164 - O Processo Metodológico para Elaboração de Projetos com Qualidade Ambiental: Exemplificação por Meio de um Anteprojeto de Escola em São Paulo, Brasil (Parte 2).

Mueller, Cecília Mattos (1); Frota, Anésia Barros (2)

(1) Arq. MSc. em Tecnologia da Arquitetura (FAU/USP), especialista em Conforto Ambiental e Conservação de Energia (FUPAM/FAU/USP), e-mail: cecimm@gmail.com; (2) Profa. Dra. da FAU/USP, e-mail: arfrota@uol.com.br. Endereço: R. do Lago, 876, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Dep. Tecnologia da Arquitetura, Lab. de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Cidade Universitária, São Paulo, SP. Cep: 05508-080. Tel.: (11) 3091-4571.

Resumo

A parte 2 deste artigo exemplifica o processo metodológico para elaboração de projetos com qualidade ambiental por meio de estudos preliminares para um anteprojeto de uma escola pública de 1° grau. O resultado mostrou a viabilidade da aplicação dessa metodologia, dentro da rotina habitual dos escritórios de arquitetura, para alcançar a relação ótima entre forma, estética, racionalidade construtiva, custo, conforto ambiental e eficiência energética.

Palavras-chave: metodologia, projeto, qualidade ambiental, desempenho, escola.

Abstract

The second part of this paper exemplifies a methodological process for the elaboration of architectural design with environmental quality, apploed to the preliminary and basic design for a public elementary school. The final result shows the feasibility of applying this methodology, during the architects' routine and professional activity, to achieve the optimal relayionship between shape, aesthetics, constructive rationality, cost, environmental comfort and energy efficiency.

***Keywords**: Methodology, Design; Environmental Quality; Performance; Public School.*

1Exemplificação do Processo Metodológico

A escolha pelo anteprojeto de uma escola, e não por outra tipologia de edifício, para exemplificar o processo metodológico anteriormente apresentado deve-se ao fato da importante correlação entre a qualidade física do espaço de ensino-aprendizagem e o desempenho dos alunos e professores.

Trabalhou-se com um cliente real (FDE - Fundação para o Desenvolvimento Escolar – do Estado de São Paulo), com terreno, programa arquitetônico e uma população real a ser atendida. Como as etapas já foram apresentadas na parte 1 deste artigo, aqui elas aparecem resumidas e/ou agrupadas. Ressalta-se que todas foram realizadas, no entanto, etapas como análise do programa, entrevista com moradores, levantamento fotográfico, etc. não constam neste artigo[1].

[1] O material completo pode ser consultado no mestrado da autora, intitulado “Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto”, e defendido na Fac. de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo em 2007.

1.1Diagnóstico físico-climático do terreno e entorno

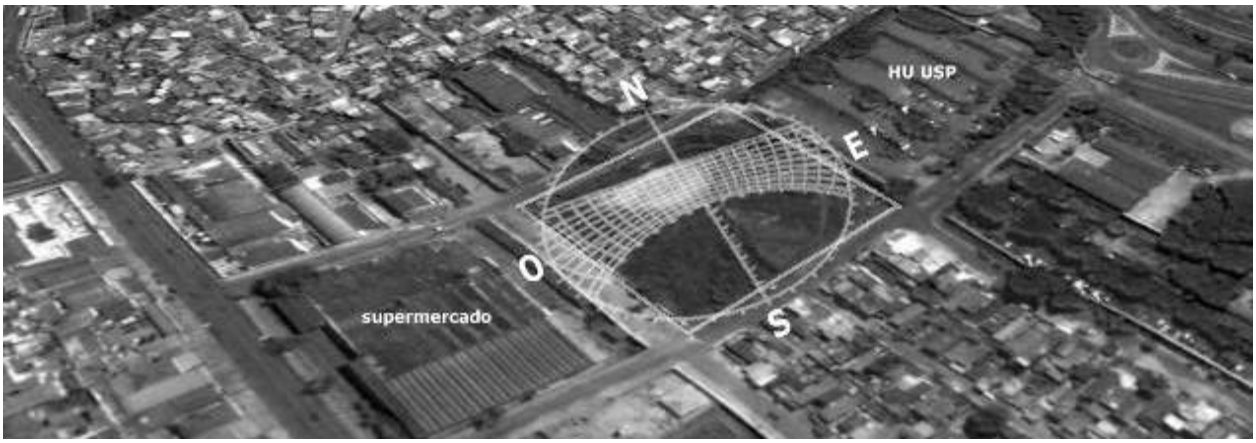


Figura 1 - Foto aérea da região do HU/ USP. Fonte: MUELLER (2007)

