global sul	9	49	85	113	130	136	130	113	85	49	9	0
I direta sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I difusa sul	9	49	85	113	130	136	130	113	85	49	9	0
HORIZONTAL												
I global horiz.	19	160	302	415	486	511	486	415	302	160	19	0

fonte: IAG/IPT em FROTA e SCHIFFER (2001)

1. Ganhos de calor por Radiação solar nas superfícies (W)

dezembro	Ig	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE													
Opaca 1 (peitoril)	0,74	27	180	266	322	356	368	322	266	180	27	0	0
Opaca 2 (bloco)	0,26	2	13	22	30	34	36	30	22	13	2	0	0
Opaca 6 (pilare)	0,03	1	8	12	15	17	17	15	12	8	1	0	0
Opaca 7 (prateleira)	0,27	10	67	99	120	132	137	134	99	67	10	0	0
Opaca 8 (venez)	0,18	2	9	15	20	23	24	20	15	9	2	0	0
Transp 2 (esq. Sup.)	3,41	123	828	1.226	1.485	1.641	1.696	1.655	1.485	1.226	828	123	0
SUL													
Opaca 1 (peitoril)	0,37	3	18	31	42	48	50	42	31	18	3	0	0
Opaca 6 (pilare)	0,03	0	2	3	4	5	5	4	3	2	0	0	0
Opaca 7 (prateleira)	0,27	13	83	123	154	170	177	167	123	83	13	0	0
Transp 1 (esq. Inf.)	4,54	41	222	386	513	590	618	590	513	386	222	41	0
Transp 2 (esq. Sup.)	3,41	31	167	289	385	443	463	443	385	289	167	31	0
HORIZONTAL													
Opaca 3 (teto jardim)	0,87	17	139	263	361	423	444	423	361	263	139	17	0
Opaca 7 (prateleira)	0,27	5	44	83	114	134	140	134	114	83	44	5	0
TOTAL	27186	258	1666	2637	3327	3748	3895	3767	3327	2637	1666	258	0

Qsolar = ganho solar das 8h

1.666 W

Qpessoas = ganho de calor por trabalho executado

1.950 W

Qilumin = ganho de calor por iluminação artificial

121 W

5 W/m2

50% do tempo

Qequip = ganho de calor por equipamentos

- W

TOTAL GANHOS = Qsol + Qpess + Qilumin + Qequip (W)

3.736

2. Perdas de calor (W)

Q'opaca = perda de calor pelas superfícies opacas

190 ΔT

Q'transp = perda de calor pelas superfícies transparentes

75 ΔT

Q'vent = perda de calor por ventilação

53 ΔT

n° de trocas

1

TOTAL PERDAS = Q'opaca + Q'transp + Q'vent (ΔT)

319

3. Balanço Térmico (°C)

AT

11,7

4. Inércia Térmica

	Área m2	Peso e/2 * d * 1m2 kg/m2	Resist. Térmica revestimento e/l	Coefficiente Tabela	Superfície Equivalente Pesada m2
Opaca 3 - terra	48,3	450	<0,15	1,00	48,30
Opaca 3 - argilla	48,3	43	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - capeam.conc.cel	48,3	15	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - laje alv.conc.armado	48,3	120	<0,15	0,67	32,20
Piso - capeam. Conc. Cel.	48,3	15	0,043	0,00	0,00
Piso - laje maicã conc.	48,3	120	<0,15	0,67	32,20
N opaca 1 - peitoril conc.arm.	6,3	180	<0,15	0,67	4,20
N opaca 2 - bloco concreto	6,65	12,75	0,0142	0	0,00
S opaca 1 - peitoril conc.arm.	6,3	180	<0,15	0,67	4,20
L opaca 2 - bloco concreto	17,85	4,5	0,0142	0,00	0,00
O opaca 2 - bloco concreto	17,85	4,5	0,0142	0,00	0,00
TOTAL					121,10

com teto jardim

m = 0,90 alta

2,5072 (inércia alta: peso 1/2 das paredes > 300kg)

com telha trapezoidal sobre laje

Sup.Eq.pesada/área piso = 1,5072

m = 0,7 inércia baixa a média

5. Resultados horários

	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Ganhos de calor (W)	2.329	3.736	4.707	5.398	5.819	5.966	5.838	5.398	4.707	3.736	2.329	2.071
Perdas de calor (W)	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319
Balanço térmico (°C)	7,30	11,72	14,76	16,93	18,25	18,71	18,31	16,93	14,76	11,72	7,30	6,49
Médias das TE horárias ao longo do mês mais frio (°C)	14,0	14,1	14,8	16,0	17,3	18,7	19,7	20,3	20,9	20,4	19,5	19,5
Tbu interna máx. (ti = TE + (1-m)E + (1-m)ΔT) (°C)	15,3	15,3	16,1	17,3	18,8	20,2	21,3	21,9	22,3	22,5	21,1	21,1
Tbu (°C) sendo que UR= 79%	13,2	13,2	14,0	15,1	16,6	17,9	19,1	19,7	20,0	20,2	19,7	19,0
Temp. Efetiva TE (°C) quando Var = 0,1m/s	15	15,0	15,4	16,8	18,0	19,0	20,2	21,0	21,2	21,3	21,0	20,0

ET segundo nomograma de Koenigsberger (FROTA; SCHIFFER, 2001)

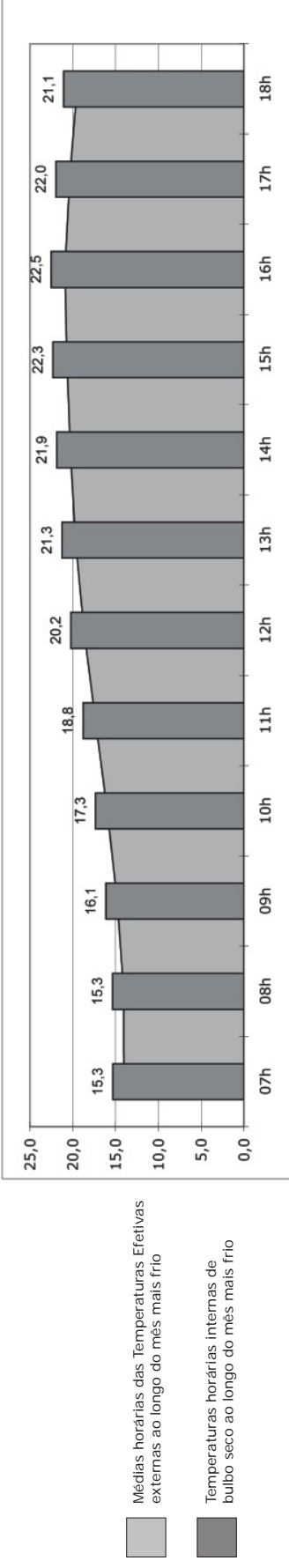


Figura 120 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Sul no inverno (método do CSTB)
Fonte (planilha): MUELLER, C.M.

Desempenho Térmico da Sala de Aula 9 - Bloco Norte
período a ser avaliado **mês mais quente: fev 2003**

Dados de radiação incidente no verão												
dezembro	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE												
I global norte	66	105	138	164	179	185	179	164	138	105	66	27
I direta norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I difusa norte	66	105	138	164	179	185	179	164	138	105	66	27
SUL												
I global sul	121	150	166	178	184	187	179	178	166	150	121	60
I direta sul	55	44	29	14	4	0	0	14	29	44	57	35
I difusa sul	66	105	138	164	179	185	179	164	138	105	66	27
HORIZONTAL												
I global horiz.	174	292	395	476	527	545	527	476	395	292	174	56

fonte: IAG/IPT em FROTA e SCHIFFER (2001)

1. Ganhos de calor por Radiação solar nas superfícies (W)

dezembro	Ig	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE													
Opaca 1 (peitoril)	0,74	49	78	102	121	132	137	132	121	102	78	49	20
Opaca 6 (pilar)	0,03	2	4	5	6	6	6	6	6	5	4	2	1
Opaca 7 (prateleira)	0,27	18	29	38	45	49	51	49	45	38	29	18	7
Transp 1 (esq. Inf.)	4,54	300	477	627	745	813	840	813	745	627	477	300	123
Transp 2 (esq. Sup.)	3,41	225	358	470	559	610	630	610	559	470	358	225	92
SUL													
Opaca 1 (peitoril)	0,37	45	55	61	66	68	69	66	66	61	55	45	22
Opaca 2 (Bloco)	0,26	32	40	44	47	48	49	47	47	44	40	32	16
Opaca 6 (pilar)	0,03	4	5	6	6	6	6	6	6	6	5	4	2
Opaca 7 (prateleira)	0,27	33	41	46	49	51	51	49	49	46	41	33	16
Opaca 8 (venez)	0,18	21	26	29	31	32	33	32	31	29	26	21	11
Transp 2 (esq. Sup.)	3,41	187	150	99	48	14	0	0	48	99	150	187	119
HORIZONTAL													
Opaca 4 (telha)	0,76	132	222	300	362	401	415	401	362	300	222	132	43
Opaca 7 (prateleira)	0,27	48	80	109	131	145	150	145	131	109	80	48	15
TOTAL	20095	1049	1484	1826	2084	2230	2288	2211	2084	1826	1484	1056	472

Qsolar = maior ganho por radiação solar 2.288 W

Qpessoas = ganho de calor por trabalho executado
30 pessoas 1.950 W

Qilumin = ganho de calor por iluminação artificial 242 W
65 W 121 W
5 W/m2 50% do tempo
48,30 m2 - W

Qequip = ganho de calor por equipamentos - W

TOTAL GANHOS = Qsol + Qpess + Qilumin + Qequip (W) 4.359

2. Perdas de calor (W)

Q'opaca = perda de calor pelas superfícies opacas 239 ΔT

Q'transp = perda de calor pelas superfícies transparentes 75 ΔT

Q'vent = perda de calor por ventilação 533 ΔT
n° de trocas 10 Q'v = 0,35 * N * V * ΔT

TOTAL PERDAS = Q'opaca + Q'transp + Q'vent (ΔT) 847

3. Balanço Térmico (°C) 5,1 ΔT

4. Inércia Térmica

	Área m2	Peso e/2 *d* 1m2 kg/m2	Resist. Termica revestimento e/l	Coefficiente Tabela	Superficie Equivalente Pesada m2
Opaca 3 - terra	48,3	450	<0,15	1,00	48,30
Opaca 3 - argilla	48,3	43	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - capeam.conc.cel	48,3	15	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - laje alv.conc.armado	48,3	120	<0,15	0,67	32,20
Piso - capeam. Conc. Cel.	48,3	15	0,043	0,00	0,00
Piso - laje macica conc. Arm.	48,3	120	<0,15	0,67	32,20
N opaca 1 - peitoril conc.arm.	6,3	180	<0,15	0,67	4,20
N opaca 2 - bloco concreto	0	12,75	0,0142	0	0,00
S opaca 1 - peitoril conc.arm.	6,3	180	<0,15	0,67	4,20
L opaca 2 - bloco concreto	17,85	4,5	0,0142	0,00	0,00
O opaca 2 - bloco concreto	17,85	4,5	0,0142	0,00	0,00
TOTAL					121,10

com teto jardim 2.5072
Sup.Eq.pesada/área piso = alta
m = 0,90

com telha trapezoidal sobre laje 1.5072
Sup.Eq.pesada/área piso = inércia baixa a média
m = 0,7

5. Resultados horários

	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Ganhos de calor (W)	3.119	3.555	3.897	4.155	4.301	4.359	4.282	4.155	3.897	3.555	3.126	2.543
Perdas de calor (W)	847	847	847	847	847	847	847	847	847	847	847	847
Balanço térmico (°C)	3,68	4,20	4,60	4,90	5,08	5,14	5,05	4,90	4,60	4,20	3,69	3,00
Médias das TE horárias ao longo do mês mais quente (°C)	21,0	21,7	22,3	22,8	23,0	23,0	22,8	22,3	21,7	21,0	20,3	19,4
Tbs interna máx. (ti = TE + (1-m)E + (1-m)ΔT) (°C)	22,5	23,2	24,7	26,2	27,7	28,7	29,7	30,3	30,3	30,2	29,4	28,1
Tbu (°C) sendo que UR=65%	18	18,5	20,0	22,0	22,6	23,0	24,3	24,5	24,5	24,5	24,0	22,5
Temp. Efeliva TE (°C) quando Var = 0.5m/s	19,8	20,2	22,0	23,3	24,3	25,0	26,2	26,7	26,7	26,7	26,5	24,5

ET segundo nomograma de Koenigsberger (FROTA; SCHIFFER, 2001)

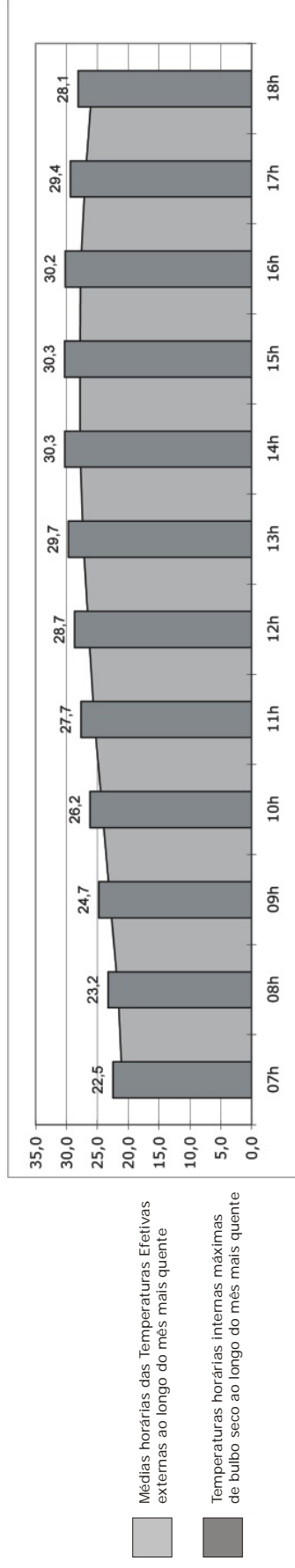


Figura 122 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Norte no verão (método do CSTB)
Fonte (planilha): MUELLER, C.M.

Desempenho Térmico da Sala de Aula 9 - Bloco Norte
período a ser avaliado
mês mais frio: jul 2004

Dados de radiação incidente no verão												
dezembro	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE												
I global norte	36	243	360	436	482	498	486	436	360	243	36	0
I direta norte	27	194	275	323	352	362	323	275	194	27	0	0
I difusa norte	9	49	85	113	130	136	134	113	85	49	9	0
SUL												
I global sul	9	49	85	113	130	136	130	113	85	49	9	0
I direta sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I difusa sul	9	49	85	113	130	136	130	113	85	49	9	0
HORIZONTAL												
I global horiz.	19	160	302	415	486	511	486	415	302	160	19	0

fonte: IAG/IPT em FROTA e SCHIFFER (2001)

1. Ganhos de calor por Radiação solar nas superfícies (W)

dezembro	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
NORTE												
Opaca 1 (peitoril)	0,74	180	266	322	356	368	359	322	266	180	27	0
Opaca 6 (pillar)	0,03	8	12	15	17	17	17	15	12	8	1	0
Opaca 7 (prateleira)	0,27	10	67	99	132	137	134	120	99	67	10	0
Transp 1 (esq. Inf.)	4,54	163	1.103	1.635	2.189	2.261	2.207	1.980	1.635	1.103	163	0
Transp 2 (esq. Sup.)	3,41	123	828	1.226	1.641	1.696	1.655	1.485	1.226	828	123	0
SUL												
Opaca 1 (peitoril)	0,37	18	31	42	48	50	48	42	31	18	3	0
Opaca 2 (Bloco)	0,26	13	22	30	34	36	34	30	22	13	2	0
Opaca 6 (pillar)	0,03	2	3	4	5	5	5	4	3	2	0	0
Opaca 7 (prateleira)	0,27	13	23	31	36	37	36	31	23	13	2	0
Opaca 8 (venez)	0,18	2	9	15	20	24	23	20	15	9	2	0
Transp 2 (esq. Sup.)	3,41	167	289	385	443	463	443	385	289	167	31	0
HORIZONTAL												
Opaca 4 (telha)	0,76	14	122	230	316	389	370	316	230	14	14	0
Opaca 7 (prateleira)	0,27	5	44	83	114	140	134	114	83	44	5	0
TOTAL	39125	379	2529	4749	5293	5484	5329	4749	3852	2529	379	0

Q_{solar} = ganho solar das 8h

horário de maior ganho **5.484**

Q_{pessoas} = ganho de calor por trabalho executado
30 pessoas
65 W

2.529 W

Q_{ilumin} = ganho de calor por iluminação artificial
5 W/m²
48,30 m²
242 W

1.950 W

Q_{equip} = ganho de calor por equipamentos

121 W

50% do tempo

- W

4.600

2. Perdas de calor (W)

Q_{opaca} = perda de calor pelas superfícies opacas

239 ΔT

Q_{transp} = perda de calor pelas superfícies transparentes

75 ΔT

Q_{vent} = perda de calor por ventilação

53 ΔT

n° de trocas 1

Q_v = 0,35 * N * V * ΔT

TOTAL PERDAS = Q_{opaca} + Q_{transp} + Q_{vent} (ΔT)

368

3. Balanço Térmico (°C)

ΔT

12,5

4. Inércia Térmica

Área	Peso	Resist. Térmica	Coefficiente	Superfície
m ²	e/2 * d * 1m ²	revestimento	Tabela	Equivalente
	kg/m ²	e/l		Pesada
				m ²
Opaca 3 - terra	450	<0,15	1,00	48,30
Opaca 3 - argilla	43	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - capeam. conc.cel	15	<0,15	0,00	0,00
Opaca 3 - laje alv. conc.armado	120	<0,15	0,67	32,20
Piso - capeam. Conc. Cel.	15	0,043	0,00	0,00
Piso - laje maciça conc. Arm.	120	<0,15	0,67	32,20
N opaca 1 - peitoril. conc.arm.	180	<0,15	0,67	4,20
N opaca 2 - bloco concreto	0	0,0142	0	0,00
S opaca 1 - peitoril. conc.arm.	180	<0,15	0,67	4,20
L opaca 2 - bloco concreto	17,85	0,0142	0,00	0,00
O opaca 2 - bloco concreto	17,85	0,0142	0,00	0,00
TOTAL				121,10

com teto jardim

2.5072

Sup.Eq.pesada/área piso = (Inércia alta se a metade das paredes pesar > 300kg)

m = **0,90** alta

com telha trapezoidal sobre laje

1.5072

Sup.Eq.pesada/área piso = inércia baixa a média

m = **0,7**

5. Resultados horários

	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Ganhos de calor (W)	2.450	4.600	5.923	6.819	7.364	7.554	7.400	6.819	5.923	4.600	2.450	2.071
Perdas de calor (W)	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Balanço térmico (°C)	6,65	12,50	16,09	18,52	20,00	20,52	20,10	18,52	16,09	12,50	6,65	5,62
Médias das TE horárias ao longo do mês mais frio (°C)	14,0	14,1	14,8	16,0	17,3	18,7	19,7	20,3	20,7	20,9	20,4	19,5
T _{bs} interna máx. (ti = TE + (1-m)E + (1-m)ΔT) (°C)	18,1	18,1	19,0	20,3	21,9	23,5	24,6	25,3	25,8	26,0	25,4	24,4
T _{bu} (°C) sendo que UR= 79%	15,9	15,9	16,7	17,9	19,7	21,0	22,0	22,8	23,4	23,5	22,8	22,0
Temp. Efetiva TE (°C) quando Var = 0,1m/s	17,3	17,3	18,1	19,0	21,0	22,3	23,2	24,0	24,5	24,6	24,0	23,2

ET segundo nomograma de Koenigsberger (FROTA; SCHIFFER, 2001)

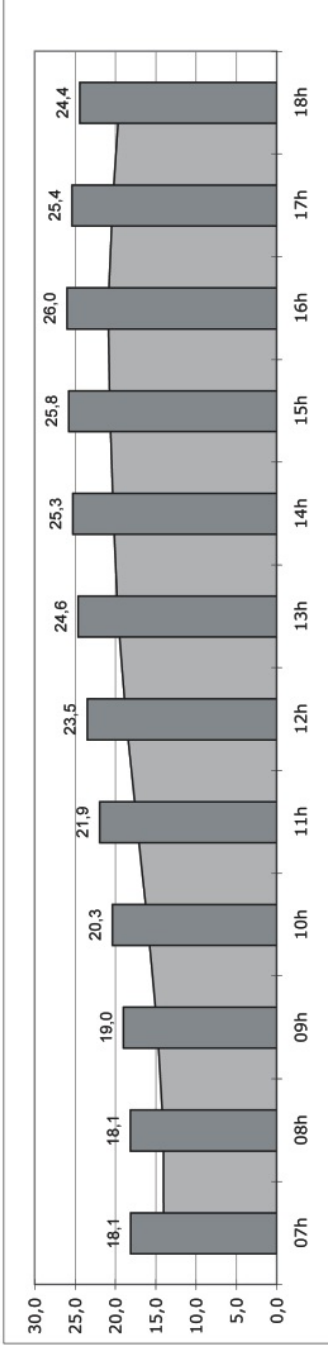


Figura 123 - Planilha de cálculo do desempenho térmico de uma sala do Bloco Norte no inverno (método do CSTB)
Fonte (planilha): MUELLER; C.M.

