



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ILUMINAÇÃO EM ESCOLAS PÚBLICAS EM FLORIANÓPOLIS: ÊNFASE NO PROJETO DE SALAS DE AULA

Luciano Dutra (1); Suely Ferraz de Andrade (2)

Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Arquitetura Sustentável (NEPAS), Fone: (48) 3279 1507

(1) Arquiteto, docente, e-mail: luciano.dutra@unisul.br

(2) Arquiteta, docente, e-mail: suely.andrade@unisul.br

RESUMO

O artigo busca analisar e desenvolver soluções adequadas a edificações escolares públicas em Florianópolis considerando aspectos relativos à normatização e ao desempenho luminoso em salas de aulas. Este estudo iniciou-se com a análise de algumas tipologias arquitetônicas encontradas na rede de ensino de níveis secundário e superior, com a posterior escolha do Instituto Estadual de Educação e do Campus da Unisul no Norte da Ilha. Foram realizadas medições “in loco” nestas duas instituições e os resultados obtidos foram confrontados com as normas pertinentes ao tema. As aberturas das duas instituições analisadas têm brises de formas não convencionais. Elaborou-se a hipótese de que estes brises, embora influenciem positivamente no conforto térmico dos alunos, podem prejudicar a qualidade luminosa das salas de aula. Os resultados das medições levaram a vários questionamentos em relação à orientação das salas da aula, desenho dos brises, relações de sua forma e posicionamento de esquadrias e a consequente melhoria na distribuição e desempenho da iluminação natural dentro do ambiente. A utilização de programas computacionais e execução de modelos das salas em estudo permitiram simulações com obtenção de resultados indicativos da importância da elaboração do projeto arquitetônico e da compreensão dos princípios que regem a iluminação natural em ambientes deste tipo. O emprego de alguns artifícios de projeto, talvez pouco relevantes como detalhe, pode melhorar a distribuição e aumentar os níveis de iluminação natural.

Palavras chave: iluminação natural, análise de ambientes, conforto ambiental em salas de aula.

ABSTRACT

The paper discusses public schools in Florianópolis (a southern Brazilian city) concerning lighting behaviour and its standards for classrooms. The research started from the analysis of some architectural shapes present both in the secondary and in the undergraduation courses in the city. The State Institute of Education (*Instituto Estadual de Educação*) and the Southern University of Santa Catarina – North of the Island’s campus (*Universidade do Sul de Santa Catarina – campus do Norte da Ilha*) were chosen as detailed case studies. Surveys with spot evaluations were carried out in these institutions and the obtained results were faced to the Brazilian regulations. The two buildings evaluated have unconventional shaped solar protections in most openings. As a hypothesis, it was assumed that these solar protections were actually harming the daylighting quality of the classrooms, although perhaps increasing thermal comfort. The results highlighted fundamental questionings about the classrooms’ orientation, the solar protection design and its relation to the shape and positioning of windows and the resulting improvements in daylighting. 3-D models of the classrooms and computational simulation have pointed out the need of considering daylighting principles since the beginning of the building design. Some simple design strategies could have improved daylighting levels and distribution in the classrooms.

1 INTRODUÇÃO

O homem passa boa parte de sua vida no ambiente escolar. No Brasil, as escolas públicas têm sérios

problemas de conforto ambiental e isso se traduz em baixa produtividade, pouco aprendizado, falta de motivação, desperdício de energia e, conseqüentemente, de dinheiro público. Deve-se ressaltar que o crescimento no consumo energético no Brasil tem sido constante nos últimos anos, segundo o Balanço Energético Nacional de 2008 (MME 2010). Com isso, é necessário solucionar os problemas de conforto ambiental com o mínimo de gastos e tentar garantir às edificações escolares certa autonomia e maior eficiência no uso de energia, qualidades que têm relação direta com uma arquitetura que pretenda ser sustentável.

É dentro desta perspectiva e problemática exposta, que esta pesquisa foca em edificações escolares públicas na grande Florianópolis, com ênfase no projeto de salas de aula. O trabalho irá caracterizar o desempenho de salas de aula em escolas públicas da Grande Florianópolis frente aos quesitos “conforto visual” e “uso eficiente de energia”. As escolas eleitas foram visitadas e foram realizadas medições que conduziram a alguns questionamentos, que puderam ser verificados por meio da simulação de modelos através de ferramentas de análise especificadas mais adiante no item 4 (Metodologia). Os modelos tiveram aspectos sob análise parametrizados e os resultados foram convertidos em algumas diretrizes associadas a ferramentas integrativas de auxílio ao projeto arquitetônico de salas de aula.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste artigo é analisar salas de aula com proteções solares em edifícios educacionais em Florianópolis, confrontando os resultados com os requisitos do Decreto nº 30.436 (SANTA CATARINA 1986) e da norma NBR 5413 (ABNT, 1992), permitindo a apreciação crítica do uso da luz natural e de proteções solares neste tipo de ambiente e gerando algumas recomendações sobre seu uso e projeto.

3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

São vários os requisitos para um adequado projeto de sala de aula, sendo que o nível de iluminação é um dos mais importantes.

O Decreto nº 30.436 (SANTA CATARINA 1986) determina que a iluminação das salas de aula deva ser natural predominando a unilateral esquerda da sala, não dispensando a iluminação artificial em condições climáticas desfavoráveis, até pelo funcionamento das salas de aula no período noturno. No caso da necessidade de utilização de iluminação zenital, esta deverá ser em torno 23% da área de piso e ser utilizada evitando problemas de ofuscamento com a utilização de elementos defletores ou filtrantes se necessário. Já as áreas de janela devem atender um mínimo de 30% da área do ambiente.

A norma NBR 5413 (ABNT, 1992) preconiza os níveis de iluminação de ambientes internos e prevê três valores para iluminâncias a serem considerados em vários ambientes relativos aos estabelecimentos de ensino. Os valores são tabelados e no caso da maioria das salas de aula devem ser atendidos os valores centrais de iluminância, salientados na Tabela 1.

