

CONFORTO AMBIENTAL EM SALAS DE AULA DO CEFET-PR

*Eduardo L. Krüger*¹;
*Thayse Pedrazzi*²;
*Daniel Engel*³;
*Paulo H.T. Zannin*⁴;
*Marcia K.O. Adriaizola*⁵;
*Ariel O. Michaloski*⁶;
*Oto R. Bormann*⁷;
*Percio L.K. Miranda*⁸;
*Monica A. Bosa*⁹;
*Marcia M. Fauat*¹⁰;

RESUMO:

O conforto ambiental abarca quatro áreas de investigação: conforto térmico, lumínico, acústico e ergonômico. Contudo, em se tratando do ambiente construído, campo de trabalho de arquitetos e engenheiros civis, as investigações concentram-se basicamente nas três primeiras, sendo o conforto ergonômico em geral objeto de estudo de designers. O objetivo do presente trabalho é reunir os resultados de diferentes avaliações de desempenho de ambientes escolares, realizadas na Unidade de Curitiba do CEFET-PR, num único documento, de forma que se possa cobrir em parte a grande área definida como conforto ambiental.

Palavras-Chave: Conforto Térmico, Conforto Lumínico, Conforto Acústico.

-
- ¹ Engenheiro Civil, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE/CEFET-PR).
 - ² Engenheira Civil, Egressa do Curso de Graduação em Engenharia da Produção Civil (DACOC/CEFET-PR).
 - ³ Engenheiro Civil, Egresso do Curso de Graduação em Engenharia da Produção Civil (DACOC/CEFET-PR).
 - ⁴ Engenheiro Mecânico, Doutor, Laboratório de Acústica Ambiental (UFPR).
 - ⁵ Arquiteta, Mestranda do PPGTE.
 - ⁶ Engenheiro Civil, Mestrando do PPGTE.
 - ⁷ Físico, Mestrando do PPGTE.
 - ⁸ Engenheiro Eletricista, Departamento de Eletrotécnica (DAELT/CEFET-PR).
 - ⁹ Acad. Curso de Graduação em Engenharia da Produção Civil (DACOC/CEFET-PR).
 - ¹⁰ Acad. Curso de Graduação em Engenharia da Produção Civil (DACOC/CEFET-PR).

ABSTRACT:

Environmental comfort embodies four different research areas: thermal, luminic, acoustic and ergonomic comfort. However, regarding the built environment, architects and civil engineers should primarily concentrate efforts on the first three, while ergonomic comfort refers more to designers. The purpose of the present research is to congregate the results of a series of investigations regarding the performance of classrooms, which have taken place at Curitiba's CEFET-PR. Thus, it was possible to cover most of the research area, which constitute environmental comfort, in an integrated manner.

Key Words: Thermal Comfort, Luminic Comfort, Acoustic Comfort.

INTRODUÇÃO

Um dos princípios da sustentabilidade é satisfazer às necessidades da população sem que isso prejudique de alguma forma as perspectivas das gerações futuras. Para tanto, deve-se ter uma visão sistêmica do mundo, como um todo funcional com interdependências entre suas partes (CAPRA, 1996). A visão ecológica acrescenta a isso a percepção de como essas partes se encaixam no ambiente natural e social: de onde vêm as matérias primas, como são fabricadas, como o seu uso afeta o meio ambiente e a comunidade que faz uso de determinada tecnologia. Dentro desta visão, qualquer atitude tomada em prol da conservação do ambiente estará contribuindo para a preservação dos recursos naturais e da sustentabilidade. Assim, na elaboração de um projeto, o projetista deve ter em mente: a importância da orientação solar; o dimensionamento adequado das aberturas de ventilação e iluminação; a escolha dos materiais, levando-se em conta que, para cada região ou lugar específico, temos um determinado tipo de clima; e a escolha da opção correta para cada um destes itens que contribuirá para a melhoria do conforto ambiental e, conseqüentemente, para a racionalização no uso de equipamentos de climatização destes ambientes, na redução do consumo energético, enfim, na preservação dos recursos naturais.

O conforto ambiental abarca quatro áreas de investigação: conforto térmico, lumínico, acústico e ergonômico. Contudo, em se tratando do ambiente construído, campo de trabalho de arquitetos e engenheiros civis, as investigações concentram-se basicamente nas três primeiras, sendo o conforto ergonômico em geral objeto de estudo de “designers”.

O objetivo do presente trabalho é reunir os resultados de diferentes avaliações de desempenho de ambientes escolares, realizadas na Unidade de Curitiba do CEFET-PR (PEDRAZZI *et al.*, 2001; KRÜGER *et al.*, 2001; BORMANN, 2002;

BOSA & FAUAT, 2002), num único documento, de forma que se possa cobrir em parte a grande área definida como conforto ambiental.

As avaliações foram realizadas em etapas diversas, compreendendo cada uma delas salas de aula em diferentes blocos da escola. Assim sendo, as medições de desempenho acústico foram realizadas no bloco da Engenharia, situado em local de intenso ruído urbano. As medições de desempenho térmico foram realizadas em blocos diferenciados por ano de construção, tomando-se salas da ala mais antiga da escola e salas com ano de construção mais recente. Neste caso, a escolha das salas deu-se em função da orientação da fachada e dos materiais constitutivos de suas paredes e coberturas. Quanto à avaliação lumínica, optou-se por salas com elementos de janela diferenciados, optando-se para a análise mais uma vez por salas da ala antiga e por salas da ala nova da escola.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO

O conforto acústico é um dos fatores essenciais para a realização de atividades em salas de aula, em especial as que exigem um alto nível de concentração. Para se fazer uma avaliação acústica do ambiente das salas de aula, buscou-se os valores críticos de níveis de ruído e frequência de ruído urbano nas situações mais problemáticas, ou seja, no primeiro pavimento e no horário de maior fluxo de trânsito ao redor da edificação. Os valores críticos foram obtidos através de medições realizadas, considerando as situações de janela aberta e fechada.

O bloco analisado situa-se entre as Avenidas Sete de Setembro e Marechal Floriano. No final da década de 40, foram feitas a pavimentação, o saneamento e a urbanização da Avenida Sete de Setembro. A Avenida Marechal Floriano até a década de 50 era via principal de acesso ao Centro, por onde passava o bonde elétrico (desde 1913 até 1950) e automóveis. A partir de 1992, esta avenida recebeu ainda uma canaleta para os primeiros ônibus biarticulados, sendo intensificado o tráfego existente até então.