Desempenho luminoso

Verão: céu claro (sala com prateleira de luz original)

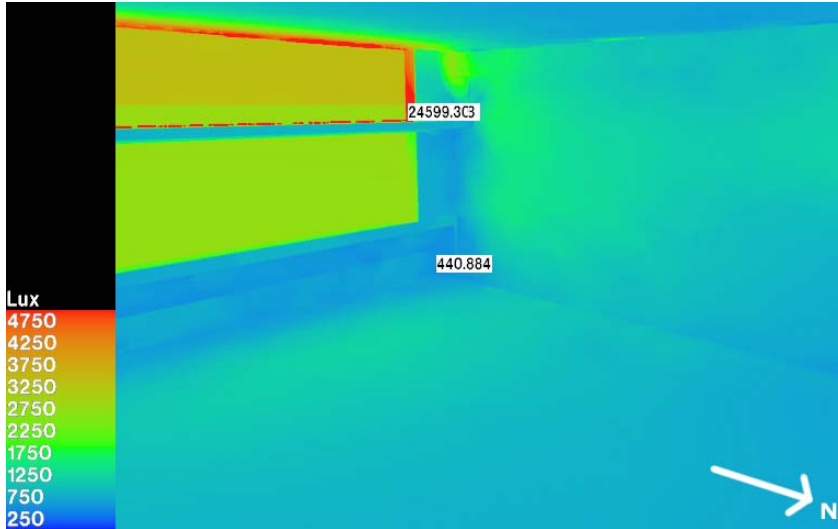


Figura 124 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

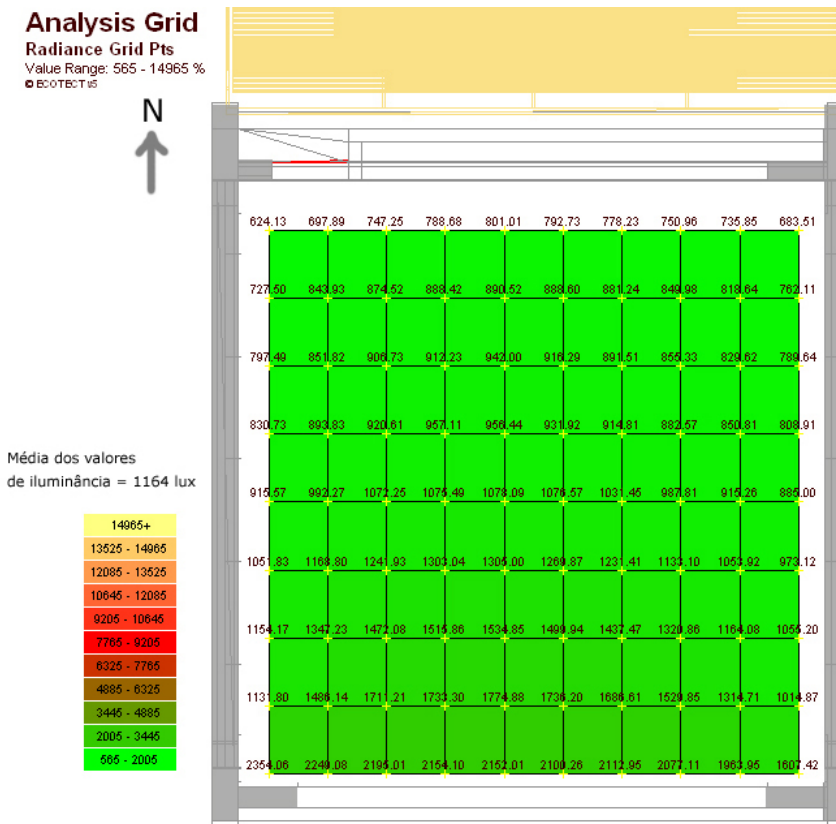


Figura 125 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

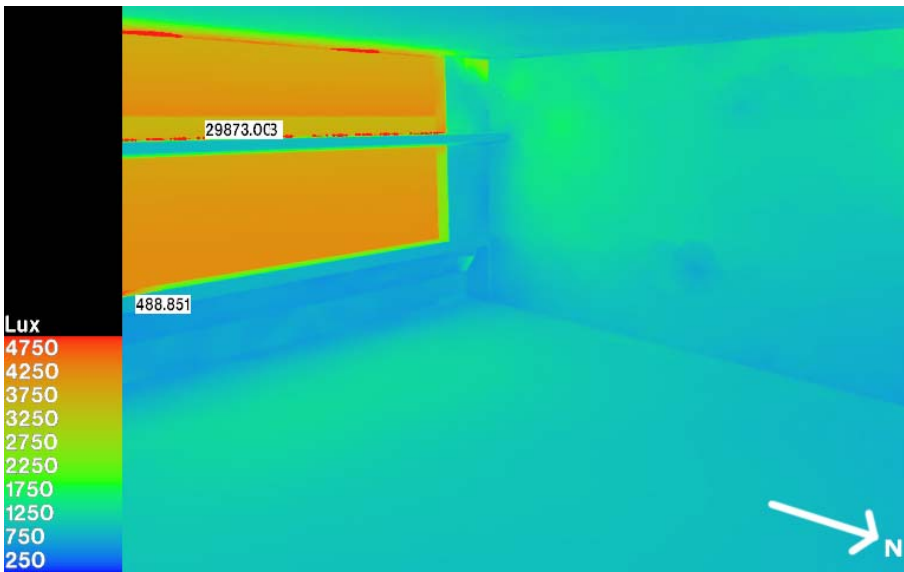


Figura 126 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

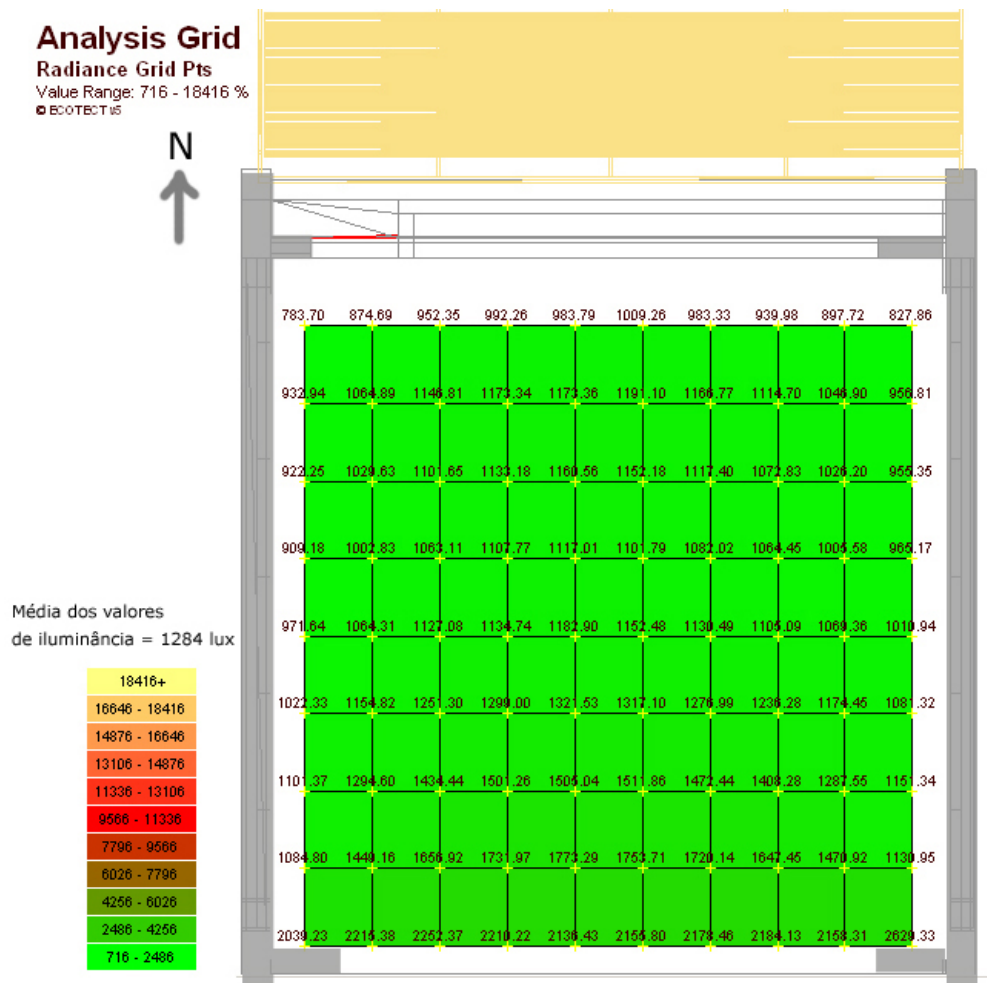


Figura 127 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

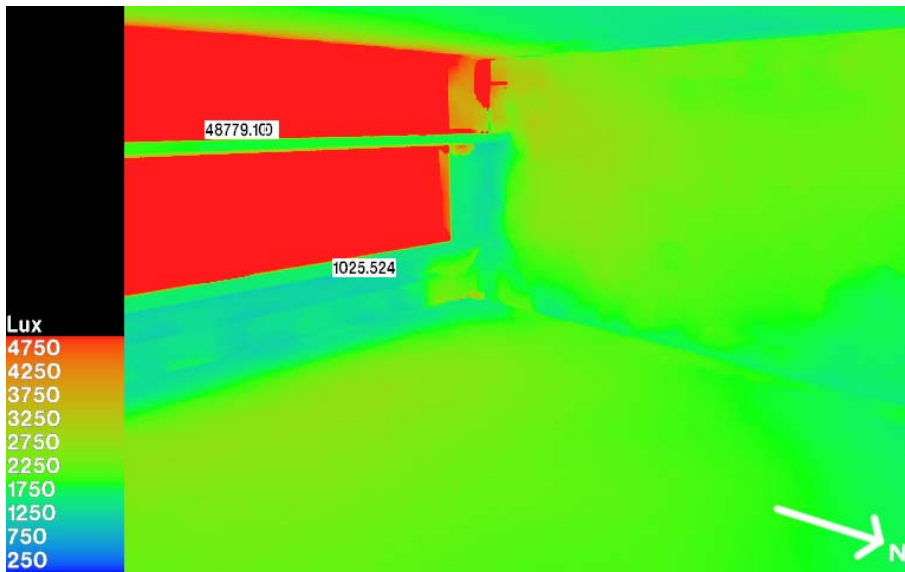


Figura 128 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

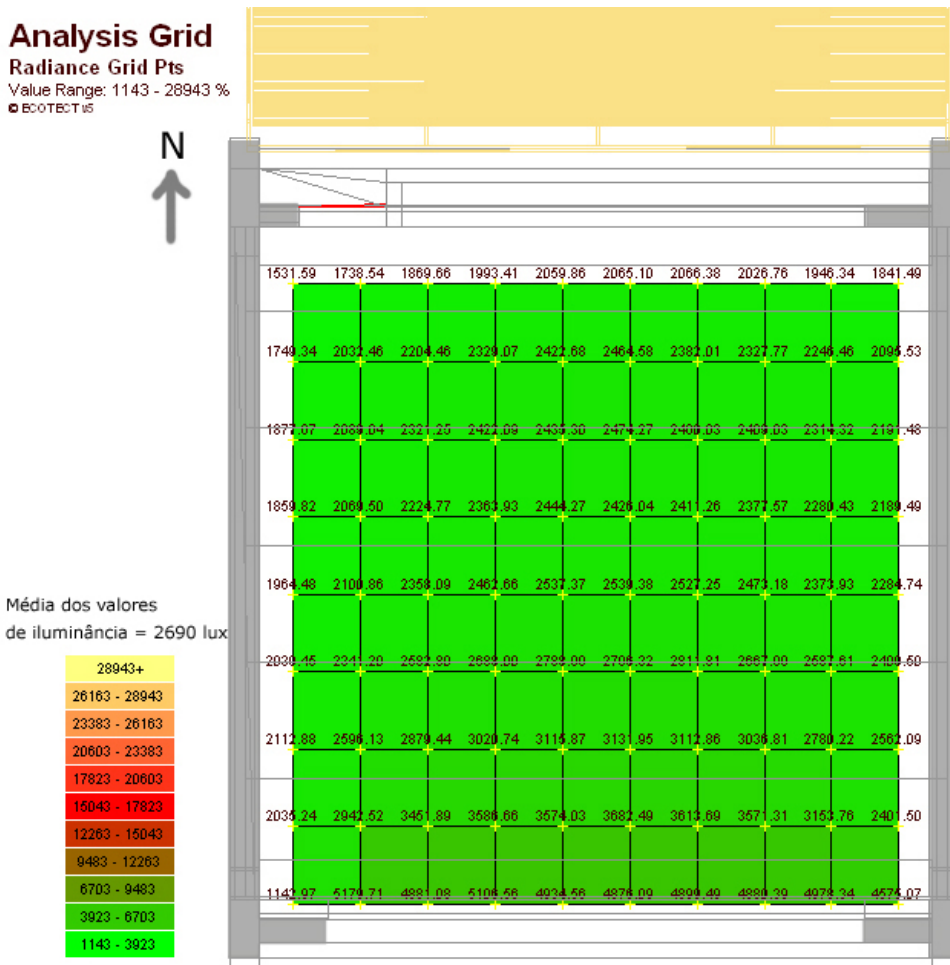


Figura 129 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

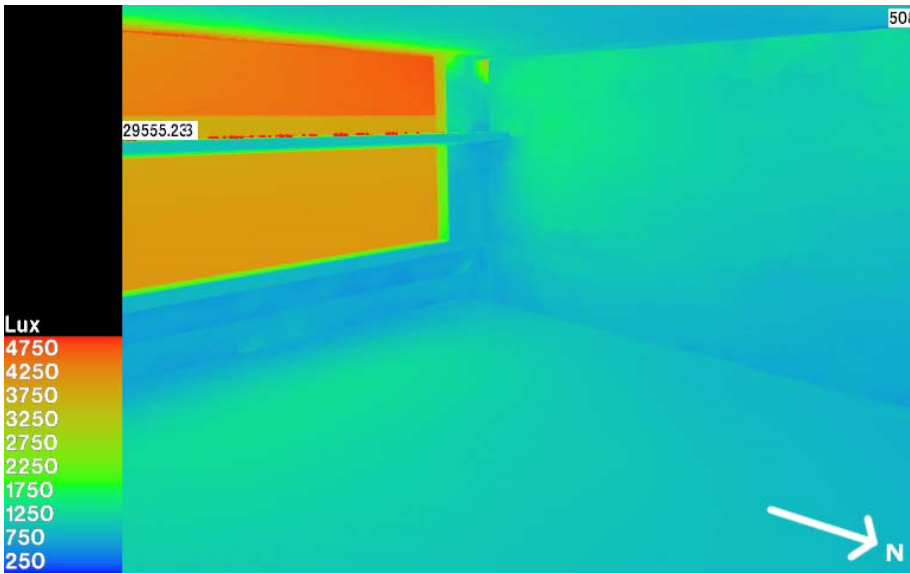


Figura 130 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

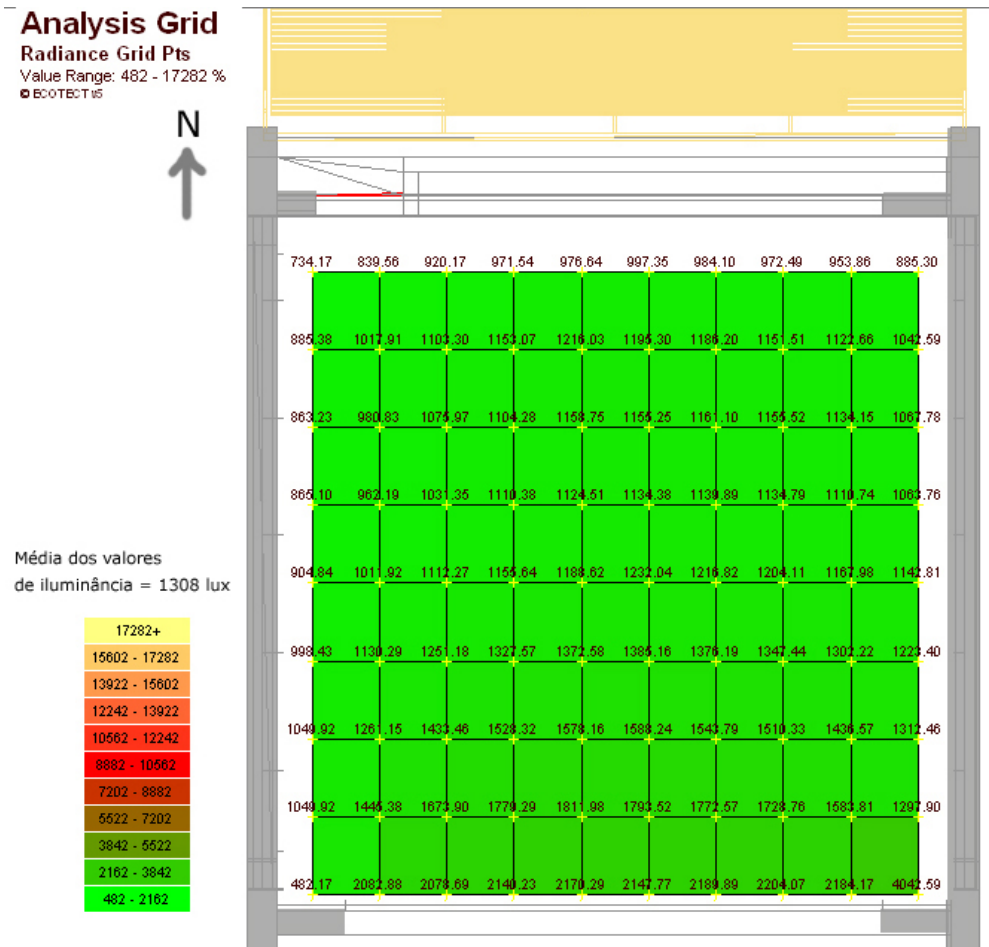


Figura 131 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

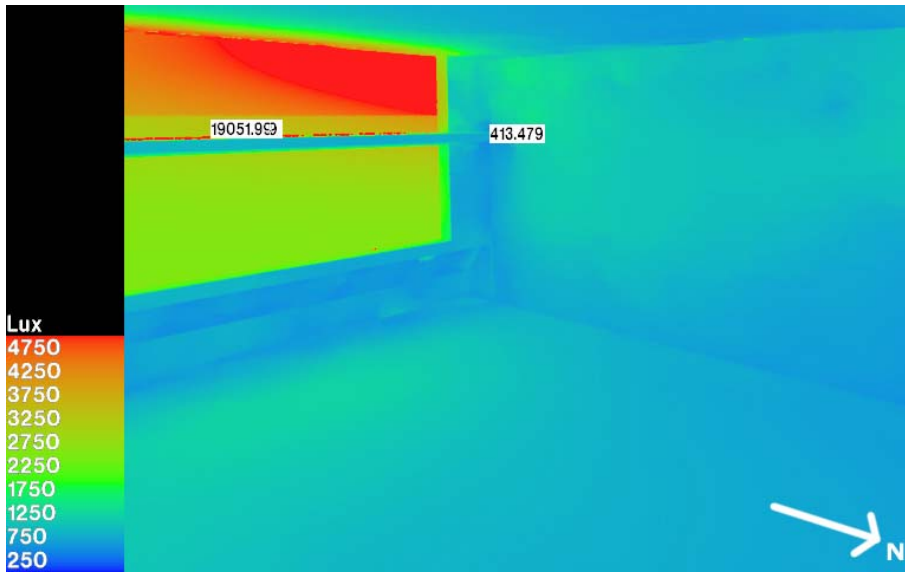


Figura 132 - Iluminância interna na sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

