

DESEMPENHO TÉRMICO DE SALAS DE AULA DO CEFET-PR

KRÜGER, Eduardo (1); ADRIAZOLA, Marcia K.O. (2); MICHALOSKI, Ariel O. (3)

(1) Eng. Civil, Dr.-Ing., Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR -Av. Sete de Setembro, 3165 CEP 80230-901 Curitiba - PR.

e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Arquiteta, Mestranda do PPGTE, Profª. Curso de Engenharia da Produção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR -Av. Sete de Setembro, 3165 CEP 80230-901 Curitiba - PR.

e-mail: mkeiko@cefetpr.br

(3) Eng. Civil, Mestrando do PPGTE, Prof. Departamento de Desenho Industrial – CEFET-PR - Ponta Grossa - Av. Monteiro Lobato, km 4, CEP 84016-210 Ponta Grossa - PR.

e-mail: ariel@interponta.com.br

RESUMO

Partindo-se do princípio de que a sensação térmica está diretamente relacionada ao rendimento físico e mental do ser humano, pode-se supor que as condições térmicas de uma sala de aula exercerão alguma influência no desempenho de alunos e professores no processo de ensino-aprendizagem. Na presente pesquisa, o aspecto abordado refere-se ao estudo do conforto térmico e sua relação com a concepção arquitetônica, quanto ao tipo de material empregado nas paredes e cobertura e sua influência no grau de temperatura e umidade interna em salas de aula do CEFET-PR, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Realizou-se uma avaliação bioclimática das salas de aula em duas Unidades do CEFET-PR, na qual foram feitas medições de temperatura com data-loggers do tipo HOBO e uma análise dos dados obtidos na carta de Givoni. Por fim, foi feita uma comparação com as propriedades termo-físicas das paredes e coberturas.

ABSTRACT

Considering that thermal sensation is directly related to human physical and mental performance, thermal conditions of classrooms may exert an influence over students and teachers learning and teaching performance. The present work deals with the aspect of thermal comfort in relation to architectural design regarding material use in walls and roofs of classrooms of CEFET-PR. A bioclimatic evaluation has been made comprehending temperature measurements with data-loggers of the kind HOBO and an analysis of data in the Bioclimatic Chart. Finally, a comparison was made with thermo-physical properties of walls and roofs.

1. 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 aspecto abordado na presente pesquisa refere-se ao estudo do conforto térmico e sua relação com a concepção arquitetônica, quanto ao tipo de material empregado nas paredes e cobertura e sua influência no grau de temperatura e umidade interna em salas de aula do CEFET-PR, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

O meio ambiente físico, formado por elementos relacionados tais como: luz, som, clima, espaço, dentre outros, incide diretamente sobre o corpo humano o qual pode absorver ou tentar contrapor seus efeitos (OLGYAY, 1963). Na luta pelo equilíbrio biológico são produzidas diversas reações físicas e psicológicas no organismo. Desta forma, dependendo das condições de desempenho térmico da sala de aula, alunos e professores demonstrarão maior ou menor desempenho no intrincado processo de ensino-aprendizagem.

Através da avaliação do desempenho térmico de edificações, e usando-se de conhecimentos adquiridos em outros projetos, pode-se então realizar reformas para adequar os ambientes analisados, melhorando com isso sua performance, conseqüentemente promovendo 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), para a avaliação das salas de aula do CEFET-PR, foi adotada a seguinte metodologia:

1. Escolha das salas de aula para avaliação térmica, levando-se em conta: orientação, 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 com as propriedades termo-físicas da envoltória.

2. CARACTERÍSTICAS DOS PRÉDIOS

A avaliação das salas de aula foi realizada em duas Unidades do CEFET-PR, em Curitiba e em Ponta Grossa. A semelhança entre as duas Unidades, 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, no inverno e no verão.