Com a visita ao terreno identificaram-se *in loco* os itens: topografia, insolação, ruído, ventos, tipologia do entorno, vias de acesso, e como principais resultados do diagnóstico físico-climático do terreno e entorno, tem-se:

a) O entorno do terreno: um supermercado de grandes dimensões, o hospital da USP, e as edificações da Favela São Remo, que formam uma grande massa baixa e uniforme.

b) O terreno possui um acentuado desnível (de aprox. 15m) entre as cotas inferior e superior.

c) O terreno tem o formato quadrangular e as faces estão voltadas ortogonalmente aos eixos cardeais principais. O entorno edificado não produz sombras no terreno.

d) As cores das superfícies externas e pavimentações ao redor do terreno são médias a escuras, que não contribuem para a reflexão da luz e sim para a absorção da energia solar e reirradiação desta.

e) Ruídos: o terreno não sofre a interferência do ruído vindo da Av. Corifeu Az. Marques, devido à distância entre o terreno e a av. (aprox. 150m), e à barreira acústica formada pelo supermercado.

f) Com a análise da distribuição da radiação solar incidente nas diversas orientações viu-se que as fachadas com orientação leste, oeste, nordeste e noroeste possuem os maiores valores em W/m².

g) Com a análise das direções predominantes do vento concluiu-se que a implantação do edifício no sentido norte-sul é mais eficaz para utilização da ventilação cruzada, posição esta também favorável do ponto-de-vista da insolação do edifício.

h) Para análise do clima foi utilizada a carta bioclimática do *Analysis Bio* - com a plotagem dos dados climáticos horários de De Benedetto (2006), resultando nas seguintes estratégias: sombreamento das superfícies, ventilação, massa térmica com aquecimento solar passivo.