Para a avaliação do desempenho acústico nas salas de aula do bloco E da Engenharia, foram realizadas medições dos níveis de ruído externo dentro dos ambientes, nos horários de pico do dia. O horário crítico, das dezoito às dezenove horas durante os dias úteis da semana, foi determinado através de observações do fluxo de veículos das vias externas à edificação. As medições foram realizadas nas salas de aula do primeiro pavimento do bloco sem a presença de alunos, pois pretendia-se avaliar apenas o ruído externo presente no pavimento mais crítico. Foram, assim, consideradas duas situações nas salas para leitura de medidas:

1. *com todas as janelas abertas, para se obter o nível real de ruído externo; e,*
2. *com todas as janelas fechadas, para verificar a redução de ruído proporcionado pelas esquadrias e vidros existentes.*

Para executar as medidas, foram utilizados dois medidores de nível de pressão sonora, classificados de acordo com as normas internacionais, como sendo

tipo 1, que é destinado para operações em campo externo e/ou laboratórios com precisão de +/- 0,41 dB.

Para a avaliação das salas de aula, foram determinados 5 (cinco) pontos de medição, um ponto central e os outros em cada extremo da sala, obtendo-se assim uma avaliação do ambiente por completo. Esta metodologia foi aplicada em todas as salas, seguindo as especificações da norma NBR 10152/87 (ABNT, 1987).

MEDIÇÕES DE RUÍDO

Através das leituras realizadas, foram obtidos os níveis de ruído equivalente global, que representa uma média dos níveis de ruído medidos, obtidos durante o tempo de medição, para cada ponto determinado nas salas de aula do primeiro pavimento do bloco. Além disso obtiveram-se ainda os níveis sonoros equivalentes nas frequências centrais das bandas de oitava, determinadas por norma, ambos para situação de janela aberta e fechada, a fim de se poder classificar as salas de aula, conforme as curvas de avaliação de ruído (NC) da norma NBR 10152/87.

Com os níveis de ruído equivalente global de cada ponto, foram calculados os níveis de pressão sonora médios para cada sala. Estes valores calculados foram comparados com os parâmetros de conforto e aceitabilidade tabelados pela NBR 10152/87, que prescreve, para escolas, o nível sonoro máximo de conforto nas salas de aula como sendo 40 dB (A) e a faixa de aceitabilidade de 40 a 50 dB (A).

Os valores obtidos de níveis de pressão sonora médios para cada sala estão resumidos na Tab. 1. Com os níveis sonoros equivalentes nas frequências centrais das bandas de oitava medidos nos pontos determinados, buscou-se o maior por sala, que determina a frequência crítica a ser isolada do ambiente externo (SILVA, 1997).

Tabela 1: Valores obtidos de nível de pressão sonora médio em dB(A)

| Sala de aula | Situação | NPS (médio) dB (A) |
|--------------|----------------|--------------------|
| E 101 | janela aberta | 55,60 |
| E 101 | janela fechada | 47,10 |
| E 104 | janela aberta | 56,50 |
| E 104 | janela fechada | 46,10 |
| E 106 | janela aberta | 59,26 |
| E 106 | janela fechada | 48,70 |
| E 107 | janela aberta | 60,78 |
| E 107 | janela fechada | 51,59 |
| E108 | janela aberta | 59,35 |

Com os valores máximos de níveis sonoros equivalentes encontrados e suas respectivas freqüências, foram obtidas as curvas de avaliação de ruído (NC), no gráfico *Níveis de Pressão Sonora x Freqüências Centrais das Bandas de Oitava* da NBR 10152/87. As curvas de avaliação de ruído (NC) encontradas foram comparadas com os parâmetros de conforto e aceitabilidade tabelados pela norma, que prescreve, para escolas, a curva de avaliação de ruído máxima de conforto nas salas de aula como sendo NC 35 e a faixa de aceitabilidade de NC 35 a NC 45.

Como exemplo, tomamos a sala E 108, na qual, com a situação das janelas abertas, nos pontos determinados foram medidos os níveis sonoros equivalentes em suas respectivas freqüências, obtendo-se o espectro da Fig. 1.

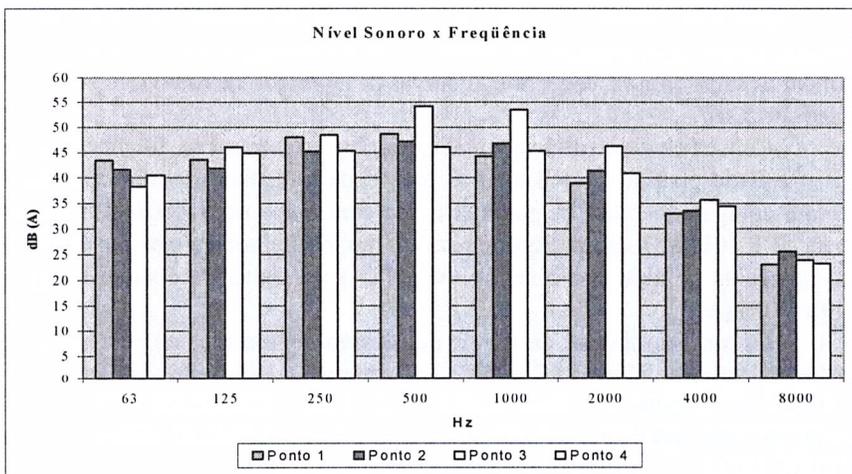


Fig. 3: Níveis sonoros x freqüência para a sala E-108

O espectro mostra que, na freqüência de banda de oitava de 500 Hz, tem-se o maior nível sonoro para aquele ponto na sala de aula, ou seja, 54,20 dB (A). Esse par de valores é aplicado no gráfico *Níveis de Pressão Sonora x Freqüências Centrais das Bandas de Oitava* da norma NBR 10152/87, obtendo-se a curva de avaliação de ruído mais próxima, NC 50. Para avaliar o desempenho acústico da sala de aula, faz-se a comparação entre essa curva de avaliação de ruído obtida com a curva máxima de conforto determinada pela norma. Neste caso, NC 50 é maior que NC 35 e ainda maior que NC 45, ou seja, o nível sonoro existente no ambiente da sala de aula em estudo não é aceitável e muito menos confortável.