2.1. Curitiba: Caracterização das Salas de Aula

A área física da Unidade de Curitiba teve início em 1910, quando foi implantada a Escola de Aprendizes e Artífices do Paraná. O terreno tem área de 25.096,00m² e área total construída de 42.112,54m². O primeiro bloco 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 na unidade de Curitiba foram as seguintes:

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 1: 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	NO	SE	NO	SE	NO	SE

2.2. Ponta Grossa: caracterização das salas de aula

O CEFET-PR de Ponta Grossa, inaugurado em 20 de Dezembro de 1992, é uma descentralização do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Situada na região do segundo Planalto do Estado do Paraná, num terreno de 121.000,00m², doado pela Prefeitura Municipal, a Unidade iniciou suas atividades sobre uma área construída datada de 1966 e de 8.872,69m², havendo, a partir de 1995, uma expansão da mesma para 16.200,00m² de área construída. As salas analisadas na unidade de Ponta Grossa foram as seguintes:

Salas D-204 e E-203: pertencentes ao bloco mais antigo, possuem paredes constituídas de tijolos cerâmicos maciços com espessura total de 30cm, incluindo o revestimento externo de massa raspada com 4cm e revestimento interno com reboco de 2cm. A cobertura é composta por madeiramento apoiado sobre uma laje de espessura de 10cm e é revestida com telha cerâmica vermelha tipo “capa canal”.

Salas G-103 e G-106: localizam-se no bloco novo, possuem paredes constituídas de bloco de concreto sical maciço com microporos com uma espessura total de 15cm, incluindo o revestimento externo de reboco e litocerâmica de espessura de 1,5cm e o revestimento interno com reboco de espessura de 1,5cm. A cobertura é composta por madeiramento apoiado na laje mista composta de blocos "sical", perfazendo uma espessura de laje de 16cm. A telha é de concreto, com espessura de 12 mm.

Tabela 2: Área de piso e janela e orientação das salas da Unidade de Ponta Grossa

	D-204	E-203	G-103	G-106
Área de Piso	64,87	59,98	68,21	68,21
Área de Janela	9,76	9,76	13,20	13,20
Orientação da Fachada	SO	NE	SE	NO

3. MONITORAMENTO

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, simultâneas em Curitiba e em Ponta Grossa, abrangeram os seguintes períodos: de 04 a 09 de agosto de 2000 (inverno) e de 11 a 14 de janeiro de 2001 (verão) (Tab.3 e 4). 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. 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 3: Curitiba - 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

Tabela 4: Ponta Grossa - período de monitoramento

Período			T [°C]		% horas		
Início	Fim	Mínima	Média	Máxima	Frio	Conforto	Calor
04/08/2000, às 21:30	09/08/2000, às 07:30	5,80	12,70	20,90	95,30	4,23	0,47
11/01/2001, às 22:30	14/01/2001, às 11:30	16,40	20,25	28,30	26	38,2	35,8

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados de forma gráfica nas figuras 1, 2, 3 e 4, onde, nas colunas, estão representadas a porcentagem de horas em condição de frio, conforto e calor, resultantes da plotagem de temperatura e umidade relativa na carta psicrométrica (software ANALYSIS) e, nas linhas, as transmitâncias (U) e atrasos térmicos ($FI=\phi$) das paredes (par) e coberturas (cob) das salas, calculados segundo a norma de desempenho térmico.

Para Curitiba, o efeito da orientação solar das fachadas foi considerável tanto no inverno quanto no verão (Fig. 3 e 4), 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.