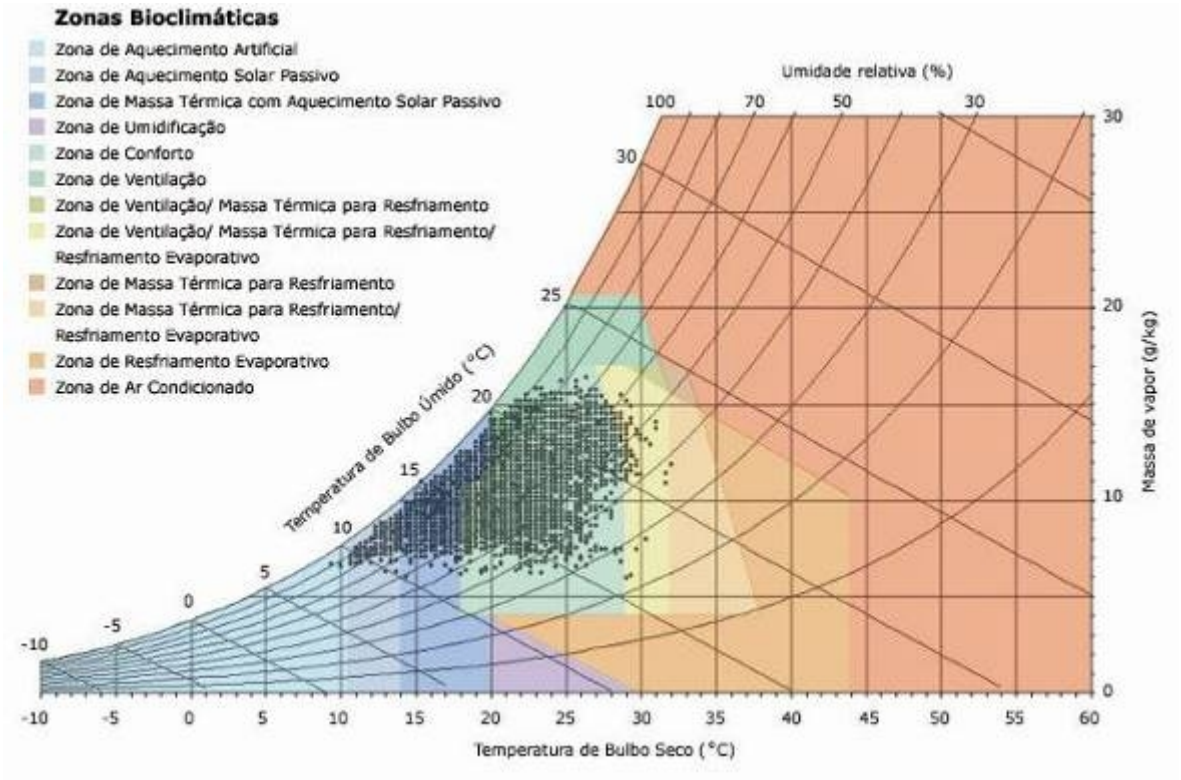


Figura 2 - Dados climáticos horários de São Paulo plotados em Carta Psicrométrica com zonas bioclimáticas. Fonte: MUELLER (2007)

Tabela 1 - Quadro resumo do diagnóstico climático e estratégias de projeto resultantes para São Paulo

	Ano todo	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Dias do ano	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
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: MUELLER (2007)

1.2Estratégias de Projeto e Partido Arquitetônico

1.2.1Partido e implantação

Com base nas características do terreno e entorno, no diagnóstico climático, e nos ruídos da região, surgiu um partido arquitetônico que aliou os dados acima aos aspectos estéticos e formais de projeto, aos aspectos tecnológicos e construtivos da obra, ao programa requerido pelo cliente.

Os desníveis do terreno, os taludes e os platôs existentes foram aproveitados como itens de projeto. Com o uso de rampas por todo o terreno e acesso dos pedestres pela cota média deste para minimizar os esforços de subida e descida, tornou-se a escola mais acessíveis a todos os usuários.

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) e áreas ruidosas (recreio, esportes e refeitório). Além disso, os edifícios da escola foram alocados de modo a aproveitar a insolação no inverno, sem esquecer de sombrear as mesmas em épocas quentes. E as atividades da escola foram distribuídas pelo terreno de modo a privilegiar aquelas com maior demanda por silêncio. Assim, os blocos das salas de aula foram implantados no sentido norte-sul, buscando a otimização da insolação e da ventilação cruzada.

A quadra coberta foi assentada no platô superior (já nivelado), 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. Os espaços abertos foram pensados de modo a oferecer microclimas diversos, mantendo o terreno o mais permeável possível.

O edifício administrativo, implantado no sentido sudoeste-nordeste, foi afastado dos demais 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.



Figura 3 - Implantação geral da escola FDE no terreno junto ao HU/USP no Butantã, São Paulo. Fonte: MUELLER (2007)

1.2.2Insolação

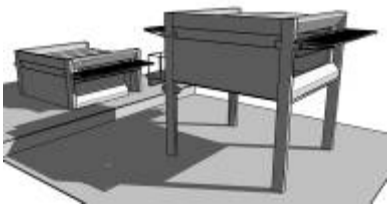


Figura 4 - Sol das 14h no inverno (*Sketch Up*). Fonte: MUELLER (2007)

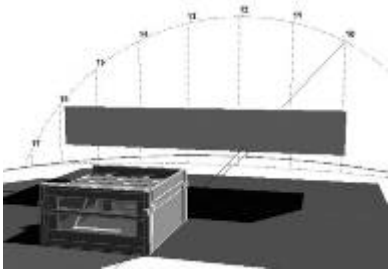


Figura 5 - Mancha de sol na sala às 10h no inverno (*Ecotect*). Fonte: MUELLER (2007)