Na Tab. 2 são apresentados resumidamente os valores máximos obtidos de níveis sonoros equivalentes nas freqüências centrais das bandas de oitava e curvas de avaliação de ruído medidos por sala.

Tab. 2: Valores obtidos de freqüência e curvas de avaliação de ruído

| Sala de aula | Situação | Leq (dB A) | Freqüência (Hz) | NC |
|--------------|--------------|------------|-----------------|----|
| E 101 | Jan. aberta | 45,50 | 2000 | 45 |
| E 101 | Jan. fechada | 36,50 | 1000 | 35 |
| E 104 | Jan. aberta | 46,80 | 1000 | 45 |
| E 104 | Jan. fechada | 35,10 | 500 | 30 |
| E 106 | Jan. aberta | 51,00 | 1000 | 50 |
| E 106 | Jan. fechada | 37,40 | 1000 | 35 |
| E 107 | Jan. aberta | 54,20 | 1000 | 55 |
| E 107 | Jan. fechada | 42,00 | 250 | 30 |
| E 108 | Jan. aberta | 54,20 | 500 | 50 |

Análise comparativa dos valores obtidos de nível médio de pressão sonora e curvas de avaliação de ruído com os limite máximo de avaliação de ruído para conforto, estão resumidos na Tab. 3.

Tab. 3: Análise comparativa dos resultados

| Sala de aula | Situação | NPS _(médio) | | NC | |
|--------------|--------------|------------------------|-----------|-------------|-----------|
| | | CONFORTÁVEL | ACEITÁVEL | CONFORTÁVEL | ACEITÁVEL |
| E 101 | jan. aberta | não | não | não | sim |
| E 101 | jan. fechada | não | sim | sim | sim |
| E 104 | jan. aberta | não | não | não | sim |
| E 104 | jan. fechada | não | sim | sim | sim |
| E 106 | jan. aberta | não | não | não | não |
| E 106 | jan. fechada | não | sim | sim | sim |
| E 107 | jan. aberta | não | não | não | não |
| E 107 | jan. fechada | não | não | sim | sim |
| E108 | jan. aberta | não | não | não | não |

Para fazer uma análise das condições de viabilidade do desempenho acústico das salas de aula, são consultadas as condições de confortabilidade de NPS _(médio) e NC, pois representam o nível sonoro de conforto. Os valores de confortabilidade de NPS _(médio) são os parâmetros fundamentais para a classificação da situação atual das salas de aula, enquanto que os valores de NC são uma alternativa para essa classificação, sendo as freqüências associadas a estes valores de grande importância para o dimensionamento do isolamento acústico, pois representam uma referência de valores críticos a serem evitados.

Observa-se, através da TABELA 1, que os níveis de pressão sonora médios nas salas de aula não são confortáveis, pois todos os resultados obtidos encontram-se acima de 40 dB (A). Sob o ponto de vista de NC, algumas salas mostraram-se confortáveis, ou seja, têm os seus valores abaixo de NC 35 e outras, na maioria, não confortáveis, pois estão acima de NC 35, limite máximo de avaliação de ruído para conforto.

Assim, verifica-se que as salas de aula não estão confortáveis e requerem um estudo de tratamento acústico, que vise reduzir o nível de ruído externo no ambiente aos valores de conforto.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SALAS DE AULA

Através da avaliação do desempenho térmico de edificações, e usando-se de conhecimentos adquiridos em outros projetos, podem-se realizar reformas para adequar os ambientes analisados, melhorando com isso sua performance, e, conseqüentemente, promover o racionamento no uso de equipamentos de climatização, quando existentes. De modo semelhante ao Manual de Procedimentos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações, publicado pelo IPT (AKUTSU *et al.*, 1987) e a outras pesquisas realizadas sobre o tema (KRÜGER & LAMBERTS, 1999; KRÜGER & DUMKE, 2001), para a avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR, foi adotada a seguinte metodologia:

1. *Escolha das salas de aula para avaliação térmica, levando-se em conta: a orientação, o tipo de material empregado nas paredes e cobertura;*
2. *Definição dos períodos de análise (inverno: 04-09/08/2000; verão: 11-15/01/2001);*
3. *Medições de temperatura nas salas de aula usando-se data-loggers do tipo HOBO;*
4. *Estimativa do grau de umidade relativa nas salas;*
5. *Análise bioclimática dos resultados através do software ANALYSIS (LabEEE/NPC/UFSC);*
6. *Comparação dos resultados de desempenho térmico com as propriedades termofísicas da envoltória.*

A avaliação das salas de aula foi realizada em duas alas da Unidade do CEFET-PR em Curitiba. A diferença dessas duas alas, no que se refere aos prédios (uma ala mais antiga, de inércia térmica maior, e uma ala mais nova, de alvenaria convencional ou de blocos de concreto celular) foi fator determinante para a realização das medições, que ocorreram simultaneamente em todos os ambientes avaliados, no inverno e no verão.

O primeiro bloco da escola a ser construído foi o que hoje é denominado Bloco J com área de 2.847,43m² e o segundo bloco construído, num espelhamento do primeiro, hoje denominado Bloco N, tem área de 3.306,10m². Os demais blocos hoje existentes, num total de vinte, foram construídos ao longo dos anos.

As salas analisadas foram as seguintes (Tab. 4):

Sala J-003: pertencente ao bloco mais antigo da Escola, possui paredes duplas compostas de duas fileiras de tijolos com 2 furos, espaçados de 5cm, com espessura total de parede de 30cm e cobertura de telhas de barro sobre laje de concreto armado, com ático.

Sala N-005: situada no segundo bloco construído, possui paredes de mesmas características da sala J-003 e está situada no primeiro piso, sem contato direto com a cobertura.

Salas Q-102 e Q-105: pertencentes aos blocos mais novos da Escola, possuem paredes externas em alvenaria de tijolos com 6 furos sendo a espessura da parede de 10cm e, estando no primeiro piso, não têm contato direto com a cobertura.

Salas Q-302 e Q-305: cobertura de alumínio trapezoidal com espessura de 1 mm, altura da cumeeira de 80cm e forro em perfis de alumínio com 1 mm de espessura. As paredes externas foram executadas com peitoril de concreto com espessura de 10cm e esquadrias de alumínio.