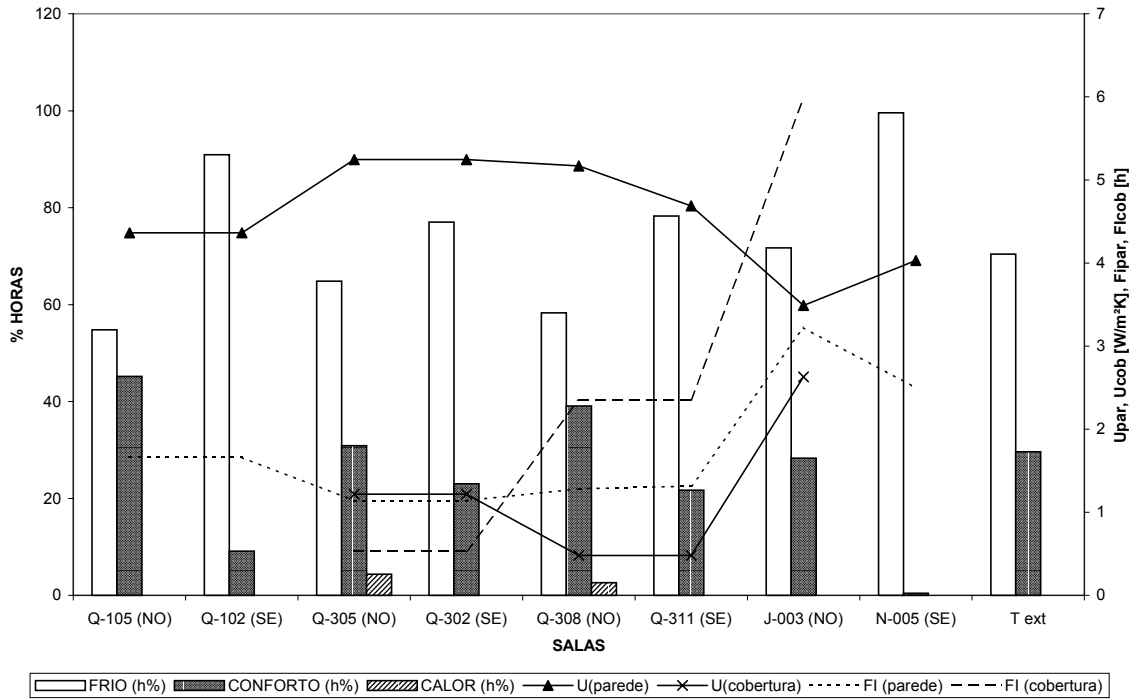


Figura 1: Horas de conforto e desconforto para o período de inverno em Curitiba

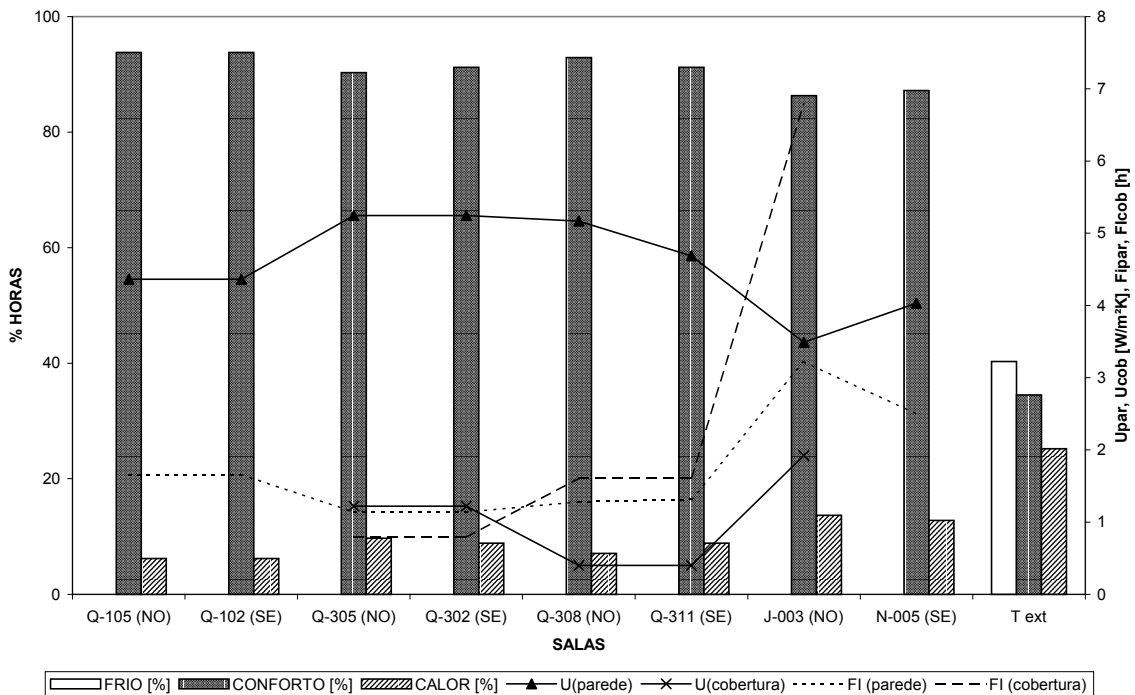


Figura 2: Horas de conforto e desconforto para o período de verão em Curitiba

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 ($\phi=6,27$ h, em comparação com $\phi=3,85$ h e

$\phi=2,7$ 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. 