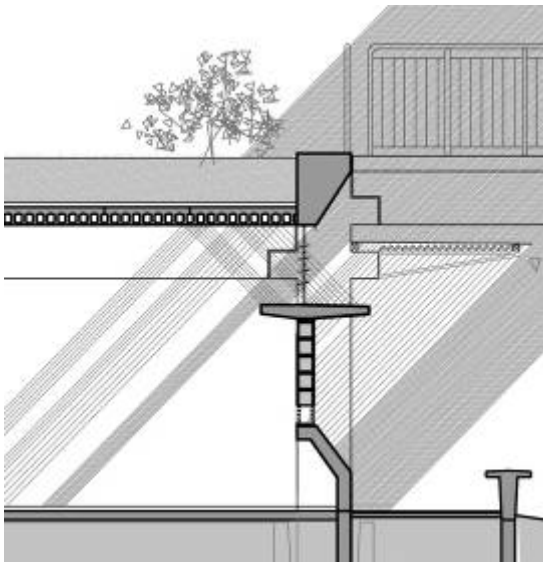


Figura 6 - Ângulo de incidência do sol às 8h no solstício de inverno (hv=46°) com a prateleira de luz original

Foi proposto um sombreamento generoso das superfícies para que não houvesse o ganho de calor por radiação nas épocas quentes e fez-se uso de cores claras para a maioria das superfícies, exceto aquelas que foram usadas como fontes de aquecimento solar passivo. Foram realizados vários estudos de geometria da insolação (cortes do conjunto com alguns ângulos de incidência solar, feitos no *AutoCad*, e estudos da trajetória solar horária nos programas *Ecotect* e *Sketch Up*).

1.2.3Ventilação

Para permitir a fluidez do vento pelo terreno, foram propostos blocos de salas de aula em níveis diferentes (o Bloco Norte foi elevado em relação ao Bloco Sul para que não tivesse sua ventilação prejudicada). A elevação do bloco permitiu também a criação do recreio coberto sob os pilotis do bloco elevado e de um acesso em nível ao teto jardim.

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 há cenários de calmaria, o efeito chaminé é garantido.

<u>Ventilação em épocas quentes</u>

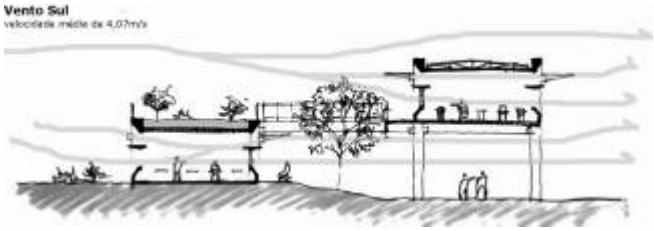


Figura 7 - Ventilação de conforto em épocas quentes com vento de direção sul. Fonte: MUELLER (2007)

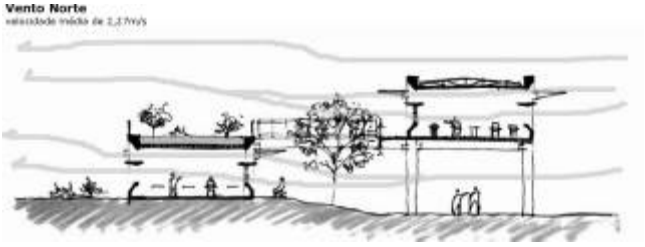


Figura 8 - Ventilação de conforto em épocas quentes com vento de direção norte. Fonte: MUELLER (2007)

<u>Ventilação em épocas frias</u>

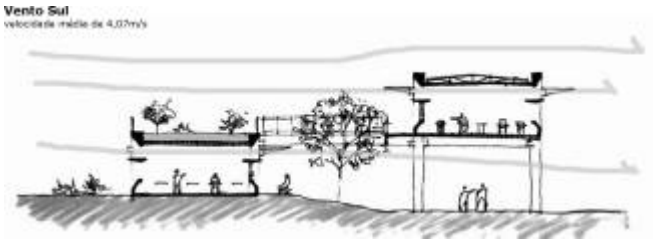


Figura 9 - Ventilação de conforto em épocas frias com vento de direção sul. Fonte: MUELLER (2007)