Tabela 1: Níveis de Iluminação (lux) em Escolas segundo a NBR 5413 (ABNT, 1992)

Ambientes	Baixo	Médio	Alto
salas de aulas	200	<u>300</u>	500
sala de desenho	300	<u>500</u>	750

Na tabela, os valores mais altos devem ser utilizados quando o ambiente apresentar grandes refletâncias ou contrastes muito baixos, quando o trabalho requer alta produtividade e precisão ou ainda quando a capacidade visual do observador está abaixo da média, como em ambientes destinados a idosos, por exemplo.

Os valores mais baixos devem ser utilizados quando a refletância ou contraste é relativamente alto, quando a velocidade e/ou precisão não são importantes e quando a tarefa é executada ocasionalmente.

Nota: Como exemplo de precisão, pode-se mencionar a leitura simples de um jornal versus a leitura de uma receita médica, sendo a primeira sem importância e a segunda crítica.

A NR17 (MTE, 2011) preconiza que todos os locais de trabalho devem apresentar iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade. Estes podem ser considerados requisitos estendidos às atividades intelectuais, como numa sala de aula.

Esta norma também recomenda que a iluminação geral deva ser uniformemente distribuída e difusa e que tanto a iluminação geral, quanto a suplementar devem ser projetadas e instaladas de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos.

A necessidade de sombreamento e ou de radiação solar nas salas de aula nas escolas analisadas, variarão conforme sua orientação solar, por meio da análise das imagens obtidas pelo programa Analysis Sol-Ar (2010), que apresenta dados de temperatura do ar sobrepostos ao diagrama solar. Assim, pode-se observar que os períodos mais críticos encontram-se nos meses do verão das 10h até as 17h (Figura 1).

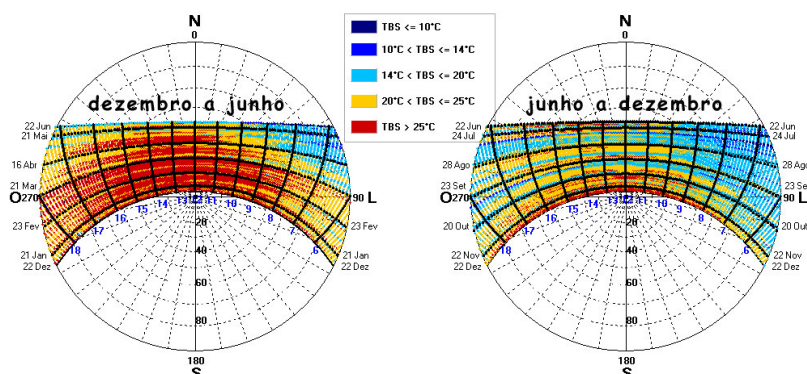


Figura 1: Diagrama solar com as temperaturas do ar sobrepostas dos períodos de 21/12 até 21/jun (à esquerda) e de 21/jun até 21 de dez (à direita). Fonte: adaptado de Analysis Sol-Ar (2010).

4 METODOLOGIA

As escolas apresentadas neste trabalho foram selecionadas dentre várias outras pela sua linguagem arquitetônica moderna e incorporação da proteção solar como elemento arquitetônico em destaque na forma e volumetria. A metodologia utilizada para análise compreendeu os seguintes itens:

- As escolas foram visitadas em dias distintos com céu encoberto e foram realizadas medições de níveis de iluminação internos e externos por meio de luxímetros modelo LD-200 da Instrutherm (Figura 2).
- O número de pontos das medições seguiu o preconizado na norma NBR 15.215-4 (ABNT, 2005).
- Os resultados das medições foram modelados no programa SURFER (1994).
- Os projetos arquitetônicos foram analisados e posteriormente modelados no programa computacional *Ecotect 5.50* (Square One Research 2007), com identificação do norte geográfico de cada edifício. Foram escolhidos os ambientes para análise, todos com atividade de ensino. Nestes, foi considerado necessário o nível de iluminação ideal de 500 lux, iluminação homogênea e bem distribuída, com ausência de contrastes excessivos no campo visual e ausência de ofuscamento.
- Foram feitos os mascaramentos das aberturas dos ambientes para sobreposição na carta solar de Florianópolis para os dois períodos (de 21/dez até 21/jun e de 21/jun até 21/dez). A partir de observações dos períodos menos favoráveis de iluminação natural, definiram-se os períodos a serem analisados com mais detalhes.
- A análise de penetração solar, realizada com o programa *Ecotect 5.50*, foi feita com objetivo de identificar a presença desfavorável do sol no ambiente de trabalho, em superfícies que pudessem gerar reflexões causadoras de ofuscamento.
- A iluminação natural foi simulada com auxílio do programa *Radiance* (Lighting Systems Research Group 2007), com objetivo de testar o controle à luz natural proporcionado pelos brises nos ambientes. Valores de iluminância em lux foram analisados para identificação de problemas como pouca luz natural. Para a análise de iluminação natural, os ambientes foram simulados com suas cores existentes, como branco nas paredes, azul nos brises do IEE, etc.. Pretendeu-se identificar de forma genérica os problemas possíveis de iluminação relacionados à orientação, posicionamento das janelas, forma e geometria do ambiente e dos brises.



Figura 2: Luxímetro LD-200 da Instrutherm

- Considerou-se, para efeito de simulação das iluminâncias internas, o valor de referência de 10.000 lux para a iluminância celeste de um dia com céu totalmente encoberto (período menos favorável de iluminação natural). Considerou-se, também, a análise das salas na situação de céu claro, às 9h da manhã e às 16h (período mais favorável de iluminação natural). Estabeleceu-se o contraste recomendado para fins de conforto visual no ambiente entre a tarefa e o entorno geral (mesa e superfícies próximas) 5/1, entre a tarefa e as superfícies (paredes) mais afastadas de 10/1 e o máximo contraste admissível no campo visual de 40/1 (Lechner 2001 p.343).
- A análise dos resultados auxiliou no diagnóstico do uso da iluminação natural em salas de aula, gerando algumas recomendações sobre seu uso e projeto.

5 ESTUDOS DE CASO DE ESCOLAS PÚBLICAS EM FLORIANÓPOLIS

Foram analisadas as características relevantes de projeto de salas de aula em duas escolas na região da Grande Florianópolis, conforme a Figura 3. Pretendeu-se levantar diretrizes relativas à iluminação natural para os novos projetos de ensino nesta localidade, com ênfase neste novo paradigma de conforto ambiental e eficiência energética, além de atender toda a normatização existente.