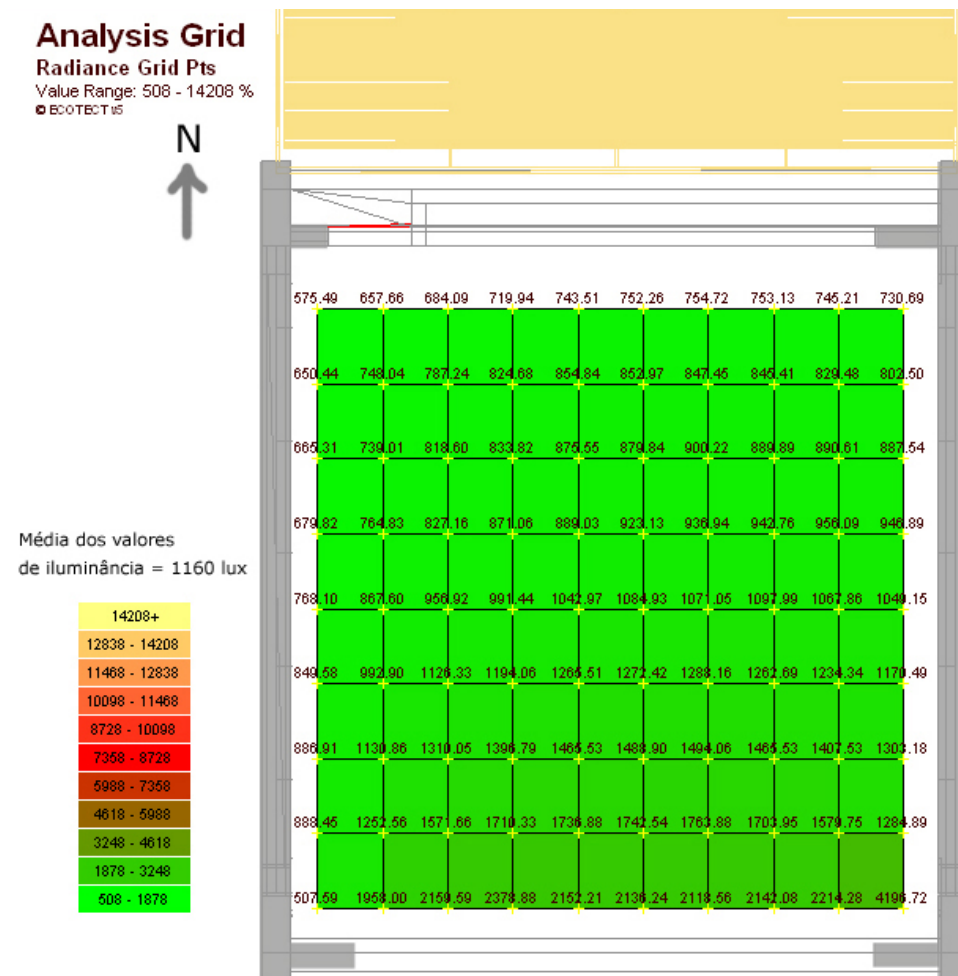


Figura 133 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de verão (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

Inverno: céu claro (sala com prateleira de luz original)

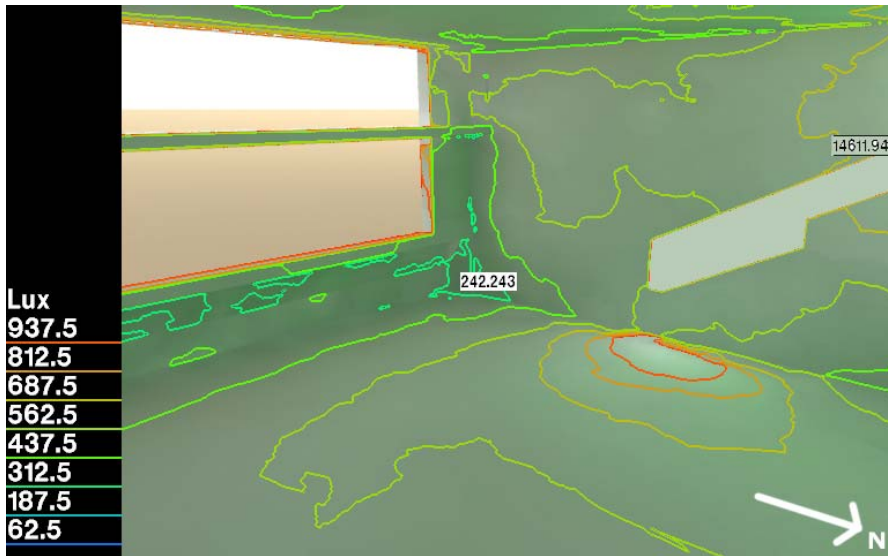


Figura 134 - Curvas *isolux* da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

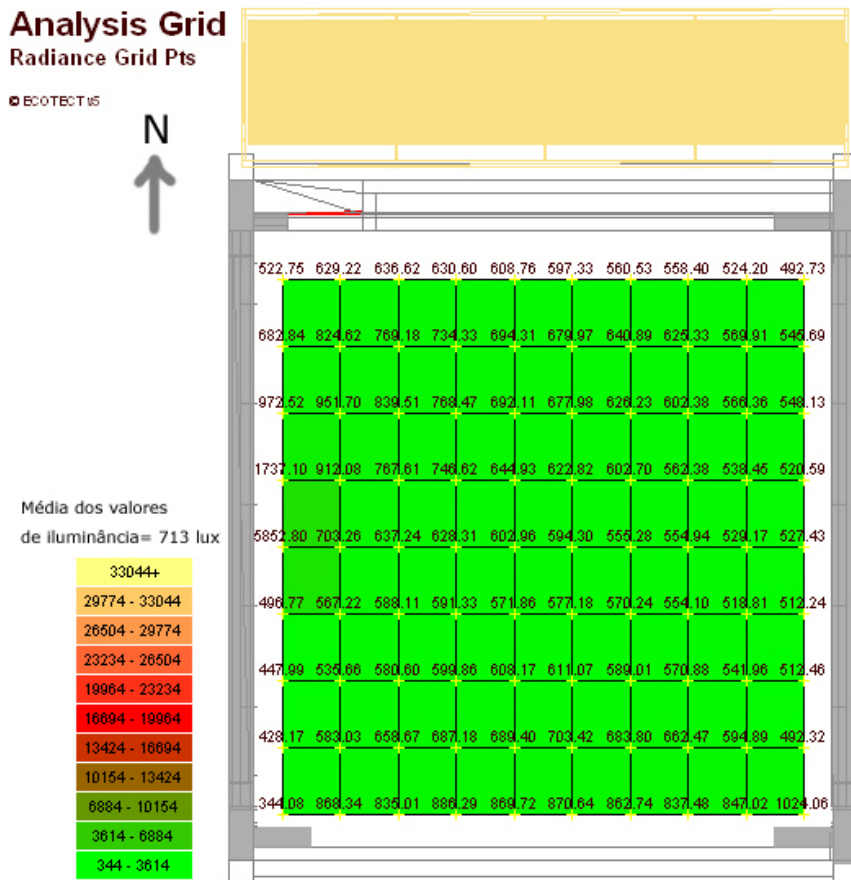


Figura 135 - Valores de iluminância ponto a ponto da sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