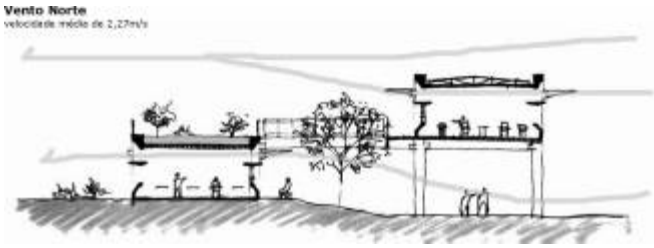


Figura 10 - Ventilação de conforto em épocas frias com vento de direção norte. Fonte: MUELLER (2007)

1.2.4Massa/ inércia térmica

Nas épocas frias, o diagnóstico indicou a estratégia mista de massa térmica com aquecimento solar passivo. Já nas épocas quentes, o diagnóstico apontou para uma estratégia mista de massa térmica para resfriamento e ventilação. Em vista disso, decisões de projeto foram tomadas para que respondessem às demandas distintas por massa térmica para resfriamento e aquecimento. A inércia da edificação foi incrementada com um teto jardim sobre as salas de aula do Bloco Sul. A estrutura e os materiais das envoltórias também foram pensados para trazer mais massa térmica aos edifícios.



Figura 11 - Integração com a terra

1.2.5Sistema de aberturas

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.

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. Para proporcionar contato visual com o exterior e permitir o descanso visual dos alunos as aberturas foram direcionadas a áreas de atividades diversas na escola.

1.2.6Acústica

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. 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.

Propôs-se ainda a localização das portas das salas distante umas das outras, para evitar a concentração dos ruídos na entrada destas. A fim de amenizar a passagem do ruído de uma sala a outra utilizou-se 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. E para evitar as reflexões indesejáveis e a reverberação do ruído, foi proposto o revestimento da parede posterior da sala de aula com material absorvente (quadro de cortiça).

1.2.7Vegetação e espaços abertos

Foram propostos espaços abertos com uma vegetação variada entre arbustos, árvores de caule liso e copa alta, e caducifólias.