Instituto Estadual de Educação - IEE

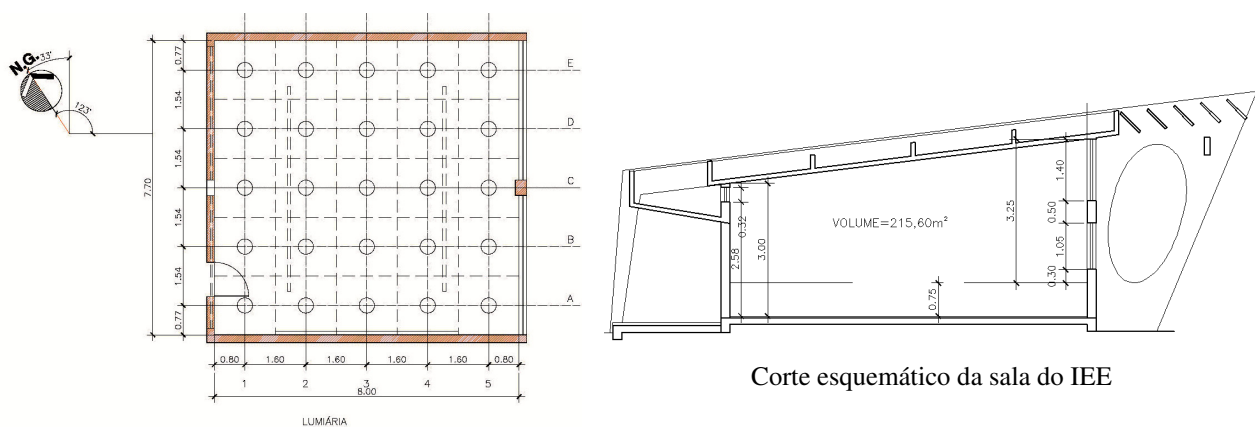


Unisul – Campus do Norte da Ilha

Figura 3: Localização e orientação das duas escolas. Fonte: Google Earth

5.1 INSTITUTO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO (IEE)

Esta edificação foi construída na década de 60 e tem área de 17.880m². O IEE foi denominado inicialmente de Colégio Estadual Dias Velhos e passou a ter sua denominação atual de Instituto Estadual de Educação (IEE) no ano de 1969. O IEE fica na Avenida Mauro Ramos e foi projetado pelo arquiteto José da Costa Moelmann. A edificação é monumental e apresenta característica da arquitetura modernista, como a presença de brises azuis (tom médio) como elementos marcantes na proposta plástica e volumetria arquitetônica (IEE 2009). Todas as salas de aula apresentam orientação a sudeste com proteção solar horizontal e vertical (figura 4).



Planta esquemática da sala de aula do IEE com a marcação dos pontos de medição

Figura 4: Projeto esquemático da sala analisada do IEE

As medições de nível de iluminação foram realizadas no dia 6 de julho de 2009 (próximo ao solstício de inverno) num dia de céu encoberto às 16h. A sala disponível para as medições estava desocupada, era térrea

e apresentava elementos de sombreamento adicionais oriundos de certa arborização junto a algumas janelas. O número de pontos de medição no IEE resultou num mínimo de 16 pontos, conforme a NBR 15.215-4 (ABNT, 2005). Como a sala tem planta quadrada, foram realizadas as medições em 25 pontos (Figura 4). A determinação do $H_m = 3,25m$ foi obtida com a distância do plano de trabalho até o topo da janela (Figura 4).

Os resultados, conforme mostra a figura 5, apresentam níveis de iluminação muito baixos, inclusive quando a iluminação artificial é utilizada (Figura 6).

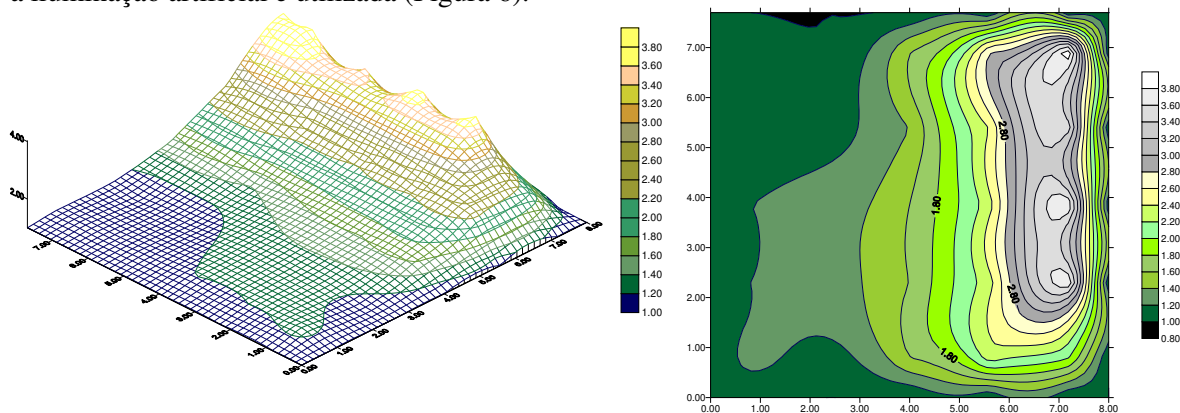


Figura 5: Imagens com os níveis de iluminação em 3-D e em planta, obtidas ao sobrepor o resultado das medições do IEE somente com a iluminação natural.

Os valor máximo de iluminância com luz somente natural foi igual a apenas 3,8 lux e o mínimo chegou a 1 lux, ambos inadmissíveis para uma sala de aula. A medição da sala com as luzes acesas apresentou o valor máximo de 210 lux e o mínimo de 79,8 lux. O nível mais baixo preconizado pela NBR 5413 é de 200 lux para sala de aula, porém o valor ideal considerando a função desempenhada na instituição seria de 300 lux. Uma vez que a instituição funciona no período noturno, pode-se afirmar que suas salas de aula encontram-se muito longe de atingir os níveis de iluminação estabelecidos por norma, remetendo assim a uma necessidade de complementação com iluminação artificial (figura 6).