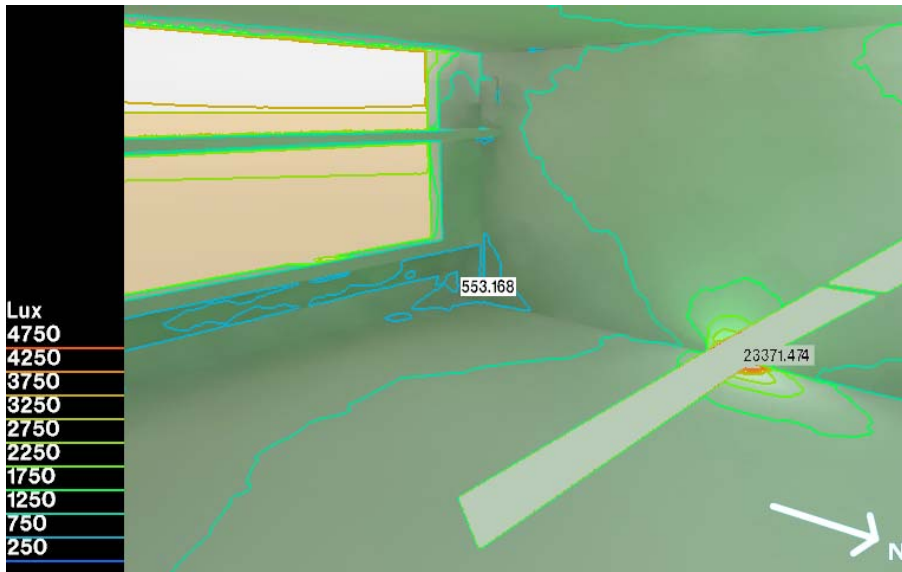


Figura 136 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

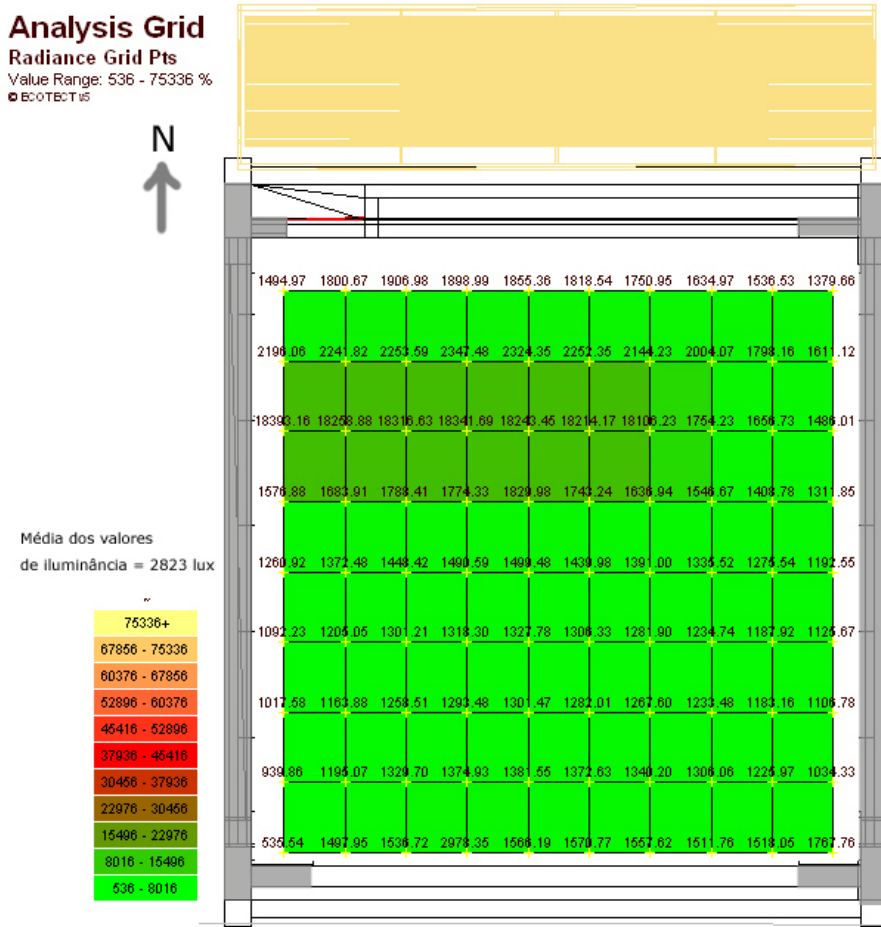


Figura 137 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

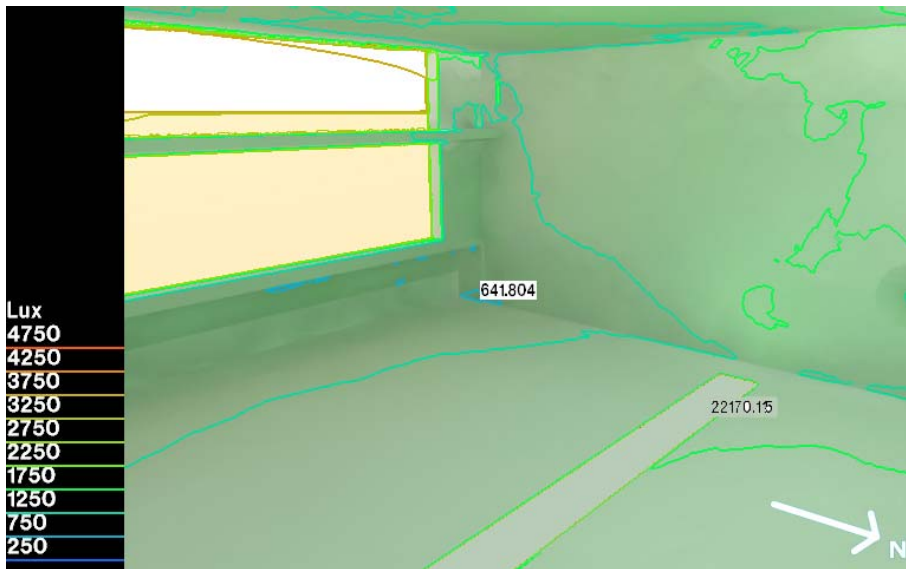


Figura 138 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

Analysis Grid

Radiance Grid Pts
Value Range: 462 - 23062 %
© ECOTECH 05

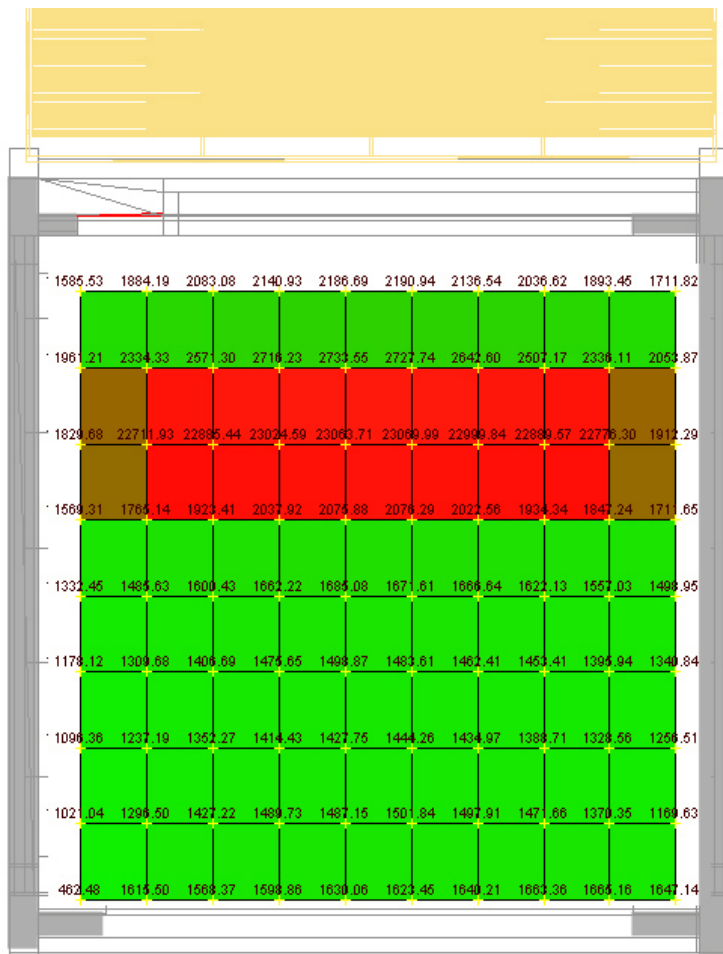


Figura 139 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

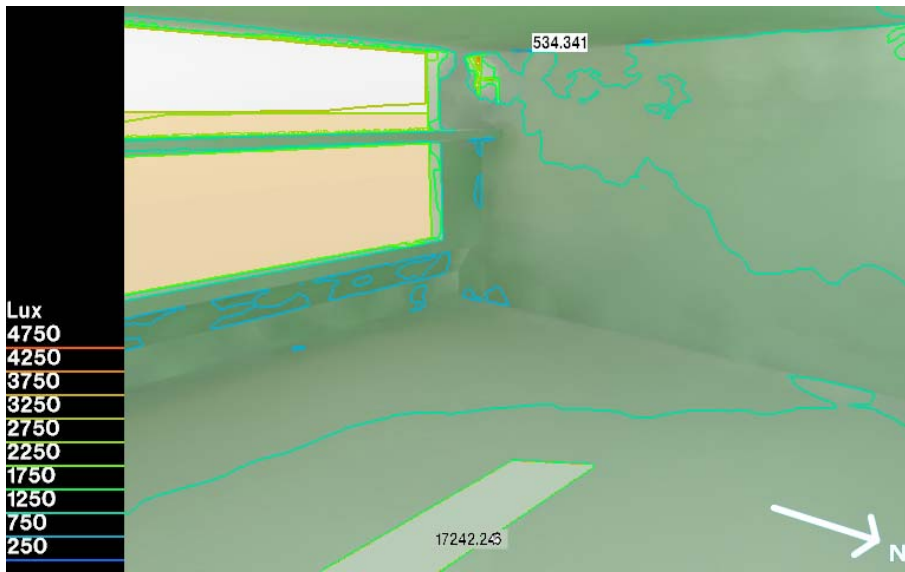


Figura 140 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

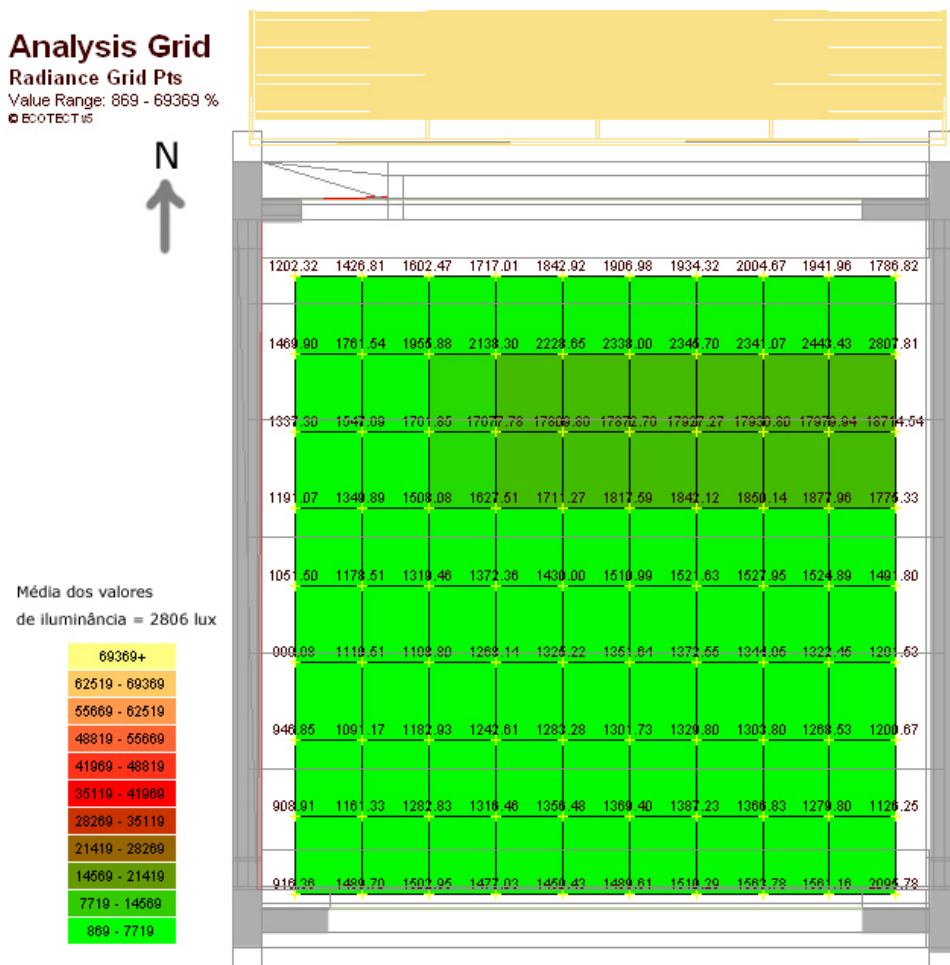


Figura 141 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

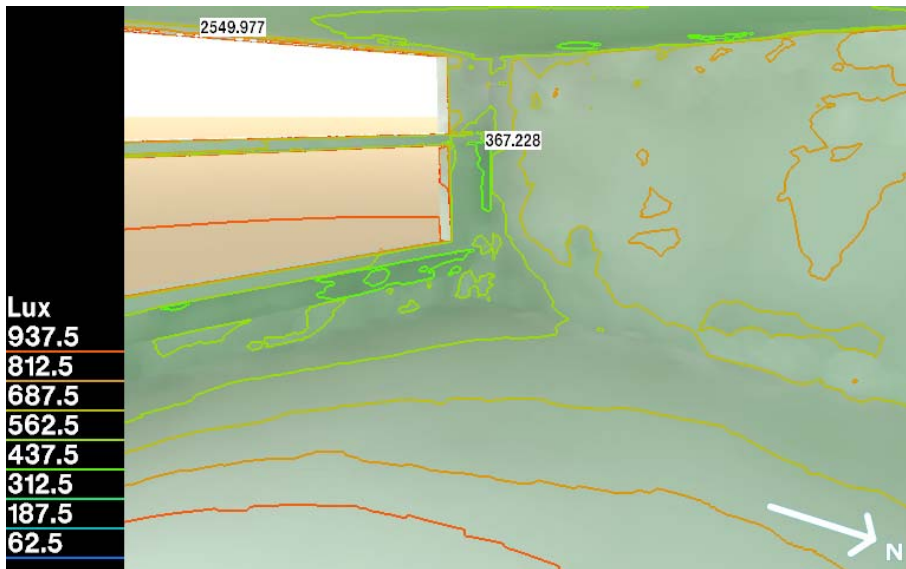


Figura 142 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

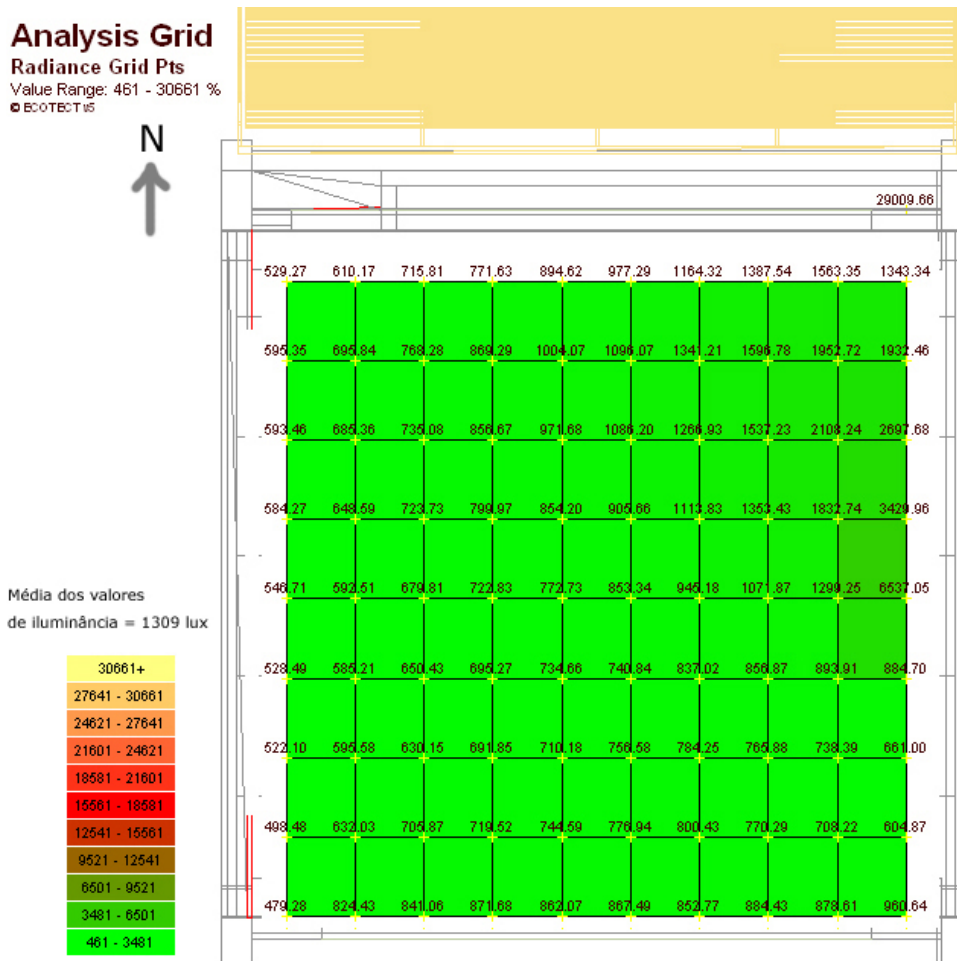


Figura 143 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

Inverno: céu claro (sala com prateleira de luz norte modificada: aba interna estendida)

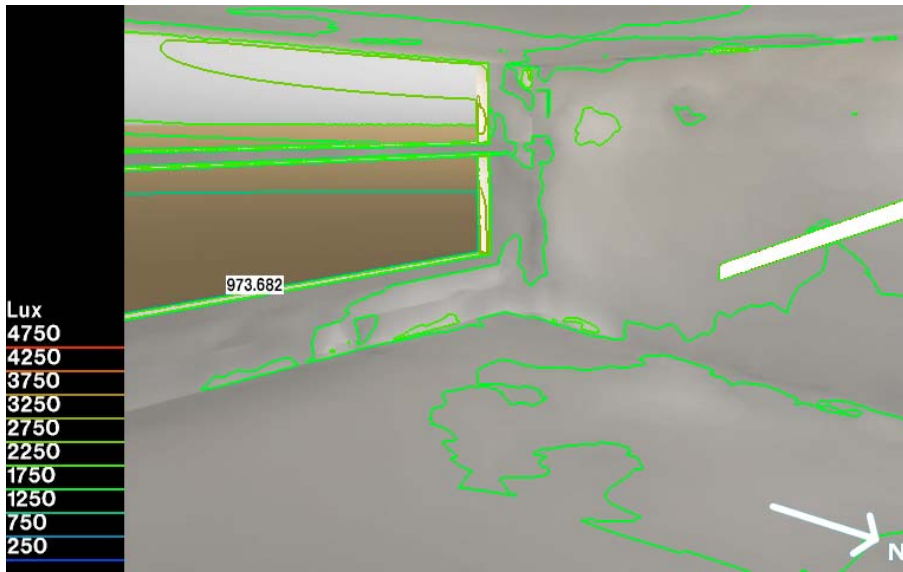


Figura 144 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

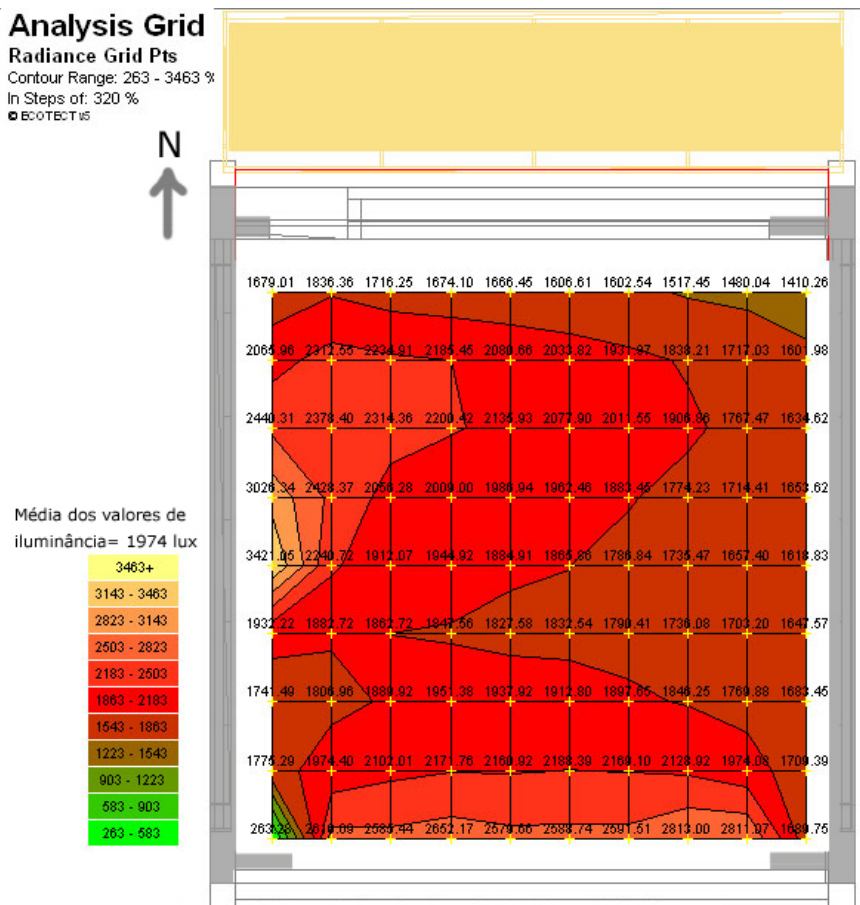


Figura 145 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

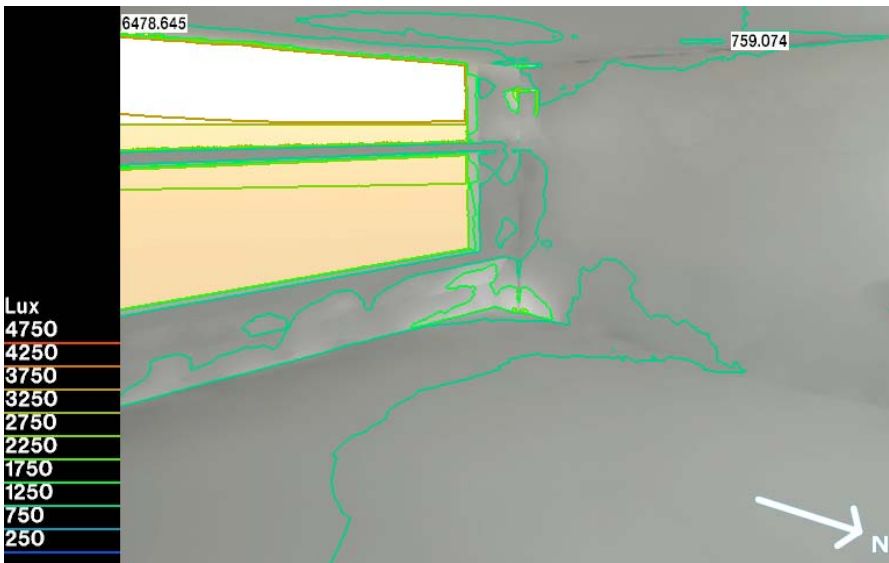


Figura 146 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

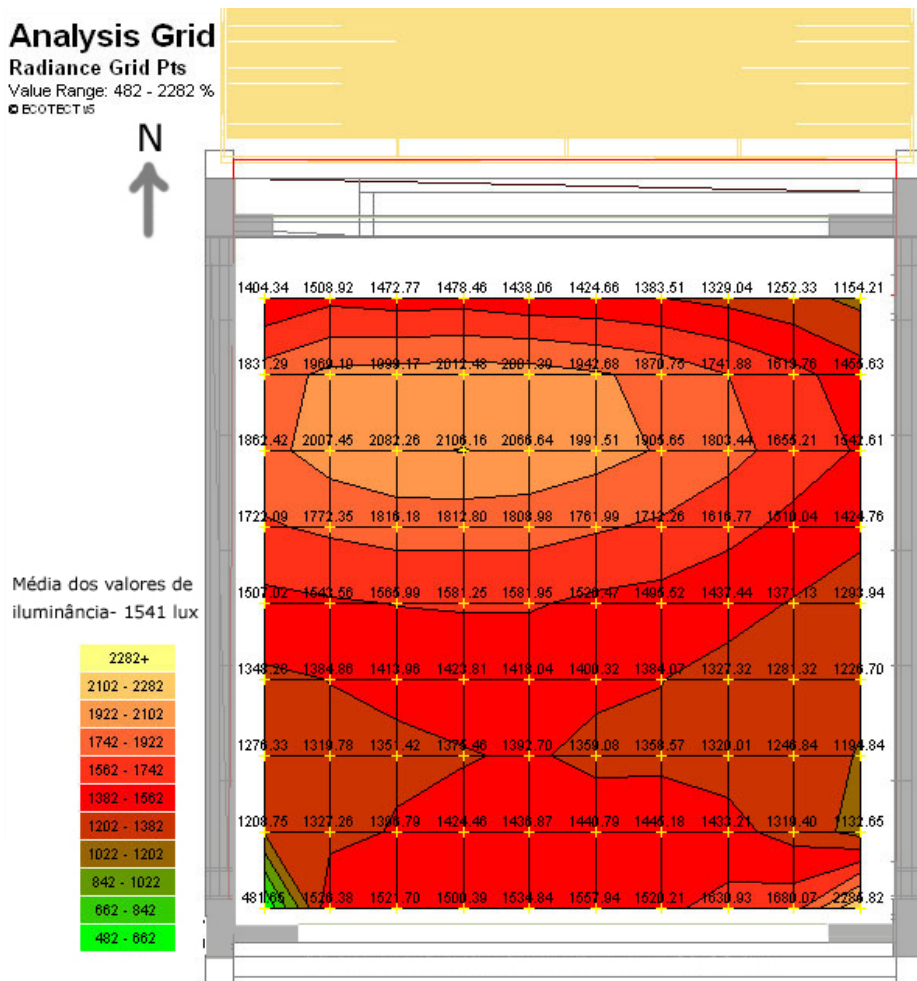


Figura 147 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

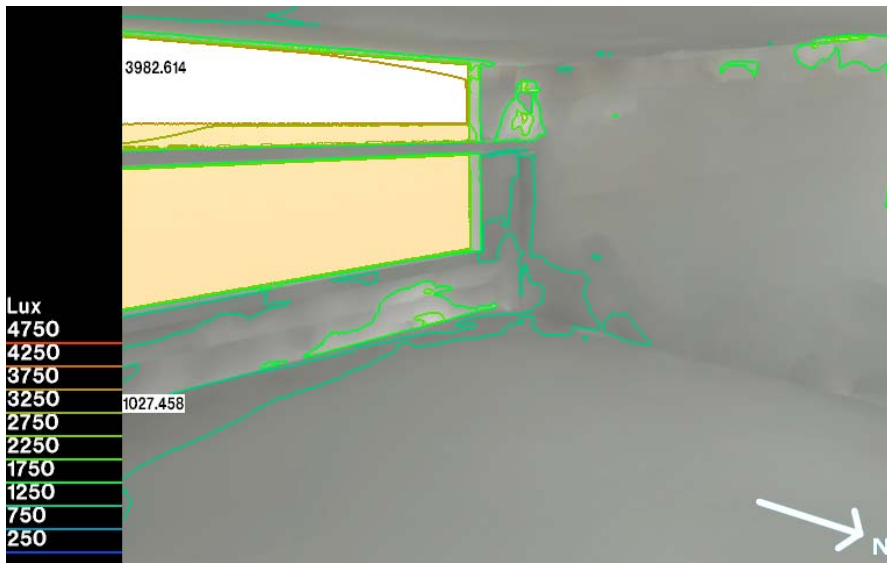


Figura 148 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

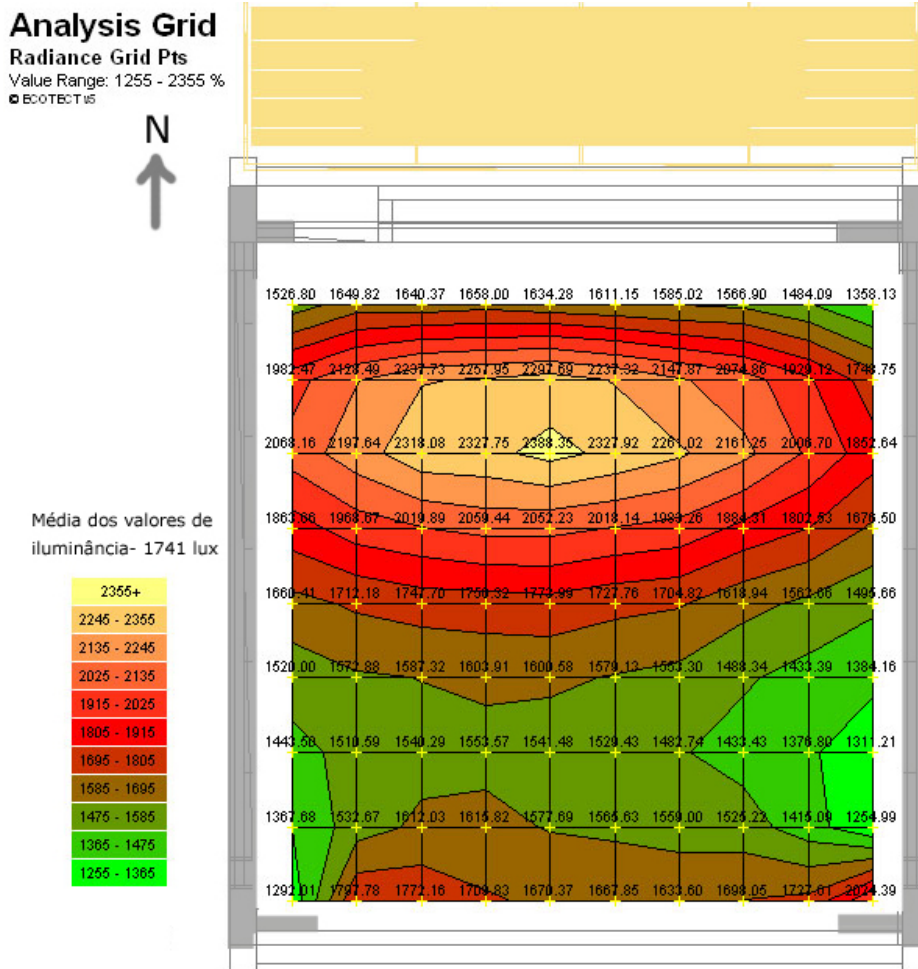


Figura 149 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

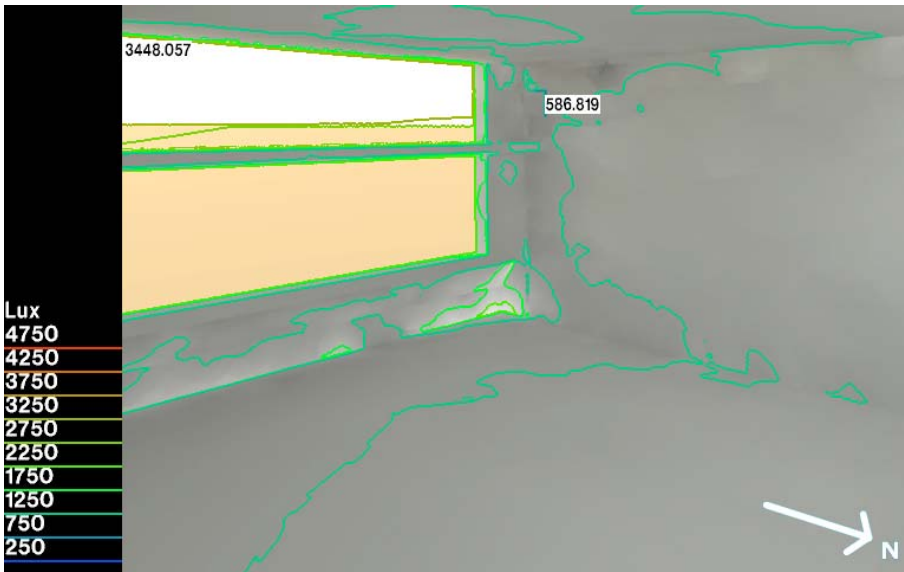
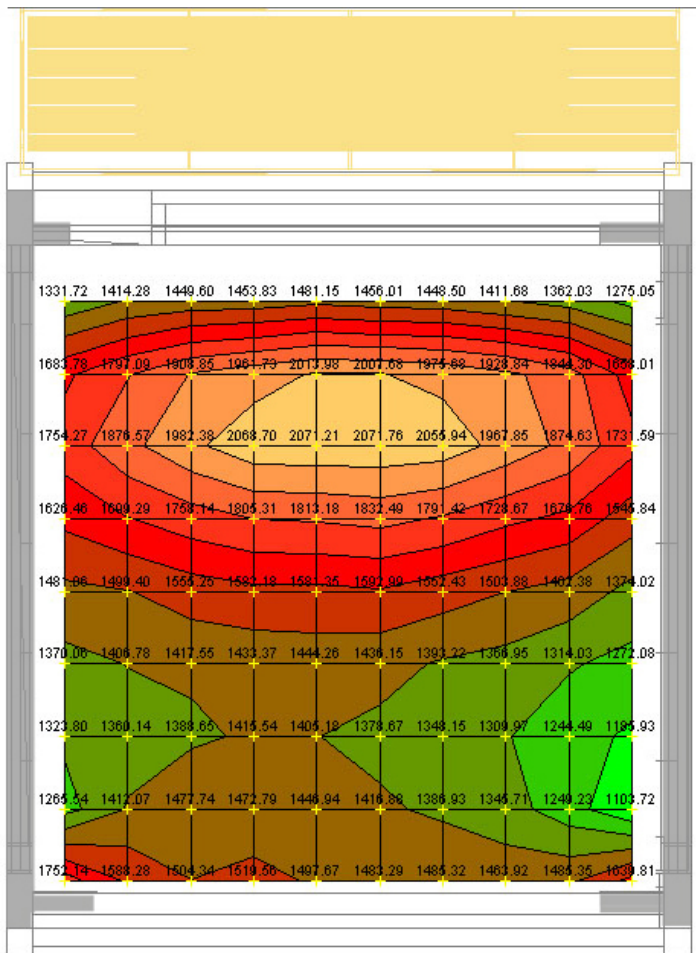