1.2.8Ergonomia

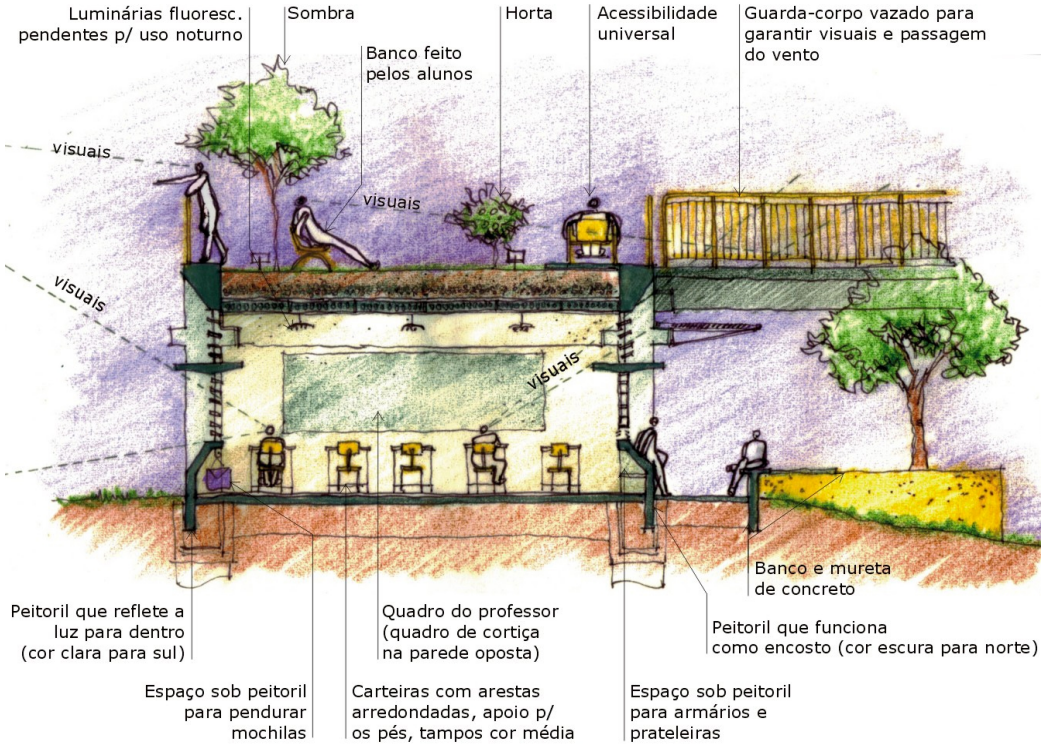


Figura 12 - Sala de aula do bloco sul. Fonte: MUELLER (2007)

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 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 foi inclinado externamente, e possui um formato que incrementa a entrada de luz no ambiente, 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.

1.2.9Materiais e sistema construtivo

Para viabilizar a aplicação das soluções arquitetônicas em cenário real, buscou-se utilizar primeiramente o sistema construtivo adotado atualmente pela FDE, e os demais materiais foram propostos visando melhor desempenho térmico e luminoso do ambiente.

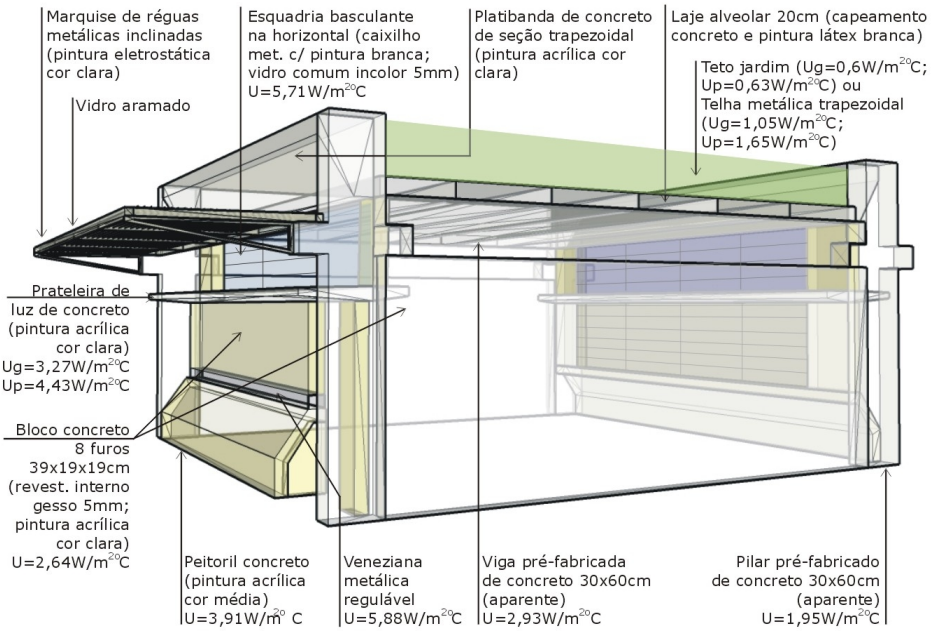


Figura 13 - Materiais de construção aplicados ao módulo de sala de aula. Fonte: MUELLER (2007)

2Resultados Obtidos das Avaliações de Desempenho

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[2] e simulações do desempenho luminoso em programas computacionais.

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. Mesmo analisando-se 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 Temp. Efetivas internas de 25° e 26,7°C (bloco com maior e menor inércia, respectivamente), quando a Temp. 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 a satisfação de 90% dos usuários. No mês mais frio do ano de referência (julho de 2004), às 08h, as temperaturas internas foram 15°C e 17,5°C (bloco com maior e menor inércia, respectivamente), quando a Temp. 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.