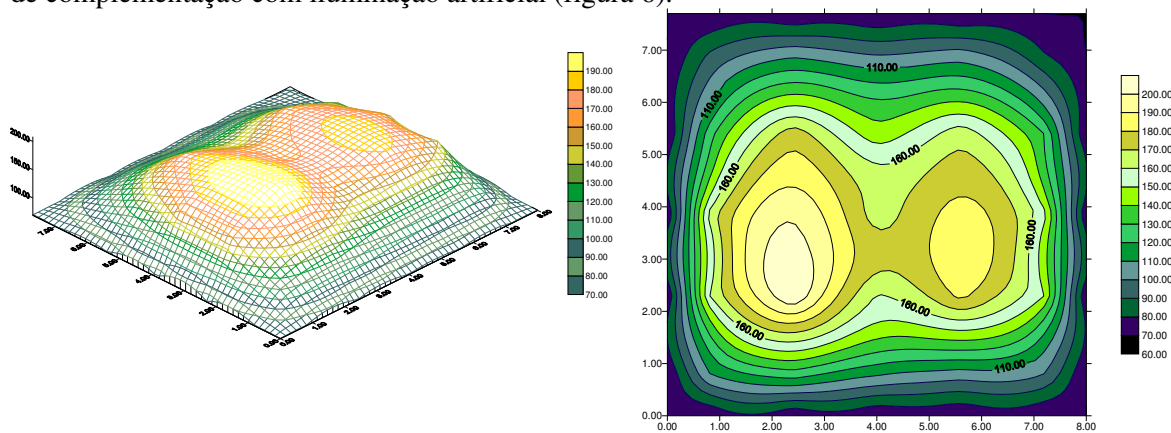


Figura 6: Imagens com os níveis de iluminação em 3-D e 2-D obtidas ao sobrepor o resultado das medições no IEE com a iluminação natural associada à iluminação artificial.

Nas plantas, observa-se que a iluminação natural aumenta seus níveis junto à janela, já com a iluminação artificial os maiores níveis encontram-se no centro da sala, na projeção das luminárias fluorescentes.

No dia das medições, os níveis da iluminação externa estavam muito baixos, sendo de apenas 950 lux na primeira medição realizada às 16h30min, decrescendo para 631 lux às 16h45min, horário do início das medições de luz natural associada com luz artificial. Estes valores indicaram a necessidade de avaliar a iluminação natural em outro dia, além da simulação por meio de programa computacional.

Desta forma, no dia 11/02/2010 às 12h foi realizada outra medição dos níveis de iluminação natural na sala de aula do IEE. Os níveis externos estavam bem mais altos, atingindo 50.000 lux em um dia de céu encoberto. Os resultados apresentaram níveis de iluminação internos bem mais altos em relação à medição de inverno. Entretanto, as iluminâncias continuam insuficientes e as exigências da norma são atendidas somente nos pontos de medição situados junto a janela, mantendo níveis bastante insatisfatórios junto à parede oposta.

5.2 UNISUL – CAMPUS DO NORTE DA ILHA

O prédio desta unidade foi projetado pelo grupo de arquitetos do escritório MOSARQ, onde trabalham os arquitetos Ricardo Monti e Ricardo Vasconcelos. Localiza-se no Bairro de Canasvieiras ao Norte da Ilha de Santa Catarina, em uma área verde próximo ao trevo de Canasvieiras e Ingleses.

As medições na UNISUL foram realizadas numa sala voltada para o norte (Figura 7), situada no pavimento superior, que apresenta proteção horizontal do beiral (cor branca). As medições foram realizadas no dia nove de novembro de 2009 (próximo ao solstício de verão) em um dia de céu encoberto em horário por volta das 13h.

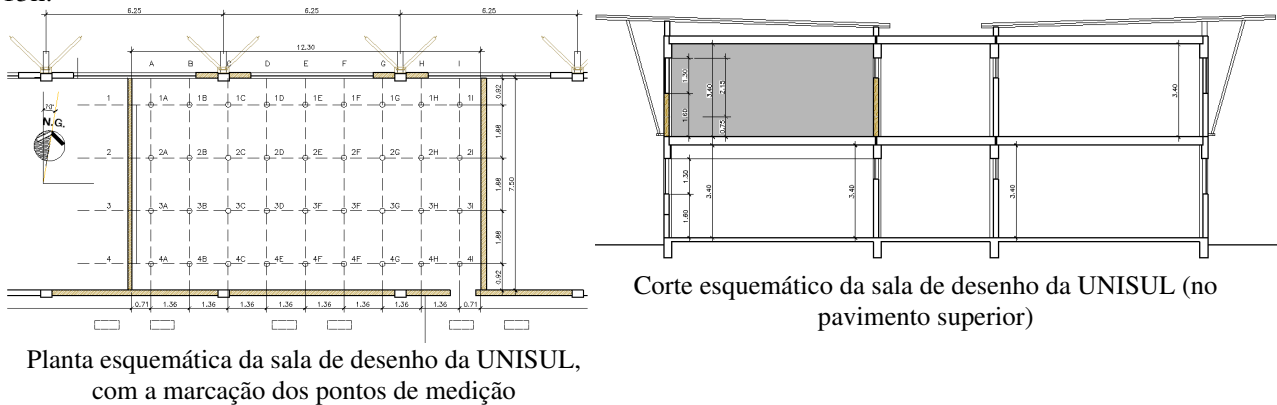


Figura 7: Projeto esquemático da sala analisada da UNISUL

O nível de iluminação externo ao prédio era de 66.000 lux, um dia muito favorável à iluminação natural. As medições apresentaram níveis bastante elevados de iluminância, principalmente no centro da sala (Figura 8). O peitoril da janela é de 1,60 m, resultando numa conformação dos níveis de iluminação diferente do apresentado no IEE, ou seja, as áreas menos iluminadas encontram-se na periferia do ambiente.