5), por exemplo, entre as salas Q-305 e Q-308, ambas de orientação NO, onde as máximas foram, respectivamente, 33,6°C e 32,3°C (a temperatura máxima externa foi de apenas 31,4°C).

Tabela 5: Curitiba - tabela-resumo das medições nas salas de aula

SALA S	INVERNO						VERÃO					
	T [°C]			% horas			T [°C]			% horas		
	Mín	Média	Máx	Frio	Conforto	Calor	Mín	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

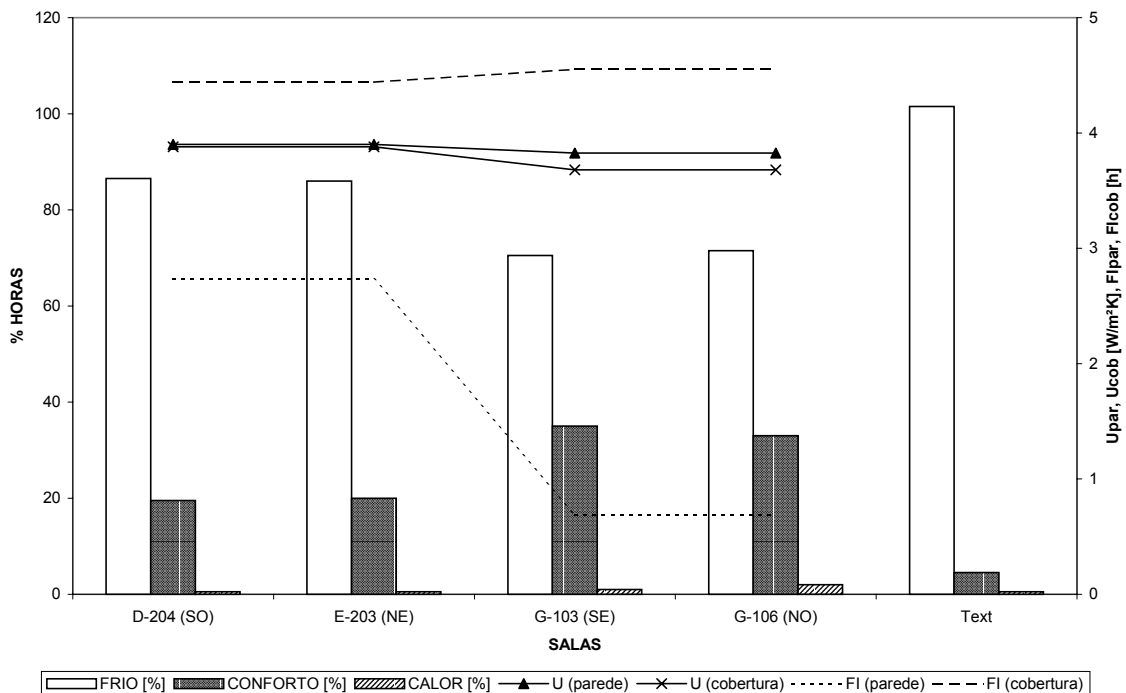


Figura 3: Horas de conforto e desconforto para o período de inverno para Ponta Grossa