Figura 150 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

Analysis Grid

Radiance Grid Pts
Contour Range: 1104 - 2104 %
In Steps of: 100 %
● ECOTECT 4.5



Média dos valores de
iluminância = 1566 lux



Figura 151 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

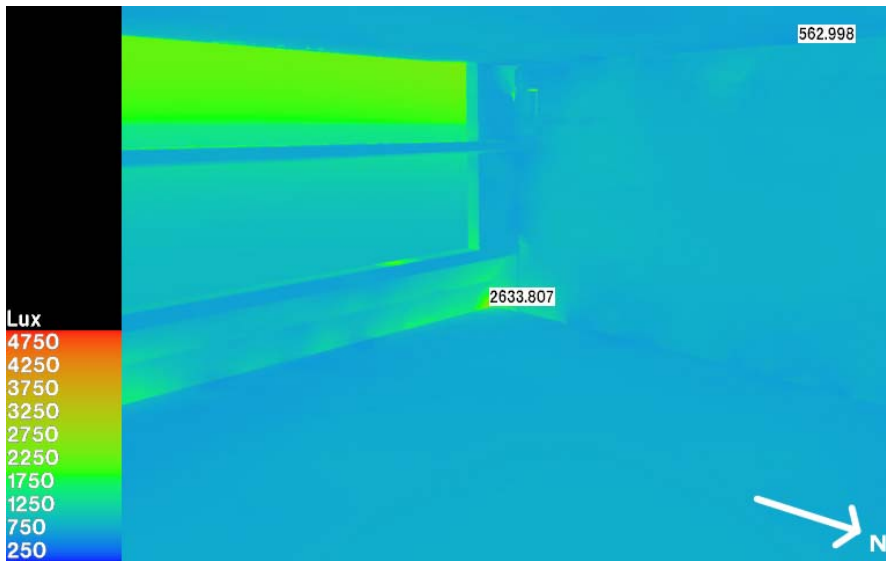


Figura 152 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

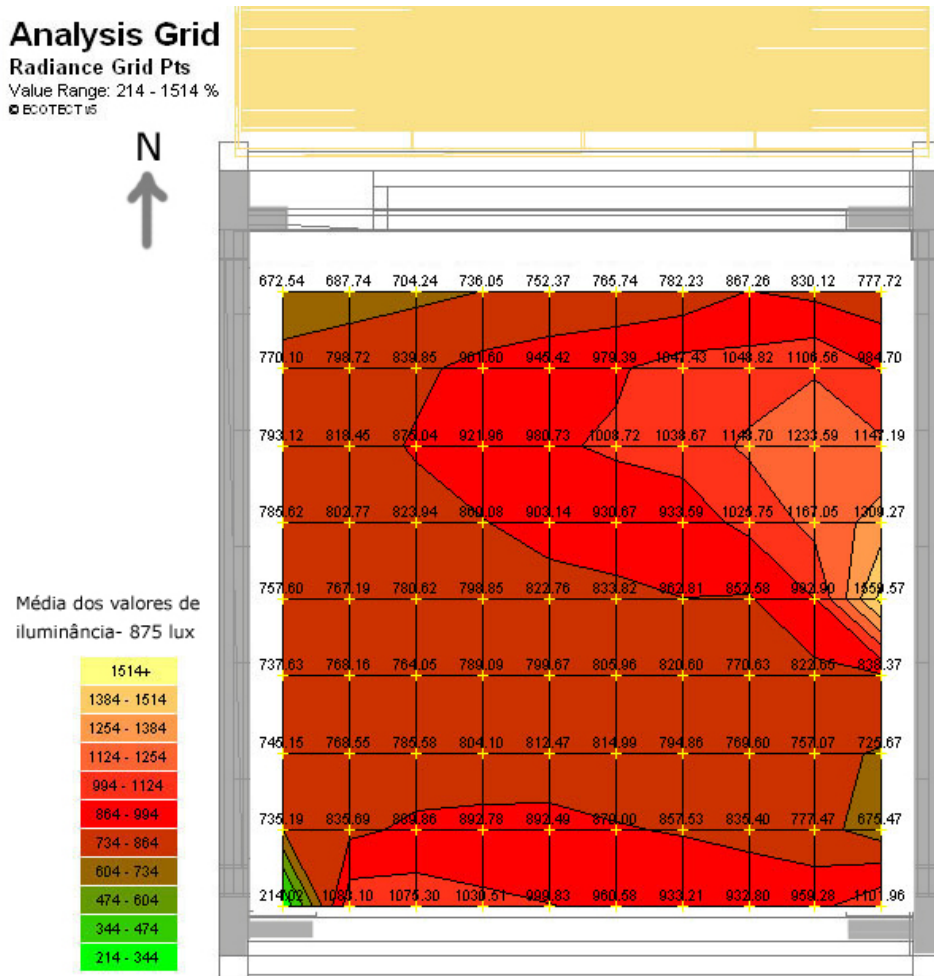


Figura 153 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no solstício de inverno (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

Primavera: céu claro (sala c/prateleira de luz norte modificada: aba interna estendida)

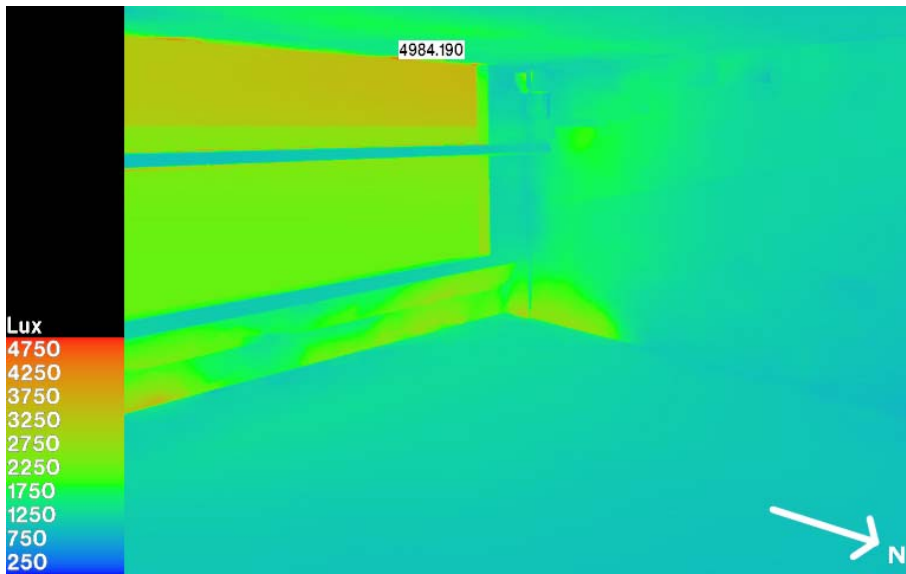


Figura 154 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no equinócio (céu claro).
Fonte (programa de simulação): *Radiance*

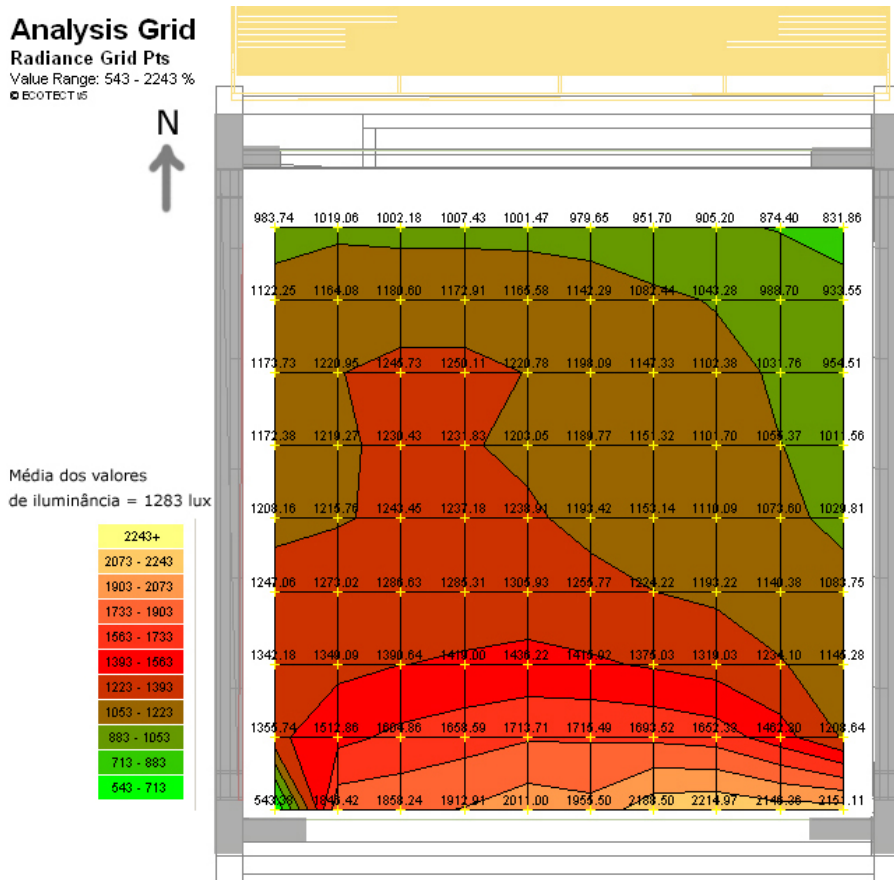


Figura 155 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 8h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

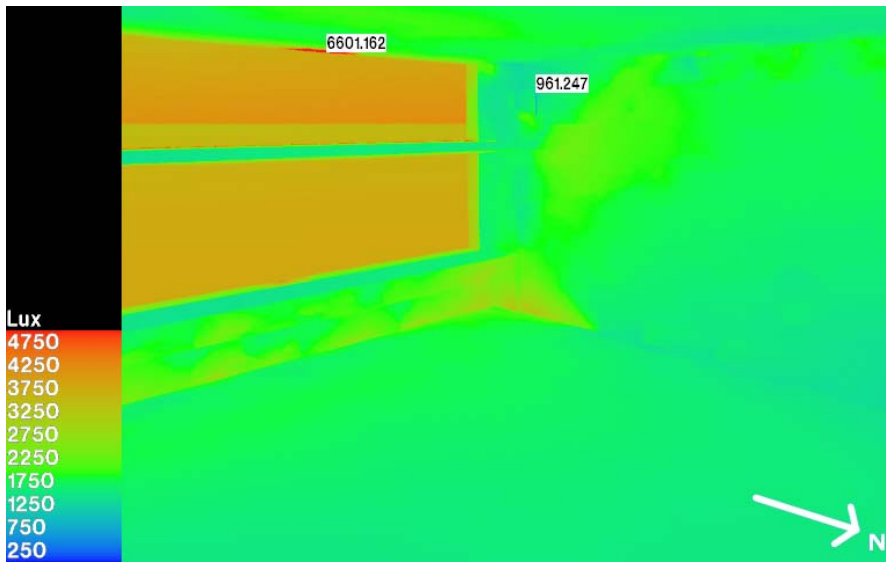


Figura 156 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no equinócio (céu claro).
Fonte (programa de simulação): *Radiance*

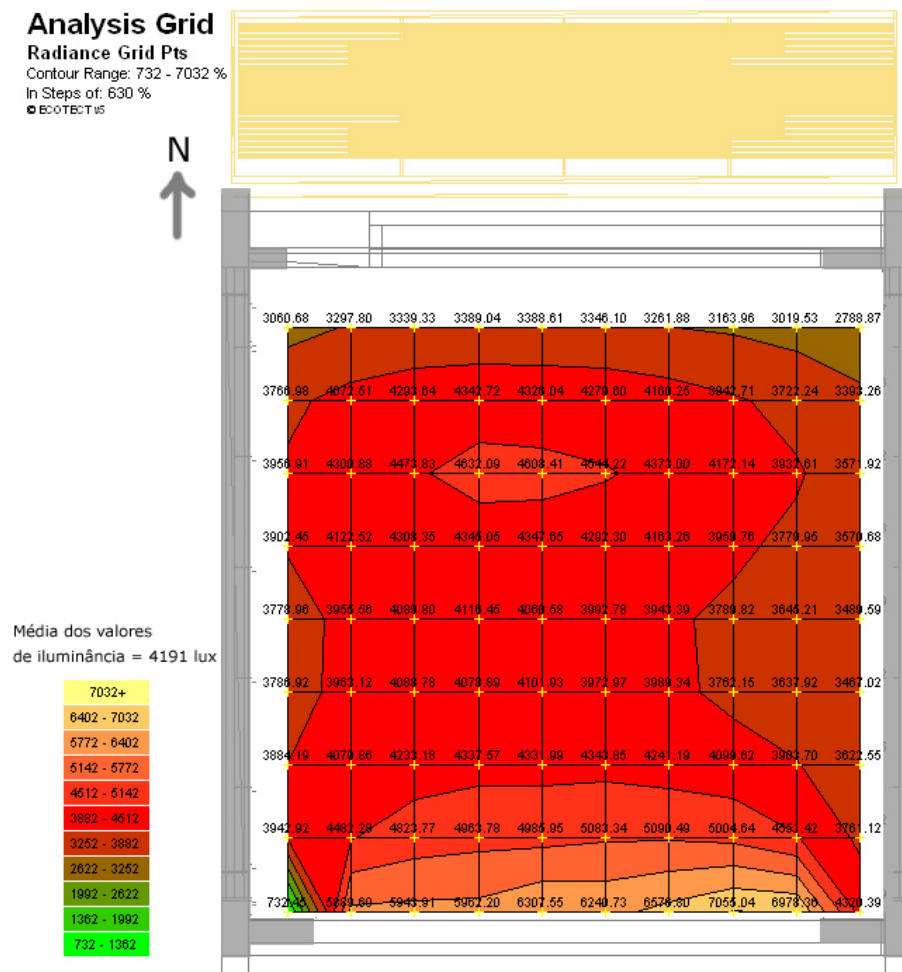


Figura 157 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 10h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

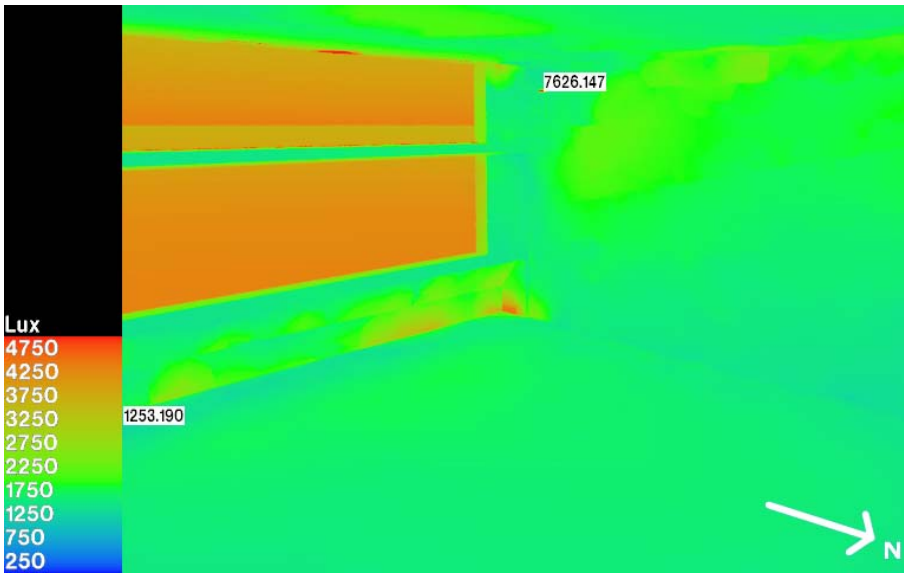


Figura 158 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no equinócio (céu claro).
Fonte (programa de simulação): *Radiance*

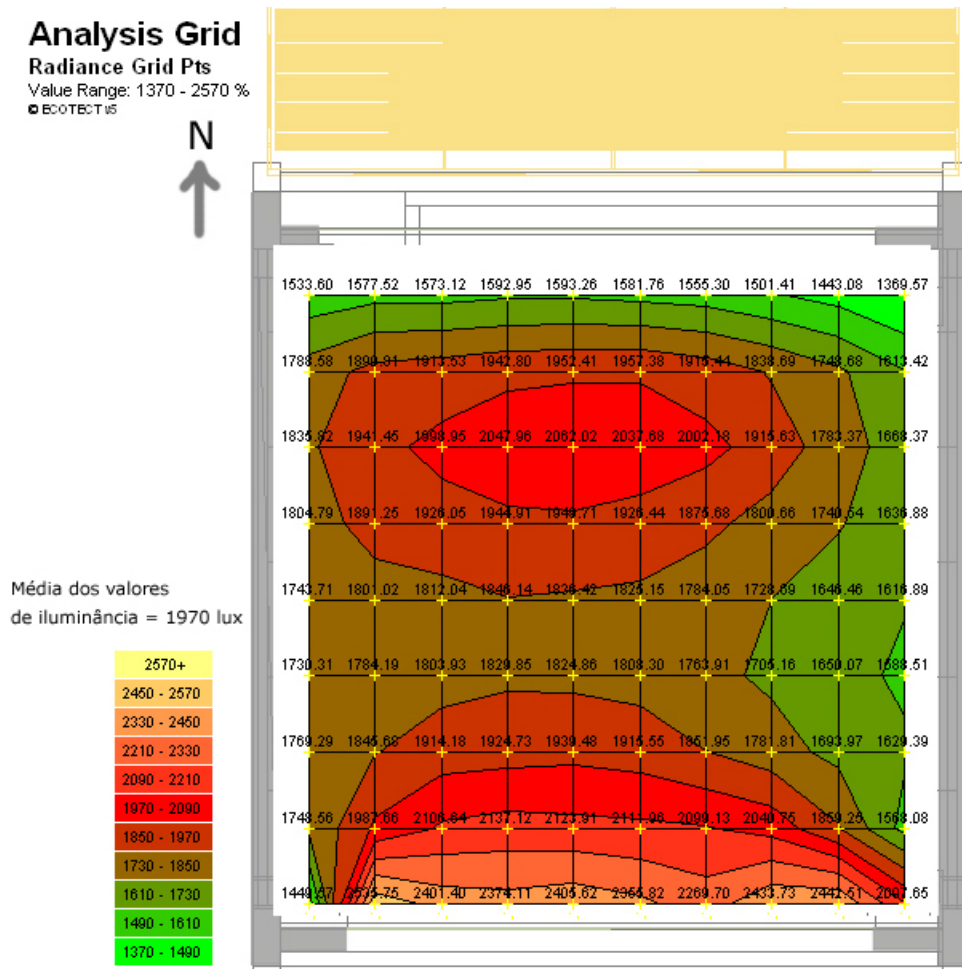


Figura 159 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 12h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

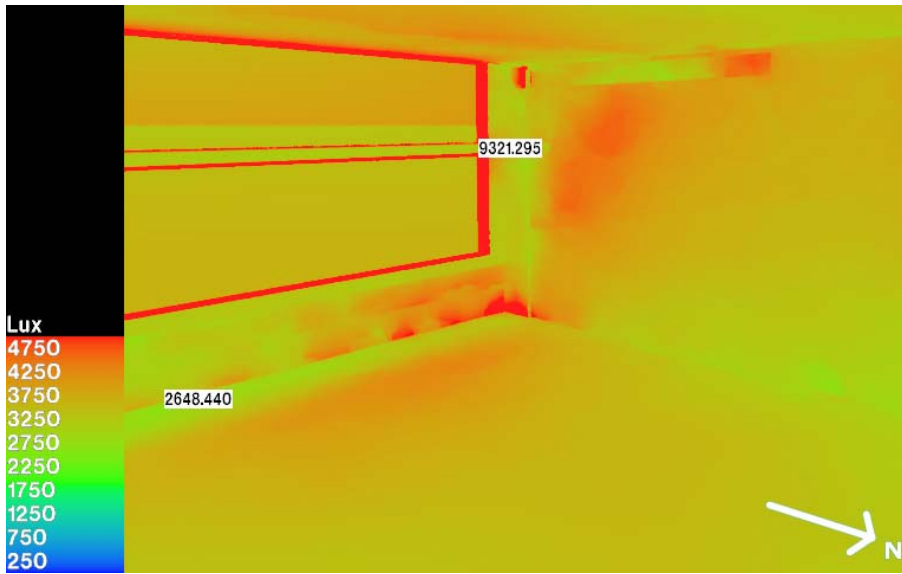


Figura 160 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no equinócio (céu claro).
Fonte (programa de simulação): *Radiance*