Sala Q-308 e Q-311: cobertura de alumínio trapezoidal e poliuretano com espessura de 1 mm de alumínio e 5cm de poliuretano, altura da cumeeira de 1 m e forro em perfis de alumínio com 1 mm de espessura. Paredes de constituição idêntica às das salas Q-302 e Q-305.

Tabela 4: Área de piso e janela e orientação das salas da Unidade de Curitiba

| | Q-105 | Q-102 | Q-305 | Q-302 | Q-308 | Q-311 | J-003 | N-005 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Área de Piso | 70,93 | 70,93 | 69,80 | 69,74 | 68,16 | 35,30 | 21,90 | 29,90 |
| Área de Janela | 8,92 | 8,92 | 11,65 | 11,65 | 10,71 | 10,46 | 9,90 | 8,03 |
| Orientação da fachada | NO SE | | |

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

Para as medições, foram utilizados aparelhos registradores (data-loggers) de temperatura e umidade relativa do ar do tipo HOBO, modelo H08-003-02, capacidade de 7944 leituras, com intervalos de 0,5 segundos até 9 horas, hora e data de início programáveis, faixa de operação de -20 °C a +70°C de temperatura e 0 a 95% de umidade relativa. O software utilizado para a leitura dos registros foi o kit de programação BoxCar 3.0.

As medições abrangeram os seguintes períodos: de 04 a 09 de agosto de 2000 (inverno) e de 11 a 14 de janeiro de 2001 (verão) (Tab. 5). Os aparelhos foram programados para medir a temperatura e umidade a cada 5 minutos, sendo os dados coletados integrados para uma hora e plotados, por fim, na carta psicrométrica com o software ANALYSIS (LabEEE/NPC/UFSC). Para isso, fez-se necessário estimar o grau de umidade relativa das salas de aula, tomando-se por base a

temperatura e a umidade relativa externas (KRÜGER, 2001). Assumindo-se que nos ambientes considerados não houve geração de umidade (as salas permaneceram desocupadas durante ambos períodos de monitoramento por motivo de férias escolares) e que as janelas, mesmo fechadas, permitiram alguma renovação do ar interno, a umidade absoluta externa foi também adotada para os ambientes monitorados. Assim, a partir da umidade absoluta e da temperatura medida do ar interno, estimou-se a umidade relativa de cada sala, para cada hora.

Tabela 5: Período de monitoramento

| PERÍODO | | T [°C] | | | % HORAS | | |
|-------------------------|-------------------------|--------|-------|--------|---------|----------|-------|
| Início | Fim | Mínima | Média | Máxima | Frio | Conforto | Calor |
| 04/08/2000, às 16:00 | 09/08/2000, às 10:30 | 4,50 | 14,94 | 27,77 | 70,40 | 29,60 | 0,00 |
| 10/01/2001, às 22:00 | 15/01/2001, às 14:30 | 16,70 | 21,30 | 31,40 | 40,30 | 34,50 | 25,20 |

Os resultados obtidos são apresentados de forma gráfica nas figuras 2 e 3, nas quais estão representadas a porcentagem de horas em condição de frio, conforto e calor (colunas) resultantes da plotagem de temperatura e umidade relativa na carta psicrométrica (software ANALYSIS) e, nas linhas, as transmitâncias (U) e atrasos térmicos (FI=j) das paredes (par) e coberturas (cob) das salas, calculados segundo a norma de desempenho térmico (RORIZ *et alii*, 1999).

O efeito da orientação solar das fachadas foi considerável tanto no inverno quanto no verão, pois todas as janelas estavam desobstruídas. Nota-se, principalmente no inverno, que todas as salas, se consideradas de duas em duas na Fig. 3, apresentam alguma redução dos graus de desconforto por frio, quando há maior insolação na fachada, ou seja, quando se passa de uma orientação SE para outra NO. No verão, por outro lado, isso significou, na comparação das salas Q-305 e Q-302 e J-003 e N-005, um ligeiro aumento do desconforto por calor.

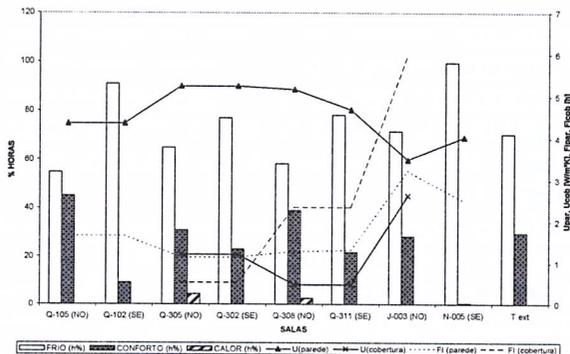


Figura 2: Horas de conforto e desconforto para o período de inverno

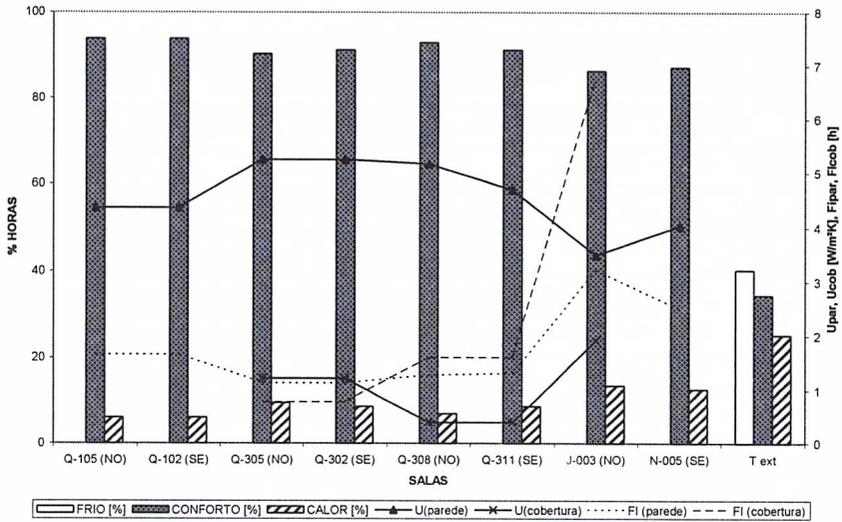


Figura 3: Horas de conforto e desconforto para o período de verão

No inverno, as transmitâncias das coberturas parecem influir nos graus de conforto apenas nas fachadas ensolaradas, havendo aparentemente um limite para tanto, verificado na relação entre as salas Q-305, Q-308 e J-003. Isso se deve ao efeito conjugado da orientação solar e das características termofísicas dos materiais, o que reflete uma das recomendações da Norma de Conforto para a Zona Bioclimática 1 (RORIZ *et alii*, 1999), onde está incluída Curitiba: aquecimento solar passivo. Quanto às transmitâncias das paredes, as salas antigas J-003 e N-005 devem ser comparadas respectivamente com as salas mais novas Q-305, de orientação NO, e Q-102, que como a N-005, é de orientação SE e não apresenta cobertura. A menor transmitância das paredes implicou, no caso, em maior desconforto por frio. A maior inércia térmica das paredes da ala antiga ($\varphi=6,27$ h, em comparação com $\varphi=3,85$ h e $\varphi=2,7$ h, nas salas Q-102 e Q-305, respectivamente), portanto, não trouxe benefícios. Entretanto, há que se considerar diferenças nas áreas das salas.