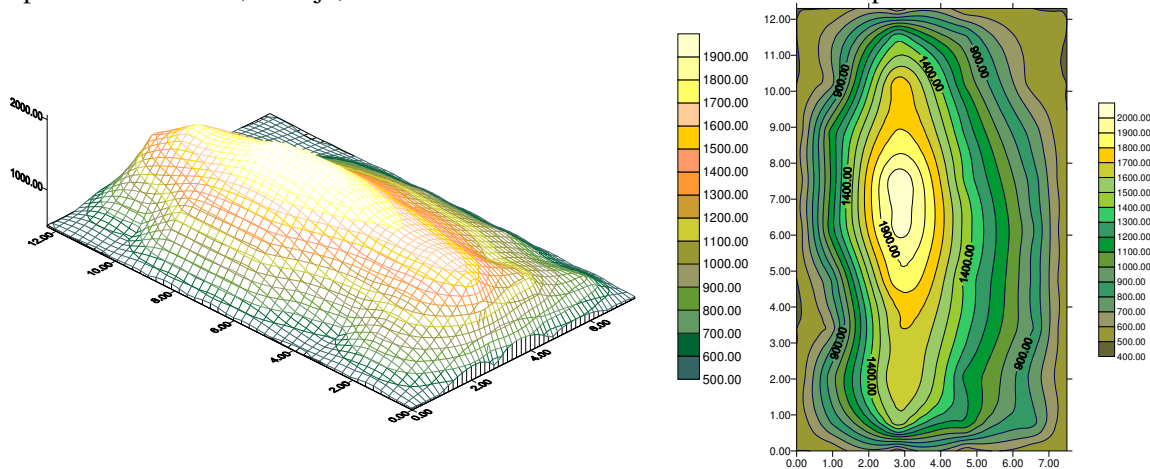


Figura 8: Imagens planificadas com os níveis de iluminação em 3-D e 2-D obtidas ao sobrepor o resultado das medições na UNISUL somente com a iluminação natural.

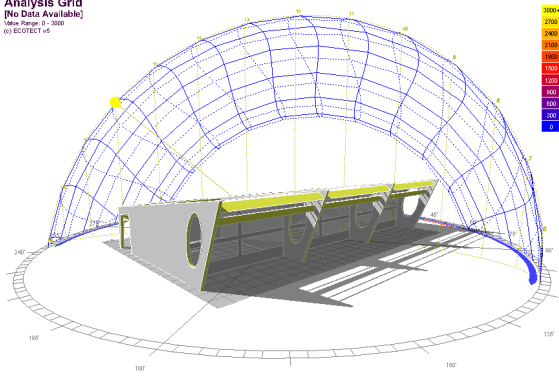
As iluminâncias encontradas nas medições apresentam-se acima do limite mais alto recomendado para salas de desenho preconizadas pela norma que é de 750lux. O maior valor foi de 2.100 lux e o menor foi de 540 lux (Figura 8). Provavelmente ocorreriam problemas de ofuscamento se não houvesse persianas internas para controlar o excesso de iluminação

A disposição dos maiores níveis de iluminação manteve-se a mesma no centro da sala, tanto com somente luz natural, como quando associada com iluminação artificial. Pode-se observar que o posicionamento das esquadrias, assim como a altura do peitoril das janelas são responsáveis pela variabilidade da distribuição da luz dentro do ambiente, aspecto que pode ser mais explorado através de simulação.

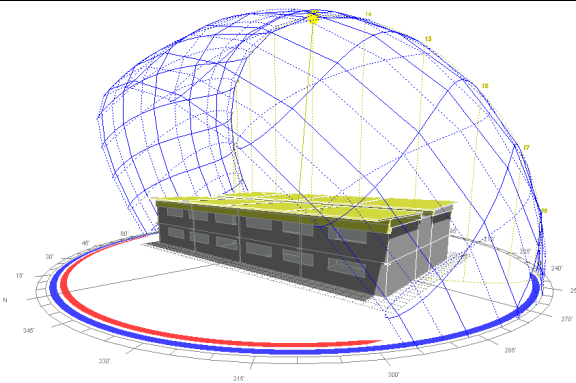
6 SIMULAÇÕES

Foram modeladas as salas de aula das duas escolas com o programa Ecotect (Square One Research 2007) (figura 9), propiciando a simulação da penetração solar nestes ambientes em vários períodos e a determinação das máscaras de sombreamento das esquadrias nas duas edificações (figura 10).

Analysis Grid
(No Data Available)
Value Range: 0 - 3000
© ECOTECT v4



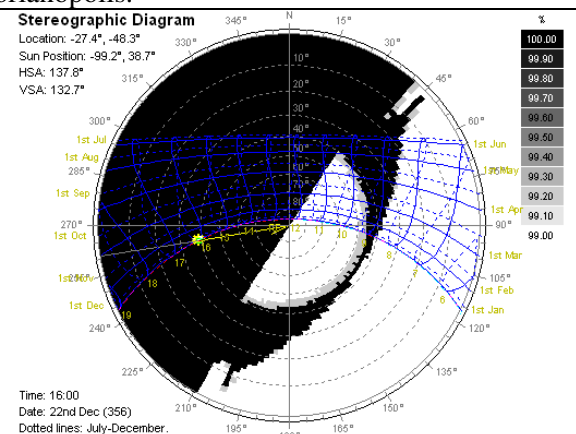
Modelo para simulação da sala de aula do IEE no dia 22/dez (solstício de verão) às 16h



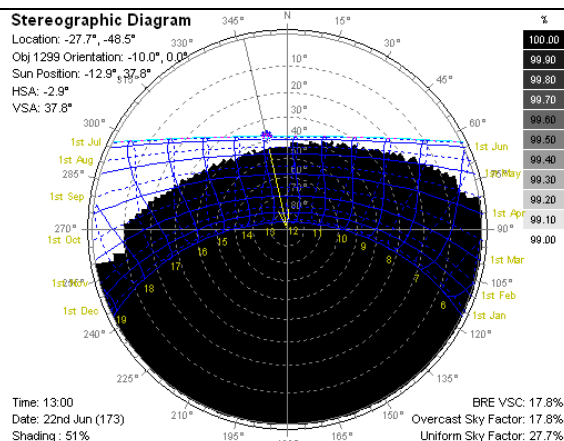
Modelo para simulação da sala de aula da UNISUL no dia 22/dez (solstício de verão) às 13h

Figura 9: Simulação de penetração solar nas salas de aula das duas escolas modeladas no Ecotect (2007).