[2] Programas mais complexos de simulação de desempenho forneceriam resultados para as 8760 horas do ano. No entanto, para essa fase de estudos preliminares foi suficiente a aplicação dos conceitos e estratégias bioclimáticas, seguida por cálculos de balanço térmico nas épocas críticas.

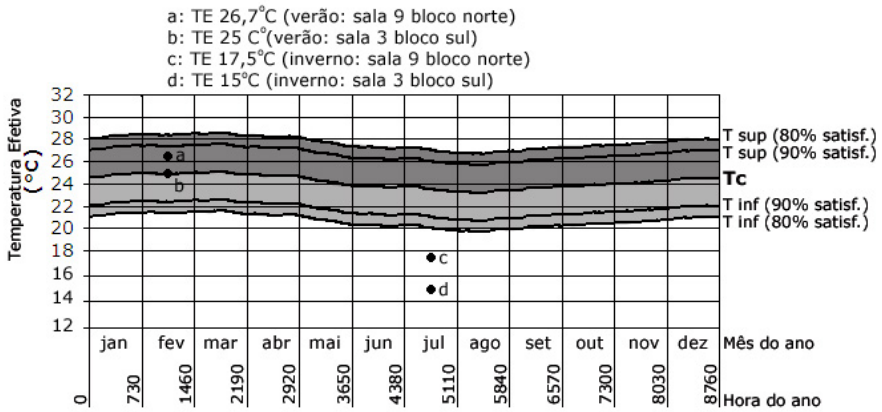


Gráfico 1 - Temperaturas Efetivas de Conforto para São Paulo, segundo modelo adaptativo de conforto. Fonte: MUELLER (2007)

Para a avaliação do desempenho luminoso foram utilizadas simulações computacionais. Foram consideradas todas as características e detalhes arquitetônicos do projeto, a geometria da sala, e os elementos de sombreamento. No *Ecotect* foram inseridas as características dos materiais transparentes e dos outros materiais presentes na sala de aula. A simulação da sala de aula do Bloco Sul foi realizada no *Radiance*, 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.

Após as simulações sob condições de céu claro, foi verificado o desempenho luminoso da sala de aula sob condições de céu encoberto e para isso foi utilizada a metodologia de Mansy de 2004, adaptada por Pereira (2006) para a verificação do Potencial de Economia de Energia (PEE) no ambiente devido ao uso da luz natural.

Pôde-se concluir a sala de aula alcançou a qualidade luminosa e o conforto visual desejados. Os resultados mostraram níveis 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%.

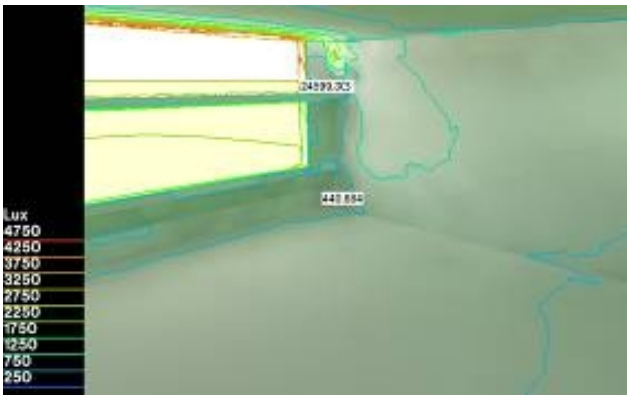


Figura 14 - Curvas isolux na sala de aula do Bloco Sul às 08h no solstício de verão (céu claro) - *Radiance* e *Ecotect.* Fonte: MUELLER (2007)

3Considerações Finais

Os resultados térmicos e luminosos encontrados nas salas de aula propostas foram aqui resumidamente apresentados e 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. Tais estudos foram desenvolvidos em 20 dias, utilizando-se apenas uma pessoa para tal, atendendo, portanto, a demanda do prazo restrito comumente encontrado no mercado de trabalho atual.

4Referências

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.

MUELLER, C.M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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.

5Agradecimentos

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro dado à pesquisa, na forma de bolsa de mestrado concedida à autora Cecília Mattos Mueller.