No verão, por outro lado, o efeito da diminuição da transmitância e aumento da inércia térmica das paredes implicou em uma maior retenção de calor nas salas mais antigas. A orientação continua a influir, mas o efeito das coberturas é pequeno, para o período monitorado. Entretanto, reduções das temperaturas máximas internas são visíveis (Tab. 6), por exemplo, entre as salas Q-305 e Q-308, ambas de orientação NO, onde as máximas foram, respectivamente, $33,6^{\circ}\text{C}$ e $32,3^{\circ}\text{C}$ (a temperatura máxima externa foi de apenas $31,4^{\circ}\text{C}$).

Tabela 6: Curitiba - tabela-resumo das medições nas salas de aula

| SALAS | INVERNO | | | | | | VERÃO | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|---------|----------|-------|--------|-------|------|---------|----------|-------|
| | T [°C] | | | % horas | | | T [°C] | | | % horas | | |
| | Min | Média | Máx | Frio | Conforto | Calor | Min | Média | Máx | Frio | Conforto | Calor |
| Q-105 | 14,93 | 18,14 | 22,67 | 54,80 | 45,20 | 0,00 | 23,20 | 24,79 | 31,4 | 0,00 | 93,80 | 6,19 |
| Q-102 | 12,37 | 15,00 | 19,00 | 90,90 | 9,13 | 0,00 | 22,80 | 24,59 | 31,4 | 0,00 | 93,80 | 6,19 |
| Q-305 | 10,9 | 17,62 | 30,30 | 64,80 | 30,90 | 4,35 | 20,50 | 23,74 | 33,6 | 0,00 | 90,30 | 9,73 |
| Q-302 | 10,2 | 15,55 | 26,63 | 77,00 | 23,00 | 0,00 | 21,30 | 24,54 | 33,9 | 0,00 | 91,20 | 8,85 |
| Q-308 | 10,9 | 17,57 | 29,67 | 58,30 | 39,10 | 2,61 | 20,50 | 23,60 | 32,3 | 0,00 | 92,90 | 7,08 |
| Q-311 | 9,8 | 15,51 | 25,20 | 78,30 | 21,70 | 0,00 | 19,80 | 23,60 | 31,4 | 0,00 | 91,20 | 8,85 |
| J-003 | 12,5 | 15,90 | 21,43 | 71,70 | 28,30 | 0,00 | 20,90 | 23,47 | 31,4 | 0,00 | 86,30 | 13,70 |
| N-005 | 10,9 | 13,20 | 18,07 | 99,60 | 0,43 | 0,00 | 22,10 | 23,59 | 31,4 | 0,00 | 87,20 | 12,80 |
| Text | 4,5 | 14,94 | 27,77 | 70,40 | 29,60 | 0,00 | 16,70 | 21,30 | 31,4 | 40,30 | 34,50 | 25,20 |

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE SALAS DE AULA

Enquanto que o conforto térmico e acústico têm uma relação maior com o processo de ensino-aprendizagem, o desempenho lumínico apresenta uma relação direta com o consumo de energia elétrica nos ambientes onde há uso de iluminação artificial.

O Balanço Energético Nacional distribui o consumo de energia nos seguintes setores da economia: energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transporte e industrial (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2000). O Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, embora seja uma Instituição de Ensino Superior ao nível federal, está compreendido, quanto à classificação setorial adotada pelo Ministério das Minas e Energia, no setor comercial, que engloba atividades como comércio varejista e atacadista, serviços comunitários e sociais, ensino e cooperativas, dentre outras, sendo estas divididas, quanto à grande área de edificações, nos seguintes sub-setores: bancos, supermercados, hospitais, escolas, universidades e hotéis (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 1994). Estimativamente, o consumo de energia elétrica na Unidade de Curitiba do CEFET-PR distribui-se em 80% para a iluminação de ambientes e 20% para as demais cargas. Esta estimativa de consumo de eletricidade por uso final está em conformidade com o perfil de consumo de prédios comerciais e públicos que não possuem equipamentos de condicionamento de ar (Tab. 7), cujo consumo médio em iluminação situa-se em torno de 70%¹¹.

Tab. 7: Perfil de consumo em prédios públicos e comerciais com e sem equipamentos de condicionamento de ar (PROCEL, 1988)

| Uso Final | Com Condicionamento de Ar | Sem Condicionamento de Ar |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Iluminação | 24% | 70% |
| Ar Condicionado | 46% | - |
| Elevadores | 15% | 14% |
| Equip. de Escritório | 15% | 16% |
| TOTAL | 100% | 100% |

Considerando-se este alto índice de consumo de energia elétrica em iluminação, o aproveitamento adequado da luz natural é um importante elemento de conservação de energia elétrica em escolas, por reduzir a necessidade do uso de iluminação artificial. Em relação ao uso complementar de sistemas de iluminação artificial, para que haja uma redução do consumo de energia, recomendam-se as seguintes medidas:

- maior aproveitamento da luz natural;
- minimização do tempo de utilização das lâmpadas;
- minimização da potência instalada, com a utilização de componentes de maior eficiência energética, reatores eletrônicos e lâmpadas de maior rendimento.

O objetivo de um bom projeto de iluminação, considerando a necessidade de se conservar energia, é, então, o de integrar ao máximo os sistemas de iluminação existentes à quantidade de luz natural disponível no ambiente, de forma que se atenda aos níveis de iluminamento adequados ao desempenho de tarefas.