A máscara de sombreamento de 100% do IEE (figura 10) não cobre totalmente o sol alto na estação do verão, já a máscara das esquadrias da sala da Unisul (piso superior) tem uma proteção mais adequada para o sol de verão. O brise não bloqueia o sol de inverno, propiciando sua penetração, o que ameniza o frio neste período. Conforme a análise da figura 1 obtida pelo programa Analysis SOL-AR (LabEEE 2010), este brise (da fachada norte), atende a necessidade térmica de sombreamento e insolação durante todo o ano em Florianópolis.



Mascará de sombra 100% das duas janelas da sala de aula do IEE

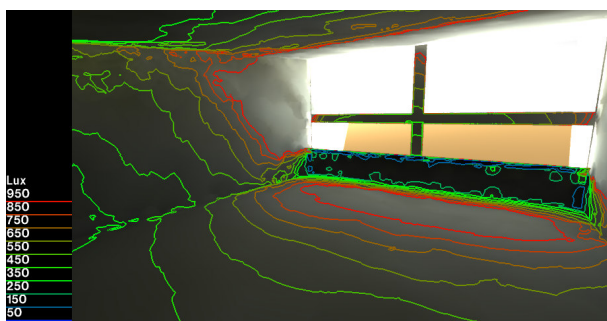


Mascará de sombra 100% da sala de desenho (pav. Superior) da Unisul

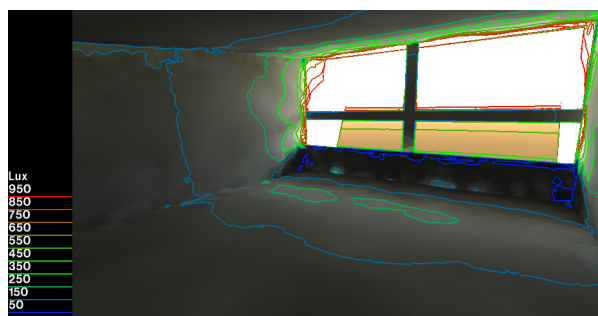
Figura 10: Máscara de sombreamento obtida pelo programa Ecotect (2007).

6.1 SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL DO IEE.

A primeira simulação da sala foi realizada na situação de céu claro e nublado, às 9h da manhã de inverno (22/06). Pode-se observar (figura 11) que com céu claro, no horário da manhã, a sala encontra-se em condições de iluminação adequadas, embora com céu nublado a sala torne-se muito escura. Assim, foram simuladas as condições no período da tarde (22/06) nas duas condições de céu claro e nublado.



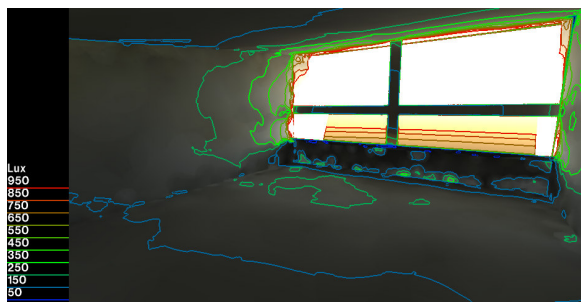
Simulação sala IEE (22/06) às 9h da manhã com céu claro



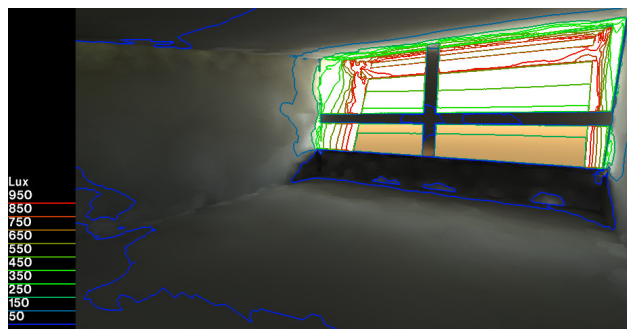
Simulação sala IEE (22/06) às 9h da manhã com céu nublado

Figura 11: Simulações na sala de aula do IEE no mesmo horário com condições de céu diferenciadas

Na simulação, no período da tarde (figura 12) os níveis são inadequados nas duas condições de céu e não atendem à norma que estabelece um mínimo de 200 lux dentro de salas de aula e 300 lux para salas de desenho. Esta simulação comprova os dados obtidos nas medições.



Simulação sala IEE (22/06) às 16h da tarde com céu claro (dia 22/06)

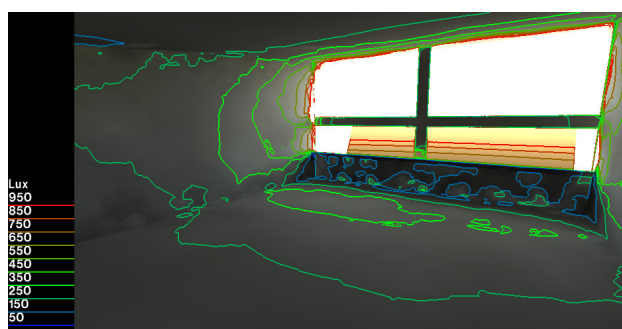


Simulação sala IEE (22/06) às 16h da tarde com céu nublado

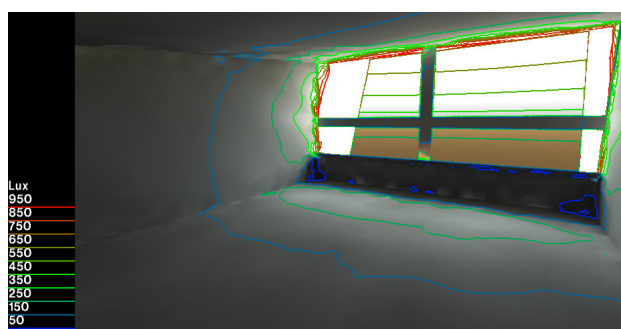
Figura 12: Simulações na sala de aula do IEE no período da tarde em condições de céu diferenciadas (inverno)-com brise horizontal

A orientação a sudeste desta sala de aula mostra-se pouco recomendada para a utilização da iluminação natural, torna-se importante a simulação da sala de aula sem a existência de brises horizontais (Figura 13).