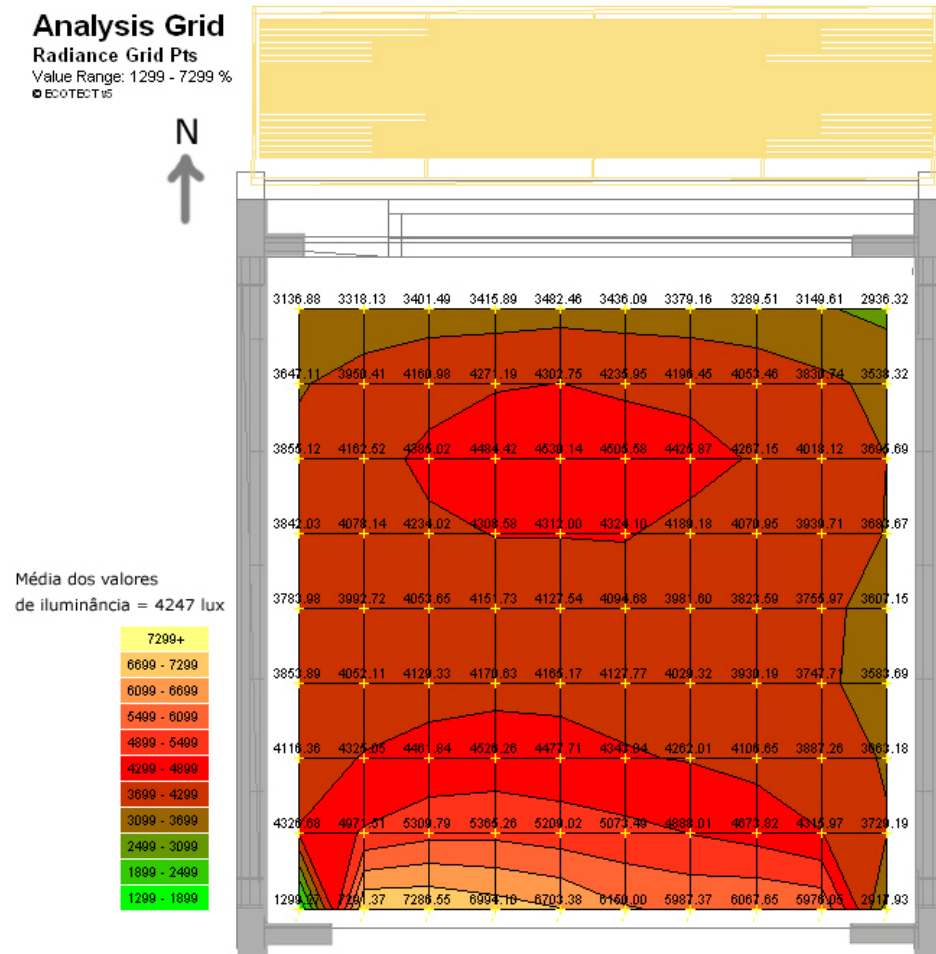


Figura 161 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 14h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

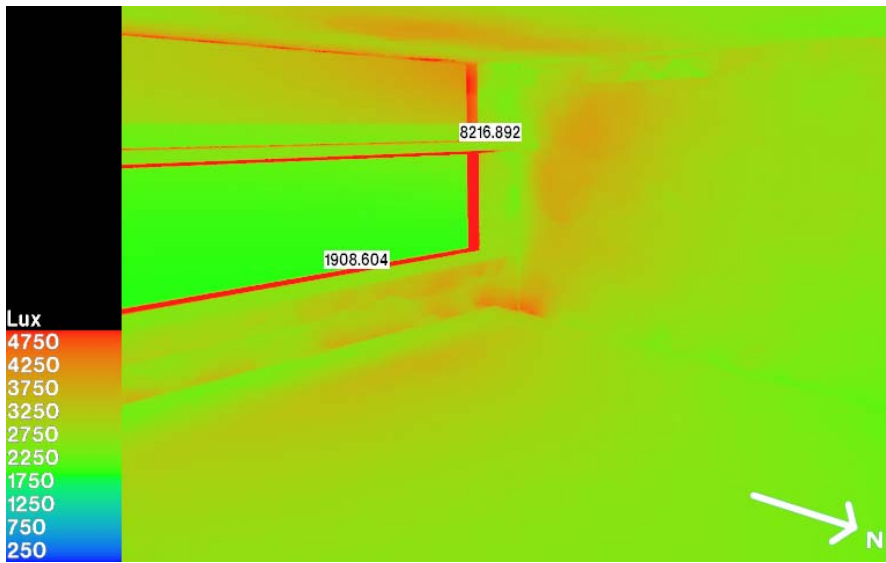


Figura 162 - Curvas isolux da sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no equinócio (céu claro).
Fonte (programa de simulação): *Radiance*

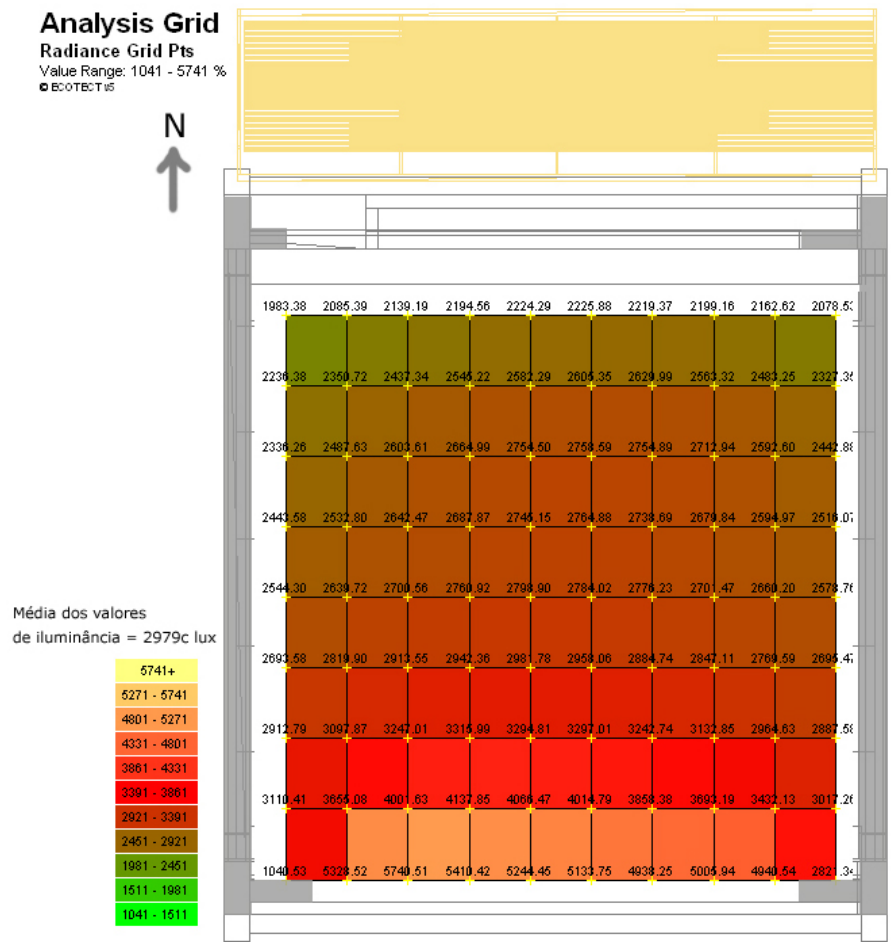


Figura 163 - Valores de iluminância ponto a ponto na sala de aula do Bloco Sul (prateleira de luz modificada) às 16h no equinócio (céu claro). Fonte (programa de simulação): *Radiance*

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL DA SALA DE AULA - BLOCO SUL

Iluminância média recomendada para salas de aula (NBR 5413):
Propriedades do vidro:

300	lux
0,8	Transmitância
0,85	Fator de depreciação
5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela

Nº de pontos simulados:

Estimativa das condições mínimas de iluminância e Potencial de Conservação de Energia Cálculo para condição de céu encoberto

1 Verão - 22/12 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							2 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
ILUMIN. EXT.	HORA	FLD (%)					HORA	P1	P2	P3	P4	P5
		3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%						
12.400	08:00	422	583	570	732	1079	08:00	1	1	1	1	1
16.100	09:00	547	757	741	950	1401	09:00	1	1	1	1	1
18.900	10:00	643	888	869	1115	1644	10:00	1	1	1	1	1
20.700	11:00	704	973	952	1221	1801	11:00	1	1	1	1	1
21.300	12:00	724	1001	980	1257	1853	12:00	1	1	1	1	1
20700	13:00	704	973	952	1221	1801	13:00	1	1	1	1	1
18.900	14:00	643	888	869	1115	1644	14:00	1	1	1	1	1
16.100	15:00	547	757	741	950	1401	15:00	1	1	1	1	1
12.400	16:00	422	583	570	732	1079	16:00	1	1	1	1	1
8100	17:00	275	381	373	478	705	17:00	0,92	1	1	1	1
3.500	18:00	119	165	161	207	305	18:00	0,40	0,55	0,54	0,69	1,02

Solstício de verão
PEE sazonal
Potencial de economia
97%

3 Equinócios - 21/03 e 24/09 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							4 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
ILUMIN. EXT.	HORA	FLD (%)					HORA	P1	P2	P3	P4	P5
		3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%						
10.100	08:00	343	475	465	596	879	08:00	1	1	1	1	1
14.100	09:00	479	663	649	832	1227	09:00	1	1	1	1	1
17.200	10:00	585	808	791	1015	1496	10:00	1	1	1	1	1
19.100	11:00	649	898	879	1127	1662	11:00	1	1	1	1	1
19.800	12:00	673	931	911	1168	1723	12:00	1	1	1	1	1
19.100	13:00	649	898	879	1127	1662	13:00	1	1	1	1	1
17.200	14:00	585	808	791	1015	1496	14:00	1	1	1	1	1
14.100	15:00	479	663	649	832	1227	15:00	1	1	1	1	1
10.100	16:00	343	475	465	596	879	16:00	1	1	1	1	1
5.400	17:00	184	254	248	319	470	17:00	0,61	0,85	0,83	1	1
400	18:00	14	19	18	24	35	18:00	0,05	0,06	0,06	0,08	0,12

Equinócios
PEE sazonal
Potencial de economia
90,3%

5 Inverno - 22/06 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							6 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
ILUMIN. EXT.	HORA	FLD (%)					HORA	P1	P2	P3	P4	P5
		3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%						
6.000	08:00	204	282	276	354	522	08:00	0,68	0,94	0,92	1	1
9.700	09:00	330	456	446	572	844	09:00	1	1	1	1	1
12.500	10:00	425	588	575	738	1088	10:00	1	1	1	1	1
14.300	11:00	486	672	658	844	1244	11:00	1	1	1	1	1
14.900	12:00	507	700	685	879	1296	12:00	1	1	1	1	1
14.300	13:00	486	672	658	844	1244	13:00	1	1	1	1	1
12.500	14:00	425	588	575	738	1088	14:00	1	1	1	1	1
9.700	15:00	330	456	446	572	844	15:00	1	1	1	1	1
6.000	16:00	204	282	276	354	522	16:00	0,68	0,94	0,92	1	1
1.700	17:00	58	80	78	100	148	17:00	0,19	0,27	0,26	0,33	0,49
300	18:00	10	14	14	18	26	18:00	0,03	0,05	0,05	0,06	0,09

Solstício de Inverno
PEE sazonal
Potencial de economia
83,5%

Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural) desenvolvido por SCARAZZATO (1995)

PEE Anual
Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural
90,1%

Figura 164 - Planilha de estimativa de iluminância interna e potencial de economia de energia para a sala de aula (prateleira de luz original) numa situação de céu encoberto, considerando **300 lux** o nível de iluminação geral a ser atingido. Fonte (planilha de cálculo: PEREIRA (2006)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL DA SALA DE AULA - BLOCO SUL

Iluminância média recomendada para salas de aula (NBR 5413):
Propriedades do vidro:

450
0,8
0,85
5

lux
Transmitância
Fator de depreciação
Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela

Nº de pontos simulados:

Estimativa das condições mínimas de iluminância e Potencial de Conservação de Energia Cálculo para condição de céu encoberto

1 Verão - 22/12 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							2 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
ILUMIN. EXT.	HORA	FLD (%)					HORA	P1	P2	P3	P4	P5
		3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%						
12.400	08:00	422	583	570	732	1079	08:00	0,94	1	1	1	1
16.100	09:00	547	757	741	950	1401	09:00	1	1	1	1	1
18.900	10:00	643	888	869	1115	1644	10:00	1	1	1	1	1
20.700	11:00	704	973	952	1221	1801	11:00	1	1	1	1	1
21.300	12:00	724	1001	980	1257	1853	12:00	1	1	1	1	1
20700	13:00	704	973	952	1221	1801	13:00	1	1	1	1	1
18.900	14:00	643	888	869	1115	1644	14:00	1	1	1	1	1
16.100	15:00	547	757	741	950	1401	15:00	1	1	1	1	1
12.400	16:00	422	583	570	732	1079	16:00	0,94	1	1	1	1
8100	17:00	275	381	373	478	705	17:00	0,61	0,85	0,83	1	1
3.500	18:00	119	165	161	207	305	18:00	0,26	0,37	0,36	0,46	0,68
Soltício de verão PEE sazonal Potencial de economia 93%												
3 Equinócios - 21/03 e 24/09 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							4 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
ILUMIN. EXT.	HORA	FLD (%)					HORA	P1	P2	P3	P4	P5
		3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%						
10.100	08:00	343	475	465	596	879	08:00	0,76	1	1	1	1
14.100	09:00	479	663	649	832	1227	09:00	1	1	1	1	1
17.200	10:00	585	808	791	1015	1496	10:00	1	1	1	1	1
19.100	11:00	649	898	879	1127	1662	11:00	1	1	1	1	1
19.800	12:00	673	931	911	1168	1723	12:00	1	1	1	1	1
19.100	13:00	649	898	879	1127	1662	13:00	1	1	1	1	1
17.200	14:00	585	808	791	1015	1496	14:00	1	1	1	1	1
14.100	15:00	479	663	649	832	1227	15:00	1	1	1	1	1
10.100	16:00	343	475	465	596	879	16:00	0,76	1	1	1	1
5.400	17:00	184	254	248	319	470	17:00	0,41	0,56	0,55	0,71	1
400	18:00	14	19	18	24	35	18:00	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08
Equinócios PEE sazonal Potencial de economia 87,3%												
5 Inverno - 22/06 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							6 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
ILUMIN. EXT.	HORA	FLD (%)					HORA	P1	P2	P3	P4	P5
		3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%						
6.000	08:00	204	282	276	354	522	08:00	0,45	0,63	0,61	0,79	1
9.700	09:00	330	456	446	572	844	09:00	0,73	1	0,99	1	1
12.500	10:00	425	588	575	738	1088	10:00	0,94	1	1	1	1
14.300	11:00	486	672	658	844	1244	11:00	1	1	1	1	1
14.900	12:00	507	700	685	879	1296	12:00	1	1	1	1	1
14.300	13:00	486	672	658	844	1244	13:00	1	1	1	1	1
12.500	14:00	425	588	575	738	1088	14:00	0,94	1	1	1	1
9.700	15:00	330	456	446	572	844	15:00	0,73	1	0,99	1	1
6.000	16:00	204	282	276	354	522	16:00	0,45	0,63	0,61	0,79	1
1.700	17:00	58	80	78	100	148	17:00	0,13	0,18	0,17	0,22	0,33
300	18:00	10	14	14	18	26	18:00	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
Soltício de Inverno PEE sazonal Potencial de economia 77,3%												
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural) desenvolvido por SCARAZZATO (1995)							PEE Anual Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural 86,3%					

Figura 165 - Planilha de estimativa de iluminância interna e potencial de economia de energia para a sala de aula (prateleira de luz original) numa situação de céu encoberto, considerando 450 lux o nível de iluminação geral a ser atingido. Fonte (planilha de cálculo: PEREIRA (2006))

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL DA SALA DE AULA - BLOCO SUL

Iluminância média recomendada para salas de aula (NBR 5413):
Propriedades do vidro:
Nº de pontos simulados:

900	lux
0,8	Transmitância
0,85	Fator de depreciação
5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela

Estimativa das condições mínimas de iluminância e Potencial de Conservação de Energia Cálculo para condição de céu encoberto

1 Verão - 22/12 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							2 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
FLD (%)												
ILUMIN. EXT.	HORA	3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%	HORA	P1	P2	P3	P4	P5
12.400	08:00	422	583	570	732	1079	08:00	0,47	0,65	0,63	0,81	1
16.100	09:00	547	757	741	950	1401	09:00	0,61	0,84	0,82	1	1
18.900	10:00	643	888	869	1115	1644	10:00	0,71	0,99	0,97	1	1
20.700	11:00	704	973	952	1221	1801	11:00	0,78	1	1	1	1
21.300	12:00	724	1001	980	1257	1853	12:00	0,80	1	1	1	1
20700	13:00	704	973	952	1221	1801	13:00	0,78	1	1	1	1
18.900	14:00	643	888	869	1115	1644	14:00	0,71	0,99	0,97	1	1
16.100	15:00	547	757	741	950	1401	15:00	0,61	0,84	0,82	1	1
12.400	16:00	422	583	570	732	1079	16:00	0,47	0,65	0,63	0,81	1
8100	17:00	275	381	373	478	705	17:00	0,31	0,42	0,41	0,53	0,78
3.500	18:00	119	165	161	207	305	18:00	0,13	0,18	0,18	0,23	0,34
Soltício de verão PEE sazonal Potencial de economia 78%												
3 Equinócios - 21/03 e 24/09 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							4 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
FLD (%)												
ILUMIN. EXT.	HORA	3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%	HORA	P1	P2	P3	P4	P5
10.100	08:00	343	475	465	596	879	08:00	0,38	0,53	0,52	0,66	0,98
14.100	09:00	479	663	649	832	1227	09:00	0,53	0,74	0,72	0,92	1
17.200	10:00	585	808	791	1015	1496	10:00	0,65	0,90	0,88	1	1
19.100	11:00	649	898	879	1127	1662	11:00	0,72	1	0,98	1	1
19.800	12:00	673	931	911	1168	1723	12:00	0,75	1	1	1	1
19.100	13:00	649	898	879	1127	1662	13:00	0,72	1	0,98	1	1
17.200	14:00	585	808	791	1015	1496	14:00	0,65	0,90	0,88	1	1
14.100	15:00	479	663	649	832	1227	15:00	0,53	0,74	0,72	0,92	1
10.100	16:00	343	475	465	596	879	16:00	0,38	0,53	0,52	0,66	0,98
5.400	17:00	184	254	248	319	470	17:00	0,20	0,28	0,28	0,35	0,52
400	18:00	14	19	18	24	35	18:00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
Equinócios PEE sazonal Potencial de economia 70,4%												
5 Inverno - 22/06 ILUMINÂNCIA INTERNA ESTIMADA							6 Potencial de economia de energia (%) ILUMINÂNCIA PREVISTA / REQUERIDA					
FLD (%)												
ILUMIN. EXT.	HORA	3,4%	4,7%	4,6%	5,9%	8,7%	HORA	P1	P2	P3	P4	P5
6.000	08:00	204	282	276	354	522	08:00	0,23	0,31	0,31	0,39	0,58
9.700	09:00	330	456	446	572	844	09:00	0,37	0,51	0,50	0,64	0,94
12.500	10:00	425	588	575	738	1088	10:00	0,47	0,65	0,64	0,82	1
14.300	11:00	486	672	658	844	1244	11:00	0,54	0,75	0,73	0,94	1
14.900	12:00	507	700	685	879	1296	12:00	0,56	0,78	0,76	0,98	1
14.300	13:00	486	672	658	844	1244	13:00	0,54	0,75	0,73	0,94	1
12.500	14:00	425	588	575	738	1088	14:00	0,47	0,65	0,64	0,82	1
9.700	15:00	330	456	446	572	844	15:00	0,37	0,51	0,50	0,64	0,94
6.000	16:00	204	282	276	354	522	16:00	0,23	0,31	0,31	0,39	0,58
1.700	17:00	58	80	78	100	148	17:00	0,06	0,09	0,09	0,11	0,16
300	18:00	10	14	14	18	26	18:00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Solstício de Inverno PEE sazonal Potencial de economia 53,3%												
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural) desenvolvido por SCARAZZATO (1995)							PEE Anual Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural 68,0%					

Figura 166 - Planilha de estimativa de iluminância interna e potencial de economia de energia para a sala de aula (prateleira de luz original) numa situação de céu encoberto, considerando 900 lux o nível de iluminação na mesa de trabalho. Fonte (planilha de cálculo: PEREIRA (2006))

Apêndice

**Relatório de visita aos ambientes escolares
no México e Estados Unidos**

8

8. Apêndice: Relatório de visita aos ambientes escolares no México e Estados Unidos

Introdução

O presente relatório apresenta, através de fotos e comentários, alguns exemplares da produção arquitetônica de ambientes escolares na Flórida e no México. As visitas foram realizadas entre setembro de 2005 e março de 2006 em Miami (Flórida, EUA), Fort Lauderdale (Flórida, EUA) e Cidade do México (DF, México): *Barry University*, *Miami Dade College (MDC)*, *Florida International University (FIU)*, *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*, *Universidad Tecnológica de México (UNITEC)*, e escolas do ensino fundamental em Fort Lauderdale e Cidade do México.