MEDIÇÕES DE LUZ NATURAL

Um sistema interessante de distribuição da luz natural em ambientes é proporcionado pelas denominadas prateleiras de luz (*light shelves* – Fig. 4). Tal sistema foi adotado na ala mais antiga da Unidade de Curitiba do CEFET-PR. Com o objetivo de investigar as vantagens desse sistema, foi feita uma comparação dos níveis de iluminamento atingidos em salas de características de janela diferentes: uma com o sistema de *light shelves* (sala J-003) e outra sem o mesmo (sala Q-105). Assim, para a verificação das características de iluminação obtidas, foram tomadas 2 salas de mesma orientação (NO), porém com diferente tipo de janela, procedendo-se medições dos níveis de iluminamento com luxímetros do tipo LD-500 da ICEL. As medições foram realizadas simultaneamente em três horários do dia, para três dias distintos (4, 7 e 8 de agosto de 2000). Posicionou-se os luxímetros em pontos pré-definidos, enfileirando-os segundo o distanciamento à janela (fonte de luz natural).

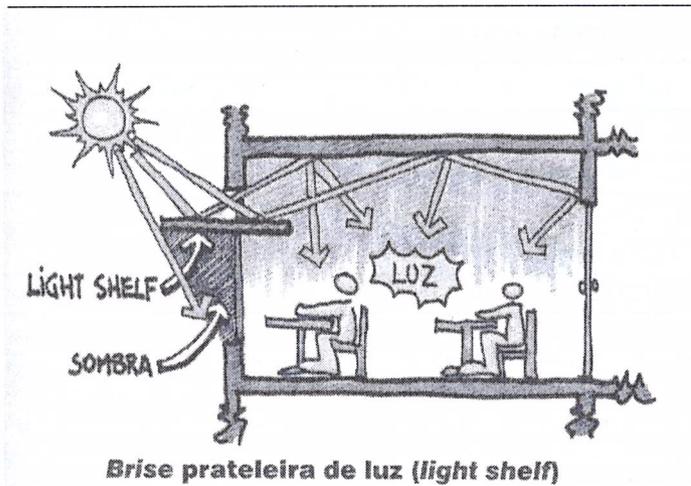


Fig. 4: Esquema da prateleira de luz (LAMBERTS, 1997)

Os resultados das medições de níveis de iluminação quanto à luz natural disponível estão apresentados graficamente nas Fig. 5 e 6, nas quais se observa a iluminância média atingida (E em Lux) nos respectivos pontos, considerando-se os horários analisados (às 11, às 13 e às 15 horas).

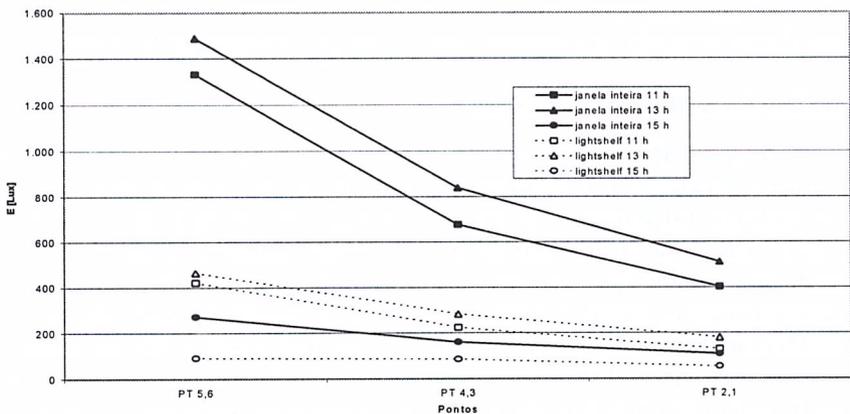


Fig. 2: Sala J-003 às 11, 13 e 15 horas

Nota:

Pontos 5 e 6: distância em relação à janela de 1,30m;

Pontos 4 e 3: distância em relação à janela de 2,60m;

Pontos 1 e 2: distância em relação à janela de 3,90m.

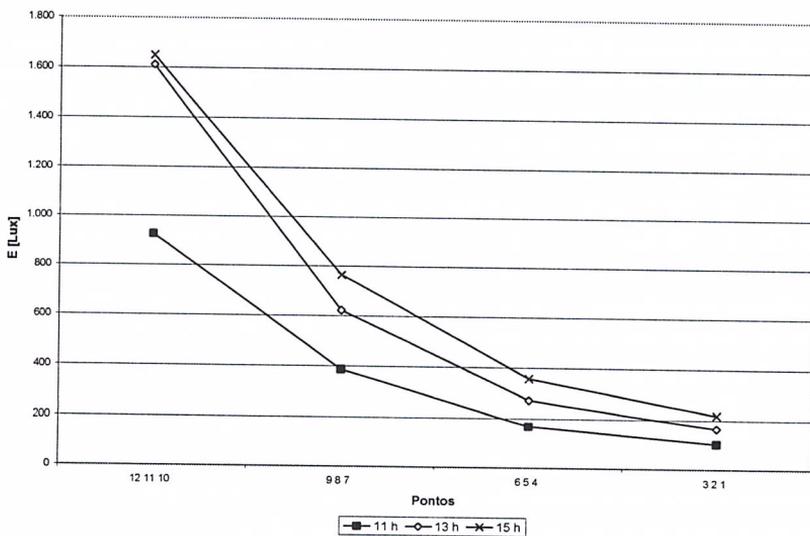


Fig. 3: Sala Q-105 às 11, 13 e 15 horas

Nota:

Pontos 10, 11 e 12: distância em relação à janela de 3,80m;

Pontos 7, 8 e 9: distância em relação à janela de 5,80m;

Pontos 4, 5 e 6: distância em relação à janela de 7,80m;

Pontos 1, 2 e 3: distância em relação à janela de 9,80m.

Na Fig. 5, na qual há o sistema de *light shelves* na janela (relação Área da janela por Área de piso de 0.45, segundo a Tab. 4), nota-se que os *light shelves* oferecem a possibilidade de sombreamento da fachada enquanto distribuem para o teto a radiação que, de outra forma, incidiria diretamente no ambiente. Uma forma de aproveitamento das prateleiras de luz seria utilizá-las separadamente da janela, que poderia então ter alguma proteção solar interna do tipo cortina ou persiana móvel. Verifica-se, na Fig. 5 (situação *light shelf*), que o uso independente do dispositivo *light shelf* permite uma luminosidade interna mais uniforme (como os resultados ora apresentados restringem-se ao período de inverno, os índices de iluminação interno¹², recomendados pela NB-57 – ABNT, 1991, são pouco atendidos, neste caso).