Nesta situação os níveis de iluminação aumentaram muito. Às 16h com céu nublado, estes valores aumentaram de 50 lux para 150 lux no meio da sala (figura 13). Pode-se afirmar que o brise horizontal na orientação a sudeste seria dispensável.



Simulação sala IEE (22/06) às 16h com céu claro (dia 22/06)-sem brise horizontal



Simulação sala IEE (22/06) às 16h com céu nublado sem brise horizontal

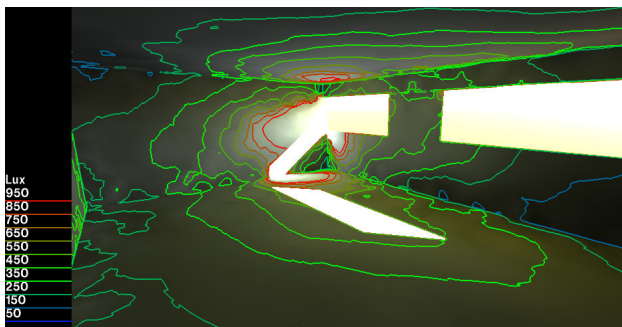
Figura 13: Simulações na sala de aula do IEE no período da tarde em condições de céu diferenciadas (inverno) sem brise

Na simulação da sala no verão obtiveram-se níveis bem altos de iluminância, e o sol penetra dentro da sala no máximo até as 10h, sendo necessária a colocação de uma persiana interna que pudesse manter-se fechada em alguns horários em dias de sol, mas aberta depois das 10h no verão e durante o inverno.

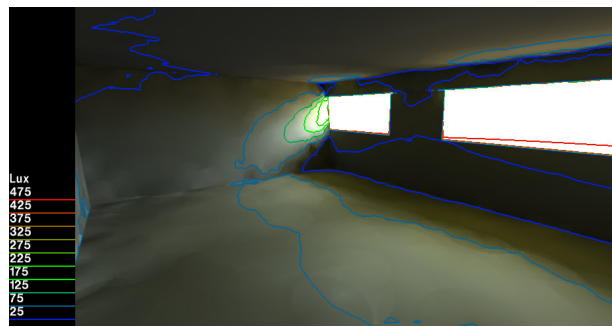
Foram realizadas simulações com brises verticais, mas os resultados continuaram insatisfatórios em relação à ausência de brise. O brise nesta orientação bloqueia parcelas de céu responsáveis por iluminação natural interna. O projeto deste colégio seria adequado se tivesse sido espelhado em relação à situação atual, ou seja, se as janelas das salas estivessem voltadas para norte, e os corredores de acesso as salas a sudeste, o projeto teria sido mais bem resolvido para a utilização da luz natural e proteção por meio do brise horizontal que para situação atual deveria ser descartado.

6.2 SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL DA UNISUL

A sala de desenho da UNISUL voltada para o norte foi simulada nas condições de céu claro e nublado para o período do inverno (figura 14). Pode-se observar que a distribuição da luz ocorre mais para dentro da sala, atingindo níveis inadequados durante o inverno com céu nublado. Com céu claro, os valores estão dentro dos padrões mínimos de 200 lux, mas há necessidade do uso de persiana interna para bloquear períodos de luz direta dentro da sala nos primeiros horários de sol de inverno, para evitar ofuscamento.



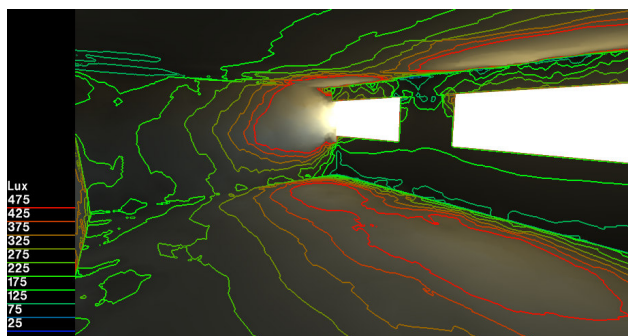
Simulação sala Unisul (22/06) às 9h da manhã com céu claro (dia 22/06) com proteção horizontal



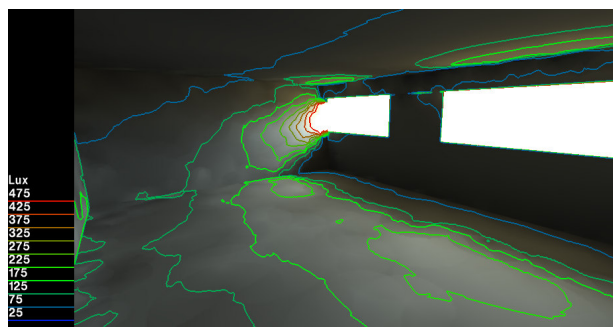
Simulação sala UNISUL (22/06) às 9h da manhã com céu nublado - com proteção horizontal

Figura 14: Simulações na sala de aula da UNISUL, no período da manhã em condições de céu diferenciados (inverno).

A simulação do solstício do verão apresenta níveis de iluminação que, apesar de maiores, ainda são deficientes junto às paredes mais internas (figura 15) tanto com céu claro quanto com céu nublado.



Simulação sala UNISUL (22/12) às 9h da manhã com céu claro - com proteção horizontal



Simulação sala UNISUL (22/12) às 9h da manhã com céu nublado - com proteção horizontal

Figura 15: Simulações na sala de aula da UNISUL, no período da manhã em condições de céu diferenciados (verão).

Foram feitas varias simulações nas salas voltadas ao sul e constatou-se que estas se apresentaram muito escuras durante todo o ano, tanto em condições de céu nublado como de céu claro. Entretanto, pode-se observar que, para a fachada sul, a presença de proteção horizontal em situação de céu claro diminui bastante os níveis de iluminação para esta orientação (figura 16). A proteção horizontal, quando eliminada, estende a iluminação mais para o interior da sala, mesmo que ainda assim mantenha-se insuficiente. Nesta situação o ofuscamento ocorreria próximo do solstício de verão, uma vez que proteções solares horizontais não barram a insolação direta (sol mais baixo na orientação sul). Os brises barram a iluminação difusa vinda da área de céu visível nos outros períodos e horários.