Além disso, a autora conversou sobre a prática projetual de ambientes escolares com o arquiteto Alex Peres (escritório Zyscovich em Miami) e sobre o desempenho energético e satisfação dos usuários com o engenheiro José Jesús Téllez (UNITEC).

O objetivo dessas visitas foi aumentar o repertório de projeto da aluna, identificar os acertos e erros dessas obras e também conhecer a realidade desses espaços, para, num segundo momento, utilizar esses dados na formulação de estratégias arquitetônicas para espaços escolares com qualidade ambiental no Brasil. É válido lembrar que apesar das localizações geográficas distintas, tanto Miami¹¹⁹ quanto a Cidade do México¹²⁰ apresentam algumas semelhanças em relação ao clima de São Paulo¹²¹, porque não possuem situações extremas de frio ou calor.

Ambientes escolares na Flórida

Em setembro de 2005 foram visitadas 3 universidades (2 privadas e 1 semi-pública) localizadas em Miami (Flórida, EUA). O acesso às mesmas foi permitido devido a uma carta de apresentação formulada pela aluna e assinada pela orientadora e pelo chefe do Departamento de Tecnologia da FAU/USP, autorizando inclusive a documentação fotográfica.

Além das 3 universidades, foi fotografada também uma escola do ensino fundamental em Fort Lauderdale (Flórida, EUA), porém, o acesso ao interior da mesma não foi permitido.

¹¹⁹ Miami: latitude 25° 79'N; longitude 80°W; altitude 3m. Fonte: <<http://www.tutiempo.net>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

¹²⁰ Cidade do México: latitude 19° 43'N; longitude 99°W; altitude 2238m. Fonte: <<http://www.tutiempo.net>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

¹²¹ São Paulo: latitude 23° 62'N; longitude 45°W; altitude 803m. Fonte: <<http://www.tutiempo.net>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

A seguir será apresentado o registro dessas visitas através da documentação fotográfica e dos comentários em relação à arquitetura e à percepção da aluna nesses espaços.

Barry University¹²²

Essa universidade é mantida por capital privado e está localizada na 11300 NE 2nd *Avenue*, em Miami Shores, Miami. A visita ocorreu no mês de setembro de 2005 e pôde-se perceber principalmente a organização, limpeza, e cuidado com a infra-estrutura geral do *campus*. No entanto, a arquitetura dos edifícios é formal, sem atrativos e sem qualidade ambiental, apresentando o uso irrestrito do ar condicionado.

Fachadas

Os edifícios do *campus* possuem uma fachada simples de alvenaria rebocada e pintada, com um desenho tradicional de esquadrias. No exemplo abaixo, vê-se poucas janelas, porém estas são sombreadas por uma grelha metálica externa.



Figura 167 e 168 - Fachada e detalhe da esquadria do edifício de Ciências da *Barry University*. Fotos de set. 2005

Salas de aula e corredores

Abaixo, os corredores de acesso às salas de aula funcionam também como vias de passagem para outros edifícios, já que os mesmos estão localizados no pavimento térreo. Pode-se notar aqui que

¹²² Mais informações na página: <<http://www.barry.edu/default.htm>>.

as esquadrias das salas de aula para o corredor (as superiores de correr e as venezianadas) estão vedadas, devido ao uso do ar condicionado.



Figura 169 e 170 - Corredores das salas de aula do edifício de Ciências da *Barry University*. Fotos de set. 2005

A sala de aula abaixo encontrava-se com as luminárias acesas e com o ar condicionado ligado, mesmo sem nenhuma ocupação, característica de uso bastante comum nos Estados Unidos. O espaço é agradável, porém necessita de condicionamento do ar e luz artificiais para se alcançar o conforto térmico e luminoso. Não possui qualquer abertura para a circulação interna do edifício e a única janela da sala não é suficiente para promover a renovação de ar do e para fornecer luz natural.



Figura 171 - Sala de aula padrão na *Barry University*. Vista para a única janela da sala. Foto de set. 2005

MDC - Miami Dade College (Kendall Campus)¹²³

Essa universidade é tida como semi-pública, pois os alunos têm seus estudos subsidiados pelo Governo, pelo Estado ou pela própria instituição. Possui 8 *campus*, porém a visita ocorreu em *Kendall Campus*, localizado na 11011 SW 104 Street, Miami, em setembro de 2005.

O *campus* visitado possui uma marcante tipologia arquitetônica e um partido de projeto constante em todos os edifícios, conferindo unidade ao conjunto: os elementos estruturais são evidentes (pilares, vigas e demais componentes das fachadas); o revestimento das fachadas é feito com o próprio concreto estrutural, com reboco grosso ou com placas de pedra; nenhuma esquadria recebe a radiação solar direta; os pátios, os espaços de convivência e a vegetação são marcantes por entre os edifícios, tornando agradável tanto a circulação pelo *campus* quanto a permanência nos espaços externos. Crédito é dado também ao serviço de manutenção do *campus*.

Fachadas

Além das esquadrias serem protegidas da radiação solar direta através das estruturas verticais de concreto, recebem ainda uma luz natural filtrada através da grelha metálica acoplada a essas estruturas. Todas as grelhas metálicas que protegem as esquadrias foram projetadas de acordo com a geometria solar, pois cada fachada do edifício recebeu um dimensionamento diferente dessa grelha.



Figura 172 e 173 - Edifício que abriga as faculdades de Arquitetura, Biologia, Matemática e outras atividades. Fotos de set. 2005

No edifício abaixo, a estrutura é descolada da fachada, promovendo um sombreamento das esquadrias já pelo recuo ocasionado. Além disso, a estrutura externa ainda recebe a grelha metálica de sombreamento.

¹²³ Mais informações na página: <<http://www.mdc.edu/kendall/>>



Figura 174, 175, 176 - Edifício que abriga atividades administrativas. Fotos de set. 2005

Salas de aula e corredores

A sala de aula (ateliê de projeto) abaixo está localizada em uma das extremidades do edifício que abriga a Faculdade de Arquitetura. Pode-se ver que a distribuição de janelas ao redor da sala de aula parece suficiente para iluminá-la. No entanto, não foi possível uma análise melhor da qualidade e da quantidade da luz natural oferecida à sala porque não se conseguiu apagar as luminárias (sistema de controle de acionamento central).



Figura 177 - Sala de aula da Faculdade de Arquitetura. Foto de set. 2005

A circulação interna do edifício não possui contato com o ambiente externo, devendo, portanto, usar estratégias artificiais para iluminação e condicionamento desse ambiente. Interessante observar a possibilidade da permanência e/ou espera das pessoas nesse local de circulação, devido ao recuo provocado na parede para a colocação de bancos. A porta de acesso às salas também está localizada em um recuo da parede, facilitando o trânsito das pessoas.



Figura 178, 179, 180 - Circulação interna do edifício que abriga a Faculdade de Arquitetura e outras. Fotos de set. 2005

Novos edifícios foram construídos no *campus* para atender à crescente demanda. O edifício abaixo possui balcões, que são usados como circulação e acesso às salas de aula, mas os mesmos também funcionam como sombreadores das superfícies externas.



Figura 181, 182, 183 - Edifício com circulação externa. Fotos de set. 2005

No entanto, o projeto arquitetônico não privilegiou a entrada da luz natural, a visão para o exterior e a possibilidade de integração com o ambiente externo. Algumas características podem ser aqui destacadas: o recuo da parede criou um nicho para armário ou para um segundo quadro (caso da foto abaixo), e protegeu as portas do trânsito externo; as venezianas superiores encontravam-se abertas, sendo essa a única maneira de permitir o acesso à luz natural e à renovação do ar, mas não suficientes, quando as portas encontrarem-se fechadas.



Figura 184 - Sala de aula padrão dos edifícios com balcão e circulação externa. Foto de set. 2005

Espaços abertos

Todos os espaços abertos do *campus*, quando não são estacionamentos, são espaços que promovem a convivência entre os usuários. Possuem áreas verdes, jardins planejados e mobiliários de qualidade.

Todos os edifícios e espaços do *campus* são conectados através de passagens cobertas protegidas da chuva e da radiação solar direta.



Figura 185, 186 - Espaços abertos em Kendall Campus. Fotos de set. 2005



Figura 187, 188, 189 - Percursos de pedestres em Kendall Campus. Fotos de set. 2005

FIU - Florida Internacional University (University Park Campus)¹²⁴

Essa universidade é uma instituição privada que possui várias unidades de ensino, dentre as quais a aluna visitou o *University Park Campus*, localizado na 11200 S.W. 8th Street, em Miami, em setembro de 2005.

Na FIU, a aluna teve a oportunidade de visitar somente a Escola de Arquitetura e a Faculdade de Engenharia e Computação, no entanto, serão aqui apresentados apenas as fotos e o relato da primeira.

O *campus* visitado também merece destaque pela organização e pelo cuidado com a infraestrutura geral. Assim como os demais apresentados anteriormente, possui um projeto urbanístico que facilita a locomoção interna de pedestres. Porém, ao contrário da MDC, a preocupação em relação à exposição das superfícies à radiação solar direta restringe-se apenas a poucos exemplos, como o da fachada envidraçada voltada para norte no edifício da Arquitetura. Todos os ambientes são condicionados artificialmente. Já a luz natural é utilizada em duas ocasiões importantes: no ateliê de projeto através da fachada norte e no edifício administrativo/ salas de professores através de aberturas zenitais na cobertura.

Fachadas

O aspecto formal da Escola de Arquitetura é marcante e, apesar de ser dividida em 4 edifícios, permite uma fácil leitura do partido arquitetônico: um de ateliê de projeto e salas de aula (edifício com a fachada envidraçada), um de administração e salas de professores (edifício branco), um para lanchonete, terraço e circulação (edifício vermelho) e o último de livraria, estúdios e circulação (edifício degradê).

Vale destacar nas fachadas apresentadas abaixo: as 3 seções de esquadrias recuadas e voltadas para nordeste (edifício degradê) e o painel de vidro voltado para norte (edifício branco).



Figura 190, 191, 192 - Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005

¹²⁴ Mais informações na página: <<http://www.fiu.edu/>>

A escola possui um pátio interno utilizado para eventos e outras atividades, no entanto, não é um espaço de permanência agradável, pois não possui sombra, árvores, mobiliário ou qualquer outro recurso que convide os usuários a ali permanecerem. Os 4 edifícios são unidos por passarelas, que contornam esse pátio interno.



Figura 193, 194, 195 - Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005

Salas de aula

O ateliê de projeto é distribuído em 2 andares: um com pé-direito simples, e outro com pé-direito duplo. O painel de vidro abrange essas 3 alturas e está orientado para norte, fornecendo assim uma luz mais difusa aos ambientes. Nota-se que a quantidade de luz interna é suficiente, mesmo com a presença de poucas luminárias.

O edifício administrativo, que também comporta as salas dos professores, possui aberturas na cobertura para a entrada da luz zenital. Esse artifício fornece uma luz de qualidade ao piso superior e à parte do inferior. Nota-se, no entanto, as luminárias acesas em toda a parte central do edifício. Uma avaliação da necessidade ou não do uso da iluminação artificial junto à natural não foi possível porque não foi permitido o desligamento das luminárias.



Figura 196, 197 - Ateliê de projeto da Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005



Figura 198, 199, 200 - Edifício administrativo da Escola de Arquitetura da FIU. Fotos de set. 2005.

Escola do ensino fundamental (Fort Lauderdale)

Mesmo com a carta de apresentação da aluna vinculando-a a USP e explicando os seus objetivos, o acesso às escolas do ensino básico, fundamental e médio foi complicado. Como a permanência na Flórida era curta, não foi possível estender as negociações que permitissem o acesso e a documentação das mesmas.

Mesmo com esse restrito material documentado, a aluna conseguiu ver externamente algumas escolas durante toda a sua estadia, permitindo uma conclusão, mesmo que superficial, à cerca do espaço físico das mesmas.

Infelizmente, a arquitetura das escolas públicas por lá vista não é empolgante, não tem qualidade formal nem tampouco inspiram a criatividade dos alunos e a dinamicidade nas relações. Sempre se apresentam como um espaço enclausurado, sem qualquer relação com o meio externo e quando possuem janelas, estas se encontram com as persianas fechadas. Transmitem a sensação de abandono ou como se a escola estivesse fechada para as férias.

Uma prática comum nos Estados Unidos é o uso de salas de aula denominadas móveis ou temporárias. São avulsas; podem ser realocadas (estão elevadas do solo); são construídas com materiais leves e não dependem da infra-estrutura elétrica e de esgotos do edifício principal. Possuem ar condicionado individual, no entanto, o desempenho energético das mesmas é questionável, assim como o conforto ambiental oferecido.

As fotos abaixo são de uma escola em Fort Lauderdale, tiradas fora dos limites da propriedade, em março de 2006.



Figura 201, 202 - Escola em Fort Lauderdale: edifício principal ao fundo, salas de aula temporárias a frente. Fotos de mar. 2006

Arq. Alex Peres: prática projetual e mercado

A escolha pelo escritório Zyscovich¹²⁵ deveu-se ao fato do mesmo ser um dos mais influentes no estado da Flórida na área de arquitetura escolar, e também porque o arquiteto coordenador dessa área (Alex Peres) estava envolvido em um ciclo de palestras sobre a aplicação do LEED em projetos escolares. A visita ao escritório em Miami foi realizada em outubro de 2005 e foi proporcionada através do contato da Prof^a Márcia Mello da *Miami Dade College* com o Arq. Alex Peres da equipe de projetos escolares deste escritório.

A equipe denominada *Education Group* desenvolve: projetos de planejamento de *campus*, estudo de viabilidade em terrenos, programa de necessidades para escolas, pesquisas e estudos comparativos, especificações, projeto de protótipos de escolas, projeto de escolas para o Programa *Smart School* do DOE¹²⁶, especificações, compra e instalação de equipamentos e sistemas, administração da construção, entre outros. O escritório tem como características o desenvolvimento de projetos flexíveis, a rapidez na construção e o baixo custo.

Na página *web* do escritório pode ser encontrada a oferta do serviço: projeto 'protótipo' de escolas. Foi então perguntado ao arquiteto como era desenvolvido esse protótipo, e principalmente, como era possível o mesmo ser construído repetidamente em diferentes locais, já que diferentes locais apresentam diferentes condições físico-climáticas, exigindo assim diferentes projetos.

O arquiteto respondeu que o escritório já tem desenvolvido 6 protótipos de escolas, baseados em um programa de necessidade padrão para escolas públicas dos Estados Unidos (*K12 Schools*¹²⁷) e baseados também em uma arquitetura padrão (padrão Zyscovich Inc.). Esses protótipos são

¹²⁵ Mais informações na página: <<http://www.zyscovich.com/>>

¹²⁶ Mais informações na página: <<http://www.energysmartschools.gov/sectors/ess/index.asp>>.

¹²⁷ Mais informações nas páginas: <<http://www.ed.gov/index.jhtml>> e <<http://www.fldoe.org/k12/>>

usados como base para outros protótipos e projetos de escolas, e demanda-se em média 6 meses para modificá-los. Nesse período de modificações em um protótipo são levados em consideração as novas dimensões do terreno, as características locais, os custos e restrições do cliente. No entanto, variáveis como vento, sol, temperatura, umidade do ar etc, não são os principais critérios para essas modificações.

Na página *web* do escritório podem ser encontradas várias fotos de escolas já concluídas e por eles projetadas. Contudo, essas fotos não aparentam preocupação com os aspectos ambientais ou de consumo de energia.



Figura 203, 204 - *Floranada Elementary School* (esquerda); *Sunset Learning Center* (direita), Flórida. Fonte: <<http://www.zyscovich.com/>>. Acesso em: 30 abr. 2006

Foi perguntado ao arquiteto se o escritório buscava realizar projetos com essas características, já que o mesmo estava buscando informações em um ciclo de palestras do LEED. Alex Peres, com mestrado na área de arquitetura ambiental na *Columbia University*, acredita que seja mais do que necessário construir escolas com conforto ambiental e alto desempenho energético, mas que infelizmente os clientes ainda não possuíam essa mentalidade para financiar a construção. Afirmou que em diversas ocasiões já tentou convencer o empreendedor de que a economia com a energia elétrica, por exemplo, pagaria o investimento inicial realizado na obra em apenas alguns anos. Entretanto, alega que o cliente ainda pensa e planeja a curto prazo, importando-se apenas com o custo imediato da obra. O refinamento da construção ou a colocação de elementos como *brises*, por exemplo, que não fazem parte do 'básico' de um projeto, não interessam àqueles responsáveis pelo dinheiro da obra.

Alex continua descrevendo o problema do mercado da construção que, segundo ele, na verdade é um problema de investimento *versus* retorno financeiro a curto prazo, principal preocupação dos Estados Unidos em geral. Enquanto o mercado da construção, pelo menos na Flórida, não muda, o escritório tenta pelo menos usar as diretrizes básicas de inserção do edifício no terreno (considerando a insolação e o ruído) e trabalhar com a volumetria do edifício para que se obtenha sombra onde se deseja.

Ambientes escolares no México

Em fevereiro de 2006 foram visitadas 2 universidades (1 pública e 1 privada) localizadas na Cidade do México. O acesso à primeira (UNAM) foi permitido sem a apresentação de nenhum documento, porque o *campus* universitário é aberto ao público. Para conhecer todo o *campus* foram necessários 4 dias de visita, devido à sua extensão e ao número de edifícios existentes.

Já o acesso ao *campus* Coyoacán da UNITEC foi bem mais dificultado, por se uma instituição privada. Foi preciso conversar com o diretor da Universidade e entregar uma declaração complementar afirmando que as fotos seriam exclusivamente utilizadas para fins acadêmicos. A visita ocorreu no dia seguinte, com um limite de tempo de 30 minutos para fotografar os edifícios.

Além das 2 universidades, foram fotografadas externamente 3 escolas do ensino fundamental no Bairro Polanco na Cidade do México. O acesso ao interior dos edifícios não foi permitido¹²⁸.

A seguir será apresentado o registro dessas visitas através da documentação fotográfica e através dos comentários em relação à arquitetura e à percepção da aluna nesses espaços.

UNAM - Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad Universitaria)¹²⁹

A UNAM, principal universidade do país, oferece um ensino público e de qualidade para mais de 20 mil alunos. Possui centros de estudo por todo o México, sendo o *campus* Cidade Universitária na capital o maior deles, de dimensões extraordinárias. Para locomover-se dentro desse *campus* está disponível aos usuários um serviço de transporte gratuito e rotativo. Além disso, há uma estação do metrô dentro do *campus*, facilitando o acesso ao mesmo a milhares de pessoas.

Os espaços abertos do *campus* são limpos e recebem uma manutenção adequada. Esses espaços são bastante utilizados não só como área de passagem, mas também como área de convívio.

O estado físico dos edifícios varia de acordo com o curso que abriga, provavelmente porque a verba destinada para a manutenção dos edifícios varia entre as faculdades. Os edifícios foram sendo construídos ao longo das décadas, portanto, o *campus* apresenta várias tipologias arquitetônicas e diferentes tecnologias empregadas na construção.

Faz-se uso principalmente de estratégias passivas de condicionamento ambiental (ventilação natural), porém ventiladores também são encontrados nos ambientes de sala de aula e de serviços

¹²⁸ Acredito que a dificuldade para documentar internamente as escolas deve-se ao fato da presença de crianças nesses ambientes. Os pais não desejam que seus filhos sejam fotografados por terceiros, e assim os professores e demais funcionários não permitem qualquer ação que possa resultar em problemas com os pais.

¹²⁹ Mais informações na página: <<http://www.unam.mx/>>

administrativos. Alguns edifícios incorporam pátios internos, apresentam *sheds* e outros dispositivos na cobertura para iluminação natural. A seguir serão apresentados alguns destes.

De um modo geral, a infra-estrutura do campus impressiona tanto pela sua dimensão e número de edifícios que possui, quanto pelo espírito acadêmico lá encontrado.

Fachadas

Como dito anteriormente, há uma quantidade enorme de tipologias de edifícios dentro do *campus*, cada qual com seu tipo de fachada, com uma tecnologia construtiva diferente, e também com um estado de conservação distinto.

Vê-se desde edifícios quase totalmente envoltos por painéis de vidro, até edifícios que não apresentam aberturas. Vê-se também edifícios com acabamento em concreto aparente, edifícios com revestimento cerâmico e outros com revestimentos metálicos. Encontram-se também construções com estrutura convencional de concreto e alvenaria de tijolos até construções erguidas somente com estrutura metálica.

Outra característica observada foi a presença de distintos desenhos de esquadrias, onde a maioria é dividida em 3 partes, permitindo pelo menos a abertura de uma delas. Esquadria venezianada, aberturas basculantes, de correr (horizontalmente e verticalmente), fixas, tijolo de vidro, entre outros, muitas vezes são encontrados em uma mesma fachada.