As medições com o sistema *light shelf* integrado à janela, comparativamen-

¹² 300 Lux, para salas de aula com usuários de idade inferior a 40 anos, nas quais a velocidade e precisão são importantes e onde a refletância do fundo da tarefa está entre 30 e 70%,

te aos valores encontrados na sala Q-105 (especificamente quanto à média dos pontos 1 e 2 da sala J-003 com a dos pontos 10, 11 e 12 da sala Q-105, praticamente equidistantes em relação à janela), mostraram valores reduzidos de iluminância interna para a sala J-003, para um distanciamento equivalente à janela em ambas as salas. Assim, verificam-se valores de 403 Lux, às 11 horas, de 513, às 13 horas, e de 109 Lux, às 15 horas (inferior à iluminância prescrita), na sala J-003, contra 926 Lux e acima de 1500 Lux, às 13 e às 15 horas, na sala Q-105. Nessas condições de alta iluminância pode haver ofuscamento e aumento do desconforto térmico pela alta incidência de radiação solar no local. Observe-se ainda a diferença na relação Área de janela/Área de piso, que na sala J-003 é de 0.45, e, na sala Q-105 de 0.13, que deveria significar maior nível de iluminação, o que, com o uso dos *light shelves*, não ocorre.

Quanto à sala Q-105 (Fig. 6), mesmo tratando-se de medições no período de inverno, no qual a posição do Sol em Curitiba atinge seu maior distanciamento, verificou-se que, até a quarta fileira (pontos 7, 8 e 9)¹³, praticamente não há necessidade de utilização de iluminação artificial na sala até o horário das 15 horas, sendo os 300 Lux prescritos plenamente atendidos. A alta incidência de luz do Sol nas primeiras filas, entretanto, pode acarretar algum desconforto, principalmente se há correspondente elevação da temperatura ambiente.

No CEFET-PR, Unidade de Curitiba, algumas salas foram recondiçionadas para que seus circuitos de iluminação fossem independentes quanto às luminárias próximas às janelas. Deste modo, o usuário pode acionar apenas os circuitos distantes da fonte de luz natural, quando necessário, dispensando a iluminação artificial, quando esta não for imprescindível.

Uma aplicação interessante de um dispositivo regulador da iluminação interna à luz natural disponível baseia-se no sistema de utilização de *dimmers* acoplados a células fotoelétricas (Fig. 7). Tal sistema, denominado *daylight switching system*, monitora a luminosidade natural existente no ambiente através de uma fotocélula que fornece um sinal elétrico em função da iluminância medida. Quando a iluminância medida for inferior ao valor ajustado, o dispositivo aciona o sistema de iluminação artificial. Desta forma, quanto maior a parcela de luz natural incidente no ambiente, menor o consumo de energia elétrica em iluminação artificial (ALVAREZ, 2000).

¹³ A primeira fileira, com os pontos 16, 17 e 18, foi desconsiderada no gráfico (Fig. 6), pois havia incidência de radiação solar direta sobre os sensores.

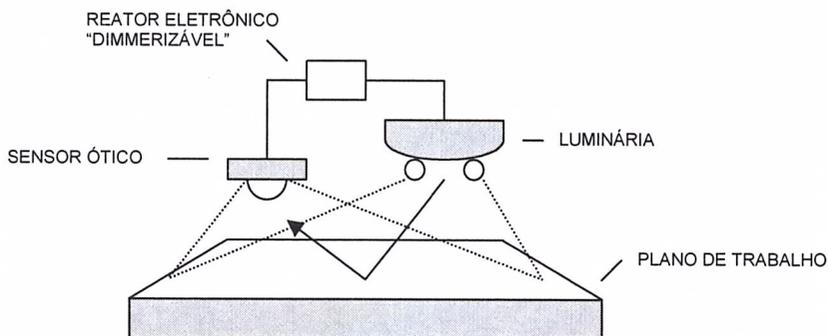


Fig. 7: Sistema *dimmer*-fotocélula (ALVAREZ, 2000)

Os resultados de uma tentativa de se testar a eficiência desse sistema em uma sala de aula do CEFET-PR são apresentados na Fig. 5. Tomou-se para medições de iluminância e de consumo de eletricidade em iluminação artificial a sala Q-207, situada no mesmo bloco e de mesmas orientação e características que a sala Q-105.

Uma lâmpada de 100W foi posicionada acima de um ponto central da sala a uma altura tal que, no plano de trabalho, obtinha-se os 300 Lux recomendados pela NB-57 na ausência de luz natural. Essa lâmpada foi conectada a um aparelho regulador de potência e voltagem (Varivolt), que permite um total controle da potência dissipada pela lâmpada. A esse aparelho acoplou-se então um equipamento de monitoramento de consumo de energia (*Energy Analyser EPM 900/IMS*). O procedimento adotado foi o de observar a iluminância atingida ao longo de um dia (29 de setembro de 2001) no ponto central da sala, segundo dados lidos em um luxímetro do tipo LD-500 da ICEL naquele ponto, calibrando-se a potência da lâmpada para que, a cada 15 minutos, fosse atendida a iluminância prescrita pela NB-57¹⁴. No mesmo momento, eram tomados valores da iluminância externa, registrada por um segundo luxímetro posicionado do lado de fora da janela. O período abrangido pelo experimento foi das 8:00 às 16:00 horas.

A partir dessas informações, foram gerados os resultados da Fig. 8, que mostra a variação da economia de energia (diferença entre a potência máxima da lâmpada e a potência demandada no momento, para se atingir os 300 Lux recomendados, em Watt) em função da iluminância externa (E_{ext} em Lux).

¹⁴ Para evitar que a potência máxima da lâmpada (no caso, 100W) fosse ultrapassada, o posicionamento desta em relação ao ponto considerado foi ajustado no período noturno, na ausência de luz natural, de forma que o valor lido no luxímetro fosse igual a 300 Lux.