7 CONCLUSÕES

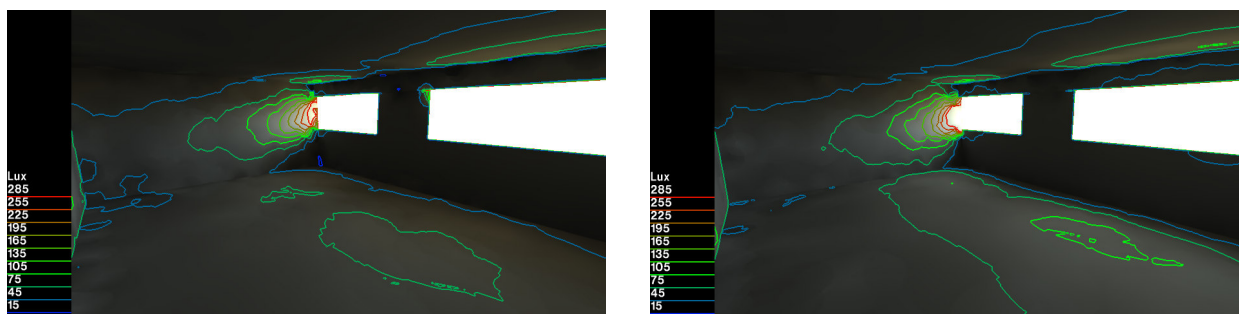
Com os dados medidos e as simulações, algumas conclusões puderam ser traçadas. Em relação à sala de aula analisada no IEE, os baixos valores de iluminância encontrados nas medições, mesmo nos períodos mais favoráveis (verão, céu com 50.000 lux de iluminância externa) resultam provavelmente do tamanho exagerado do brise para a orientação sudeste e de sua cor azul, que absorve a maior parte da luz que atravessa os vãos entre aletas. Quando a luz artificial é utilizada, os valores de iluminância ainda não atingem o determinado na NBR 5413, provavelmente devido à carência de lâmpadas nas salas de aula. As simulações com o *Radiance* confirmaram a carência de iluminância já detectada com as medições na sala de aula e permitiram refazer a análise sem os brises, que acabaram se mostrando desnecessários e mesmo inadequados para a orientação (sudeste).

No caso da UNISUL, o peitoril mais alto e a proteção solar menos bloqueadora garantiram os maiores valores medidos de iluminância, inclusive acima do recomendado pela norma, exigindo a adoção de persianas internas nas salas. As simulações com o *Radiance* permitiram que a proteção solar horizontal fosse eliminada, o que comprovou sua ineficácia e redundância para a orientação (sul). A retirada desta proteção não afetaria o ofuscamento que ocorre nos períodos próximos ao solstício de verão, problema que poderia ser facilmente resolvido com o emprego das persianas internas.

Estas observações comprovam as vantagens de se utilizar dados medidos *in loco* conjuntamente com simulações computacionais, pois de outra forma não se poderia testar certas alterações arquitetônicas, como a retirada de brises nos casos apresentados.

A orientação de salas de aula para o sul (UNISUL) ou sudeste (IEE) na latitude de Florianópolis não se mostrou adequada para a iluminação natural. Deve-se, sempre que possível, orientar as salas para o norte, seguindo o determinado pelo Decreto nº 30.436 (SANTA CATARINA 1986). Se isso não for possível, proteções solares externas fixas ou muito profundas devem ser evitadas para estas orientações, sendo mais indicado o uso de persianas internas móveis como controle de ofuscamento.

Salas de aula voltadas para o norte têm uma resposta mais adequada em qualquer situação em termos de iluminação natural e com relação ao emprego de proteções solares externas fixas. Da mesma forma, janelas com peitoris mais altos prometem melhores resultados em termos de distribuição da luz natural.



Simulação sala UNISUL (22/6) às 16h com céu claro – com proteção horizontal (fachada sul)

Simulação sala UNISUL (22/6) às 16h com céu nublado – sem proteção horizontal (fachada sul)

Figura 16: Simulações na sala de aula da UNISUL, no período da tarde em condições de céu claro no inverno, com e sem proteção solar.

8 AGRADECIMENTOS

À UNISUL, pela bolsa de pesquisa concedida pelo Programa Unisul de Incentivo à Pesquisa (PUIP) e às pessoas que gentilmente cederam os projetos arquitetônicos dos edifícios analisados.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-4: Iluminação natural - Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: Iluminância de interiores. ABNT, 1992.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. Norma Regulamentadora Nº 17: Ergonomia (NR17). 2011.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2010). Balanço energético nacional 2009: ano base 2008. MME, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. 274p. Disponível em <https://www.ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2009.aspx> acesso em abril de 2010.
- SANTA CATARINA (Estado). Decreto nº 30.436, de 30 de setembro de 1986. Regulamenta o artigo 28 da Lei nº 6.320 de 20 de dezembro de 1983, que dispõe sobre estabelecimentos de ensino. Florianópolis, 1986.
- IEE (2009) informações coletadas no site <<http://www.iee.sed.sc.gov.br>> acessada em 20/04/2009
- LabEEE (2010). *Analysis-SOL-AR (programa para obtenção da carta solar e das rosas dos ventos para cidades brasileiras)*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC, Florianópolis. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/software/analysisSOLAR.htm>, acesso em abril de 2010.
- LECHNER, N. *Heating, cooling, lighting – design methods for architects* (second edition). John Wiley & Sons, USA, 2001.
- LIGHTING Systems research Group (2007). *Radiance (Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista)*. Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, USA. Disponível em <http://radsite.lbl.gov/radiance/>, acesso em 09/02/2007.
- SQUARE One Research (2007). *Ecotetc v: 5.50 (Programa de simulação técnica, de iluminação, acústica e de geometria solar em edificações)*. Square One Research, Cardiff, UK. Disponível em: <http://squel.com/>, acesso em 09/02/2007.
- SURFER (1994) VERSÃO 5.5, Surface Mapping System, Golden Software Inc. Colorado, USA.