Figura 205, 206, 207 - Fachadas de diferentes edifícios do *Campus* Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006



Figura 208, 209, 210 - Fachadas de diferentes edifícios do *Campus* Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006

Abaixo, o edifício da Engenharia, possivelmente o mais recente dentro do *campus*, tornou-se um marco arquitetônico naquele contexto por empregar novas tecnologias de construção. Foi todo construído em estrutura metálica, revestido com materiais metálicos e vedado com grandes painéis de vidro na fachada.

Outras características marcantes nesse edifício são: as clarabóias no térreo para iluminar o subsolo; os balcões de pé-direito duplo na fachada, que sombreiam o painel de vidro e oferecem um espaço de convívio e/ou trabalho agradável; a fachada dupla ventilada nas laterais do edifício; a entrada da luz natural pela cobertura do vão central do edifício.



Figura 211, 212, 213 - Edifício da Engenharia da UNAM. Fotos de fev. 2006

As fotos abaixo configuram dois exemplos opostos tanto de tipologia de fachada quanto de desempenho térmico e luminoso oferecido. O primeiro edifício possui um desenho diferenciado de fachada, com um volume que produz sombra na esquadria. Já o segundo edifício possui uma fachada planificada e sem proteções externas contra a radiação solar direta. Por isso, faz-se uso de cortinas internas para bloquear a radiação e a luz natural que incidem diretamente sobre os usuários e as carteiras. No entanto, as cortinas bloqueiam a única possibilidade de renovação do ar interno através das venezianas superiores. O desempenho energético dessa sala de aula e o conforto ambiental oferecido estão seriamente prejudicados.



Figura 214, 215 - Fachadas de diferentes edifícios do *Campus* Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006

Salas de aula e corredores

A grande maioria dos edifícios visitados apresenta uma única fileira de salas de aula, com os corredores externos de um lado e as esquadrias principais do lado oposto. Com isso, há a possibilidade da entrada da luz natural por ambos os lados da sala de aula, assim como a possibilidade da ventilação cruzada.

Os corredores de acesso às salas são na verdade grandes balcões que permitem ali a permanência e o convívio dos alunos, ao mesmo tempo em que desempenham a importante função de sombrear a fachada.



Figura 216, 217, 218 - Corredores externos de diferentes edifícios do *Campus* Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006



Figura 219, 220 - Balcão/ corredor externo da Faculdade de Arquitetura (esquerda) e da Faculdade de Engenharia (direita) da UNAM. Fotos de fev. 2006

Por outro lado, também foram encontrados alguns exemplos de corredores de acesso às salas de aula pouco agradáveis, escuros, estreitos, ou abafados.



Figura 221, 222, 223 - Corredores internos de diferentes edifícios do *Campus* Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006

O tratamento da fachada externa da sala de aula (aquela que não tem contato com o corredor) é responsável por oferecer uma boa quantidade de luz, uma boa distribuição da mesma, e por impedir o ofuscamento provocado dentro da sala. Nos casos abaixo, vê-se que a primeira sala de aula possui as aberturas em diagonal e voltadas para a orientação com oferta de luz mais difusa (norte). A reflexão dessa luz para dentro da sala seria otimizada caso as paredes possuíssem uma cor mais clara. A segunda sala de aula não possui dispositivos externos que controlam a entrada da luz natural no ambiente, usando assim persianas internas. Em vista disso, quando as persianas estão abertas, vê-se o excesso de brilho no piso. Por outro lado, ao contrário da sala anterior, as superfícies claras aqui encontradas permitem uma melhor reflexão e distribuição da luz dentro do ambiente.



Figura 224, 225 - Salas de aula de diferentes Engenharias da UNAM. Fotos de fev. 2006

Nas fotos abaixo é possível comparar o reflexo causado nos quadros: o quadro verde, por ser escuro e fosco, não apresenta reflexos que prejudicam a visualização do mesmo; já o quadro branco, por ser claro e de superfície polida e brilhante, apresenta reflexos indesejáveis. O problema poderia ser amenizado com dispositivos externos que controlam a entrada da luz.



Figura 226, 227 - Ateliê da Faculdade de Arquitetura (esquerda) e sala de aula da Faculdade de Engenharia (direita) da UNAM. Fotos de fev. 2006

Abaixo, 2 exemplos de salas de aula bem diferentes volumétrica e espacialmente. A primeira possui pé-direito e peitoril altos, estrutura metálica aparente, luminárias suspensas, e proporções cúbicas (largura, comprimento e altura aproximados). A segunda sala é consideravelmente menor, possui um pé-direito baixo e com luminárias embutidas, peitoril convencional (1m de altura), e profundidade reduzida (apenas 3 filas de carteiras). Essas proporções tão diferentes encontradas nos exemplos abaixo influenciam principalmente no desempenho acústico do ambiente.



Figura 228, 229 - Salas de aula da Faculdade de Ciências (esquerda) e da Faculdade de Biologia (direita) da UNAM. Fotos de fev. 2006

A Luz

Vários exemplos foram vistos em relação ao tratamento da luz natural pela volumetria do edifício: desde paredes inclinadas em busca da orientação que fornece luz difusa, até *sheds* na cobertura das salas de aula.



Figura 230, 231, 232 - Arquitetura e volumetria de diferentes edifícios do Campus Universitário da UNAM. Fotos de fev. 2006

A aplicação da primeira estratégia pode ser notada nas fotos abaixo, que comparam dois momentos em uma mesma sala de aula: com e sem luz artificial, a iluminância interna encontrada não se alterava, podendo-se então dispensar o seu uso das luminárias. Vale ressaltar novamente que o desempenho luminoso deste ambiente seria otimizado caso as paredes fossem claras.



Figura 233, 234 - Mesma sala de aula (com e sem luz artificial) da Faculdade de Engenharia da UNAM. Fotos de fev. 2006

Espaços abertos e pátios internos

O *campus* da UNAM é rico em áreas abertas, e inclusive com vegetação nativa. Vê-se também a preocupação com o projeto paisagístico e o projeto de mobiliários, que promovem o uso intenso desses espaços. Pátios mais áridos são também encontrados (como no caso da Faculdade de Arquitetura). Entretanto, mesmo nesses espaços áridos, sempre existe a oferta de sombras para que a permanência ali seja agradável e prolongada.

Uma outra observação a ser feita é sobre a ausência de água nesses espaços abertos ou pátios internos. A presença da mesma seria de grande valia para trazer mais conforto aos usuários desses espaços, já que a Cidade do México é bastante conhecida por possuir uma baixa umidade do ar (em fevereiro a umidade relativa do ar na cidade se encontrava em torno dos 25%).



Figura 235, 236 - Espaços de convívio entre as Faculdades de Matemática e Física (esquerda) e entre as Faculdades de Biologia (direita) no *campus* da UNAM. Fotos de fev. 2006



Figura 237, 238 - Espaços de convívio na Faculdade de Engenharia (esquerda) e na Faculdades de Arquitetura (direita) no *campus* da UNAM. Fotos de fev. 2006

A Faculdade de Ciências apresenta vários espaços semi-abertos, com coberturas translúcidas e/ou vazadas e pátios em diferentes níveis. O resultado formal é interessante e o conforto ambiental (luminoso e térmico) oferecido apresentava-se razoável no momento da visita.



Figura 239, 240, 241 - Pátio interno da Faculdade de Ciências da UNAM. Fotos de fev. 2006

O novo Edifício da Engenharia possui 2 pátios internos no centro, um com pé-direito duplo e outro com pé-direito triplo. O primeiro pátio recebe luz natural das fachadas, enquanto o segundo recebe o acréscimo da luz zenital. Percebe-se que as luminárias do vão central encontravam-se desligadas.

Durante a visita foi possível notar que o edifício apresentava um bom conforto luminoso, no entanto, o conforto térmico oferecido estava prejudicado principalmente nas estações de trabalho ao redor do segundo pátio, próximo ao zenital. Como não há a possibilidade de saída do ar quente através dessa cobertura de vidro, ocorre o acréscimo da temperatura do ar interno principalmente nas áreas próximas ao topo do edifício.



Figura 242, 243, 244 - Edifício da Engenharia no campus da UNAM. Fotos de fev. 2006

UNITEC - Universidad Tecnológica de México (Campus Coyoacán)¹³⁰

Essa universidade, mantida com capital privado, possui centros de ensino na capital, na área metropolitana, em Guadalajara e Monterrey. Oferece cursos de preparação para o ingresso na universidade (chamados de *Preparatoria*), graduação e pós-graduação em várias áreas, realizados nos períodos matutino, vespertino e noturno.

O *campus* visitado localiza-se no Bairro Coyoacán ao sul da Cidade do México e ocupa edifícios pré-existent, porém reformados. Alguns edifícios ainda estão sofrendo reformas na sua infraestrutura geral para abrigar a demanda crescente de alunos. Essa prática vem se tornando bastante comum na cidade, até porque não existem mais terrenos grandes e bem localizados disponíveis para construção. Esse *campus* está localizado a 50m de uma estação de metrô, facilitando o acesso a muitos estudantes. É válido lembrar que a Cidade do México possui um dos mais caóticos e movimentados trânsitos do mundo, sendo, portanto, muito importante a localização de uma universidade ou escola próxima a alternativas de transporte público.

O acondicionamento dos edifícios foi muito importante para a imagem da universidade, pois agora o espaço físico do *campus* é usado (e corretamente) para lançar-se comercialmente no mercado. Demonstram a tecnologia empregada na construção, as facilidades proporcionadas aos alunos (como *internet wireless*¹³¹ em todos os espaços) e o conforto e bem-estar geral oferecido a todos que lá estudam, trabalham ou apenas visitam.

¹³⁰ Mais informações na página: <<http://www.unitec.mx/>>

¹³¹ Acesso à internet sem a necessidade da utilização de fios.

As principais alterações realizadas na infra-estrutura existente foram: o reforço na estrutura de alguns edifícios, a conversão do antigo Centro de Operações do Banco Santander Serfin em edifício de Licenciaturas; o fechamento e tratamento dos pátios internos desse edifício; a colocação de *brises* de proteção solar junto à fachada de pré-moldados de concreto do edifício de Licenciaturas; a conversão de uma fábrica-armazém em estacionamento coberto; o cobrimento da grande praça na entrada principal do *campus*; o tratamento das fachadas internas dessa praça com novos revestimentos (edifício administrativo e biblioteca).

Esse *campus* apresenta-se limpo e organizado, crédito dado ao serviço de manutenção do mesmo. O uso dos espaços abertos e semi-abertos é intenso, onde os estudantes de todos os cursos (principalmente graduação e preparatória) convivem harmonicamente, conferindo vida a esses espaços.

Fachadas

Como falado anteriormente, a estrutura dos edifícios existentes foi mantida, porém em alguns casos, reforçada.

O edifício da foto 88 possui a estrutura descolada da fachada, sombreando assim as suas esquadrias. Nesse caso não foi necessária nenhuma intervenção maior, apenas a substituição das esquadrias originais por novas esquadrias de alumínio, já que o edifício original data da década de 60.

O edifício das fotos 89, 90 e 91 pertencia ao Banco Santander Serfin, construção datada dos anos 60 também. A fachada de pré-moldado de concreto possui um volume, esse produzido pelo recuo da esquadria, e dependendo da sua orientação, as esquadrias são sombreadas pelo mesmo. Segundo o eng. José Téllez, foi realizado um estudo da geometria solar para verificar a necessidade de *brises* em algumas fachadas. O resultado formal desse edifício pode ser visto abaixo.



Figura 245, 246, 247, 248 - Fachadas de diferentes edifícios no *campus* Coyoacán da UNITEC. Fotos de fev. 2006

Espaços abertos e pátios internos

Essa grande praça semi-aberta funciona como *hall* de entrada e também como espaço de estar do *campus*, devido à sua localização, à sua generosidade espacial e ao conforto oferecido aos usuários. O espaço original não era coberto e, segundo o eng. José Téllez, não convidava as pessoas a ali permanecerem.

A cobertura é leve, côncava, translúcida (vidro laminado e serigrafado de 6mm) e solta dos edifícios que contornam a praça. Com isso, tanto a praça quanto os ambientes voltados para ela ganham uma luz natural difusa e um ar fresco e sempre renovado.



Figura 249, 250, 251 - Praça semi-aberta na entrada principal da UNITEC e detalhe da cobertura (direita). Fotos de fev. 2006

A praça aberta em frente ao edifício da *Preparatória* e ao auditório localiza-se logo atrás da cobertura côncava, e funciona também como espaço de permanência nos intervalos das aulas.



Figura 252, 253 - Praça aberta em frente ao edifício da *Preparatória* e do auditório. Foto de fev. 2006

O edifício de Licenciaturas possui 3 andares e dimensões em torno de 70m por 100m. Dentro desse grande maciço existem 5 pátios internos, com luz, água, vegetação e mobiliários. Os pátios são agradáveis e possuem uma luz natural confortável. No entanto, como esses pátios foram fechados com vidro transparente na cobertura, há um acréscimo da temperatura interna proveniente da entrada da radiação solar direta e do não escape desse ar quente. Se a cobertura possuísse um desenho diferente que permitisse a saída do ar quente por efeito chaminé, o conforto térmico desse espaço seria maior.



Figura 254, 255, 256 - Pátio interno do edifício de Licenciaturas no *campus* Coyoacán da UNITEC. Fotos de fev. 2006

A visita ocorreu no mês de fevereiro (final do inverno) e o espaço já apresentava temperaturas internas um pouco elevadas (em torno dos 28°C), principalmente nos andares superiores. Problema maior foi encontrado nas salas de aula que possuem contato direto com esse pátio através de uma parede de vidro. Como essas salas não possuem contato com o exterior, a renovação do ar interno e o condicionamento do ambiente deveriam ser supridos pela ventilação mecânica instalada no edifício. No entanto, vê-se ventiladores dentro dessas salas de aula para proporcionar mais conforto aos usuários. Vale lembrar que nesse edifício não existe a instalação de ar condicionado, somente um sistema de ventilação mecânica pelo forro.



Figura 257, 258, 259 - Pátio interno do edifício de Licenciaturas no *campus* Coyoacán da UNITEC. Fotos de fev. 2006

Eng. José Jesús Téllez: desempenho energético e satisfação dos usuários

O contato com o engenheiro responsável pela operação e manutenção do *campus* foi feito na própria universidade. O percurso pelos espaços do *campus* foi realizado juntamente com esse engenheiro, que então discorria sobre o desempenho energético dos edifícios e a satisfação dos usuários. Além de alguns comentários por ele feitos e já colocados nas páginas anteriores, pode-se acrescentar aqui dados sobre o uso dos sistemas ativos de condicionamento.

Segundo ele, no edifício de Licenciaturas, onde existe instalado um sistema mecânico de ventilação, as janelas encontram-se abertas durante 9 meses do ano para permitir a ventilação natural, o uso do sistema mecânico é necessário apenas nos dias mais rigorosos do verão. O engenheiro garante ainda que os usuários não reclamam das condições térmicas internas.

Sobre a biblioteca, o engenheiro aponta ser esse um dos espaços mais procurados pelos estudantes, devido ao conforto luminoso interno oferecido. A entrada de luz pela cobertura tem sua reflexão e distribuição otimizadas devido ao formato côncavo e à cor branca da mesma. Realmente, pôde-se perceber no dia da visita, que a biblioteca encontrava-se repleta de usuários e com todas as luminárias desligadas.

No edifício administrativo, enquanto a aluna esperava na recepção (sala térrea em frente à praça principal), foi possível perceber que todas as luminárias daquele andar também se encontravam desligadas. Portanto, confirmou-se um dos benefícios trazidos pela cobertura translúcida, pois a mesma leva a luz natural até o andar térreo dos edifícios que circundam a praça.

Segundo o engenheiro, após o recondicionamento do *campus*, e antes do mesmo voltar à atividade novamente, houve uma preocupação em educar os funcionários quanto ao uso dos espaços, principalmente dos sistemas mecânicos do edifício. Portanto, explica-se aqui o porquê das luminárias estarem desligadas nesses ambientes: quando a iluminância interna resultante apresenta-se satisfatória, os funcionários entendem que não é necessário o acionamento da iluminação artificial.

Segundo o engenheiro, a economia de energia conseguida através das situações apontadas acima é palpável. A satisfação dos usuários nos espaços do *campus*, idem. Coloca por fim que os empreendedores estão muito satisfeitos com o projeto arquitetônico realizado pelo escritório *Eichelmann Architectos* e com a execução da obra realizada pela *Constructora Sierra San José*. Na verdade, ele atribui créditos a todos os envolvidos no projeto e também àqueles envolvidos na gestão de operação e manutenção dos edifícios.

Escolas na Cidade do México

Como colocado anteriormente, não foi possível ingressar em nenhuma das escolas de ensino fundamental visitadas no México. As fotos abaixo demonstram apenas um pequeno universo de escolas encontradas no bairro onde a aluna vivia, não podendo então ser utilizadas para caracterizar a produção arquitetônica escolar no México. Pelo material apresentado anteriormente sobre as universidades, e pela constatação e vivência da aluna durante 5 meses com uma boa arquitetura mexicana, é possível afirmar que exemplos melhores de escolas poderiam ter sido documentados.

Entretanto, para uma abordagem superficial deste material coletado, pode-se perceber que também existem escolas que não se preocupam com a proteção das fachadas nem com o conforto térmico, luminoso e acústico das salas de aula. Alguns equívocos foram encontrados: as cortinas e persianas internas bloqueando a entrada da luz natural, porém permitindo o acesso da radiação solar no ambiente; as esquadrias das salas com um desenho que permitia apenas uma pequena abertura para a entrada do ar; as salas de aula voltadas para a rua (sobre a calçada de pedestres), ignorando a presença do ruído do tráfego, bastante intenso nessa área.



Figura 260, 261, 262 - Escolas do ensino fundamental na Cidade do México. Fotos de dez. 2005

Considerações finais sobre o relatório

O relatório buscou retratar a primeira impressão que a autora obteve ao visitar uma pequena amostragem da arquitetura escolar na Flórida e na Cidade do México. Seguramente, para uma análise qualitativa mais aprofundada seriam necessários: um tempo de vivência maior nesses ambientes (em épocas diferentes, em situações diversas de uso), a avaliação da satisfação dos usuários em relação aos mesmos, e o estudo do projeto arquitetônico de cada edifício.

No entanto, para uma primeira impressão, foi possível notar que a principal característica que diferencia os ambientes escolares na Flórida e na Cidade do México é o uso de estratégias de condicionamento dos ambientes.

Na Flórida, de um modo geral, tanto as instituições públicas quanto as privadas fazem uso do condicionamento artificial em ambientes fechados, não importando as condições climáticas externas. Enquanto no México, faz-se uso da ventilação mecânica e da natural na grande maioria dos edifícios. Nos edifícios da UNITEC (instituição privada), todas as salas possuem um sistema mecânico de ventilação forçada instalado em vez do ar condicionado. Mesmo assim, encontrava-se desligado e com as janelas abertas para ventilação natural. Já o edifício da Faculdade de Engenharia da UNAM (instituição pública) possui instalado um sistema de ar condicionado central, porém o mesmo encontrava-se desligado no mês de fevereiro (fim do inverno).

Quanto ao estado físico das construções, os edifícios da UNAM, de um modo geral, apresentavam um estado de conservação regular, dependendo da faculdade que o edifício abrigava (possivelmente as faculdades possuem uma verba para manutenção diferentes entre si). Já a UNITEC e os edifícios visitados na Flórida (sejam eles de instituição pública ou privada) apresentavam um bom estado de conservação, devido ao apoio financeiro recebido.

Considerações sobre o conforto ambiental e o desempenho energético dos edifícios devem ser feitas. Após ler e estudar sobre preocupação com a qualidade ambiental de espaços de ensino-aprendizagem nos Estados Unidos pensava-se que mais exemplares de edifícios com essas características pudessem ser encontrados, principalmente exemplares de escolas do ensino fundamental. Algumas boas estratégias de projeto, porém poucas, foram encontradas nas universidades visitadas na Flórida. No entanto, as escolas vistas cotidianamente enquanto a aluna lá vivia não espelham essa preocupação ambiental colocada pelas publicações.

Quando conversado sobre a produção arquitetônica de escolas de ensino fundamental na Flórida com um escritório influente nessa área, pôde-se constatar que realmente falta colocar em prática o que está sendo prometido no papel. A preocupação financeira somente a curto prazo, como colocado pela arq. Alex Peres, não faz sentido em um país que é considerado a maior potência econômica mundial. Enquanto isso, no México, país com economia ainda em desenvolvimento, pôde-se encontrar o caso da UNITEC, onde os empreendedores dessa instituição idealizaram uma obra com resultados financeiros a médio e longo prazo.

Pode-se dizer que as demais características (como estilo arquitetônico, detalhes construtivos e tecnologia utilizada) não são exclusividades pertencentes a um país ou outro. Pelo contrário, foi possível notar a tendência a uma arquitetura vista como internacional, ou seja, executável em qualquer lugar do mundo, mas o que nem sempre é desejável e/ou energeticamente eficiente.