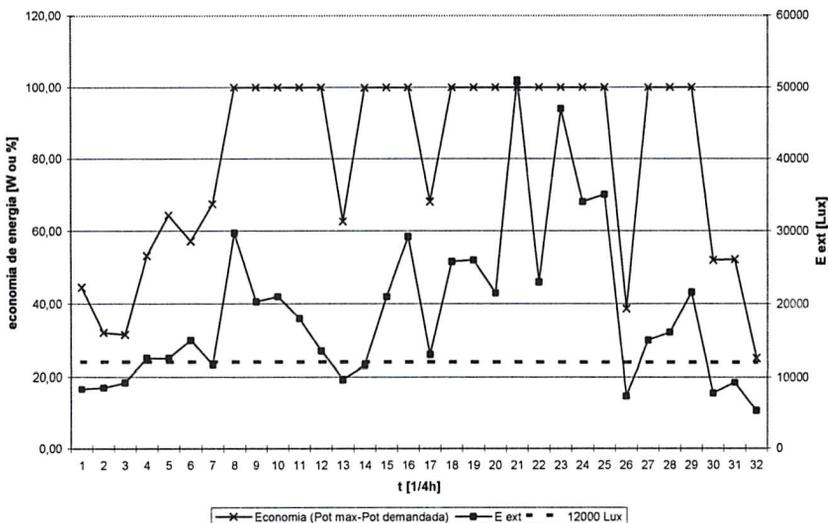


Fig. 8: Sistema dimmer-célula fotoelétrica – Resultados para a sala Q-207

Verifica-se que, a partir de determinado grau de iluminância externa (em torno de 12000 Lux: linha tracejada no gráfico), não há mais a necessidade de se usar luz artificial. As três quedas de economia correspondem justamente aos períodos em que a iluminância externa aproximou-se desse patamar. Assim, conhecendo-se as características da sala e, em especial, do plano de trabalho, em relação à captação da luz natural, pode-se montar um sistema “dimmerizável” através do qual os níveis de iluminamento recomendados são atendidos, proporcionando uma redução sensível no consumo de energia elétrica.

CONCLUSÕES

Verifica-se, a partir dos resultados obtidos nas três diferentes avaliações realizadas, a forte inter-relação entre os fatores condicionantes do que se denomina conforto ambiental. Mais ainda, pode-se perceber a indiscutível influência do meio externo no ambiente construído (o ruído externo, o clima, a luz solar) e a importância de se considerar esses aspectos no projetar.

Deste modo, enquanto que, para proporcionar maior conforto acústico, e considerando as características sonoras da região onde o CEFET-PR está inserido, seria necessário manter janelas fechadas durante o período de uso das salas de aula ou até mesmo um tratamento acústico dessas vedações, termicamente isto poderia acarretar desconforto por calor no verão.

Apesar de terem apresentados mau desempenho térmico no período de verão, as salas antigas da Unidade de Curitiba, por possuírem um sistema de

sombreamento nas janelas de características favoráveis a uma boa distribuição de luz, quanto ao desempenho lumínico, mostraram resultados mais satisfatórios. No entanto, é de se supor que o sistema *light shelf* tenha favorecido essas salas quanto ao desconforto térmico, por proporcionar sombreamento das aberturas.

Observa-se, assim, a necessidade de um projetar consciente e de uma visão integrada por parte do projetista, não tendo de haver o favorecimento de um aspecto específico do conforto ambiental, mas o compromisso de proporcionar ambientes saudáveis e estimuladores à criação e ao ensino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, André L.M. *Eficiência energética em sistemas de iluminação*. São Paulo: Politécnica USP, 2000. (mimeo)
- AKUTSU, Maria; SATO, Neide M.N.; PEDROSO, Nelson G. *Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares. Manual de procedimentos para avaliação*. São Paulo: IPT, Divisão de Edificações, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Iluminância de interiores*. NB-57. Rio de Janeiro: 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Níveis de ruído para conforto acústico*. NBR 10152. Rio de Janeiro: 1987.
- BORMANN, Oto. *desempenho lumínico em salas de aula na Unidade de Curitiba do CEFET/PR*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia – PPGTE) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. (em elaboração)
- BOSA, Monica; FAUAT, Márcia. *Avaliação do consumo de energia elétrica de um sistema de iluminação artificial integrado à luz natural*. 2002. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. (em elaboração)
- CAPRA, Fritjof. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos seres vivos*. São Paulo : Cultrix, 1996.
- KRÜGER, Eduardo. Estimation of relative humidity for thermal comfort assessment. In: 7TH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE BUILDING SIMULATION (2001: Rio de Janeiro). *Proceedings...* Rio: International Building Performance Simulation Association, 2001. v. 2, p. 765-772.
- KRÜGER, Eduardo; ADRIAZZOLA, Marcia Keiko Ono; MICHALOSKI, Ariel Orlei. Desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (2001: São Pedro-SP). *Anais...* Campinas/São Carlos/POA: UNICAMP/UFSCar/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2001 (CD-ROM).

- KRÜGER, Eduardo; DUMKE, Eliane Muller Seraphim. *THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF THE TECHNOLOGICAL VILLAGE OF CURITIBA - BRAZIL*. In: *18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE* (2001: Florianópolis). *Proceedings...* Florianópolis: Organizing Committee of the 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2001. v. 2, p.707-712.
- KRÜGER, Eduardo; LAMBERTS, Roberto. Evaluation of the thermal performance of low-cost houses under tropical climatic conditions. In: *PLEA CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW-ENERGY ARCHITECTURE*, 17. (1999: Brisbane, Australia) *Proceedings...* Brisbane: University of Brisbane, 1999.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997.
- PEDRAZZI, Thayse; ENGEL, Daniel; KRÜGER, Eduardo Leite; ZANNIN, Paulo. Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do CEFET-PR. In: *VI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO* (2001: São Pedro/SP). *Anais...* Campinas/São Carlos/POA: UNICAMP/UFSCar/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2001 (CD-ROM).
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica sobre desempenho térmico de habitações populares. In: *ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 5. (1999: Fortaleza). *Anais...* Fortaleza: ANTAC. 1999.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA *Balanço Energético Nacional*. Brasília: MME, 2000.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA *Balanço Energético Nacional*. Brasília: MME, 1994.
- PROGRAMA DE COMBATE AO DESPÉRDICIO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. *Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1988.
- SILVA, Péricles. *Acústica arquitetônica e condicionamento de Ar*. 3. ed. São Paulo: Termo Acústica, 1997.