Para Ponta Grossa (Fig. 3), observou-se um desempenho equivalente das salas no inverno, que possuem características semelhantes (mesmas áreas e materiais constituintes de paredes e cobertura). A orientação solar parece não ter influenciado nos resultados, mas sim o efeito conjugado da redução das transmitâncias da parede e cobertura. No verão (Fig. 4), o efeito da radiação foi predominante. O bom desempenho da sala G-106, de orientação noroeste, está relacionado à ausência das horas de frio e à diminuição das horas de calor. Esta sala possui obstruções no entorno (os demais blocos da Escola), recebendo menos radiação do que era de se esperar, o que aproximaria suas temperaturas às da sala G-103. A obstrução de algumas salas em relação à radiação solar certamente mascarou os resultados de

inverno. Sendo as estratégias recomendadas para Ponta Grossa o uso de inércia térmica e o aquecimento solar no inverno, e sendo o clima desta localidade semelhante ao de Curitiba, ou seja, com predomínio de desconforto por frio, as características da envoltória mostraram ser de grande importância. Contudo, a maior inércia térmica das salas antigas provou ser de pouco benefício, sendo principalmente a redução das transmitâncias das paredes a estratégia mais acertada.

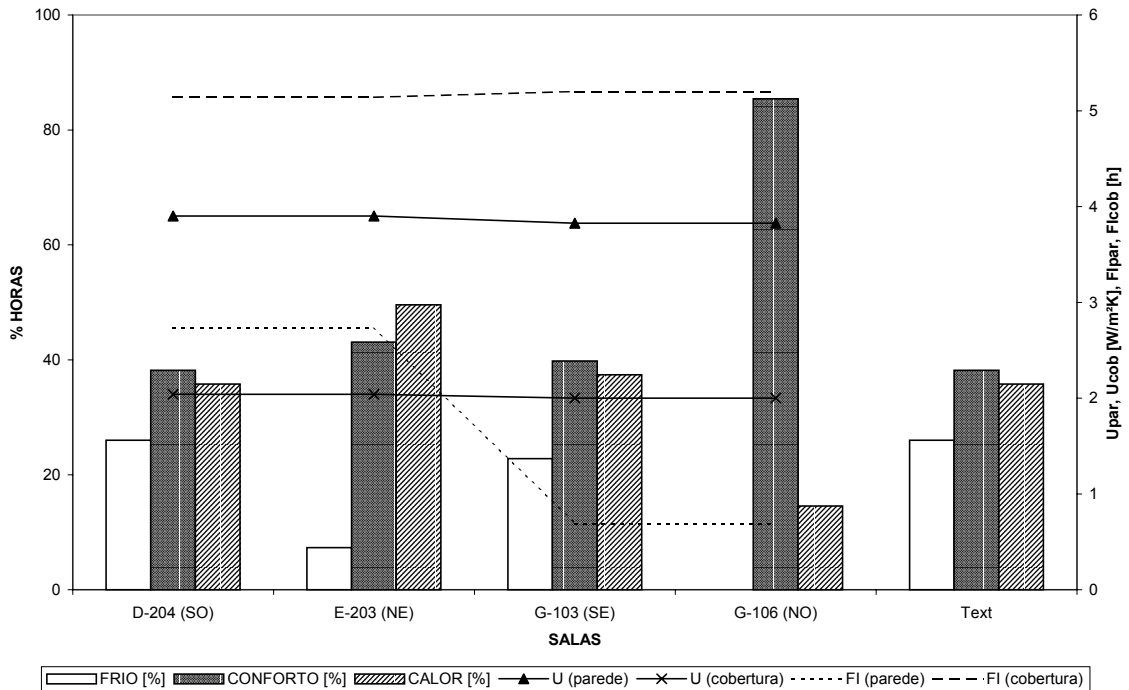


Figura 4: Horas de conforto e desconforto para o período de verão para Ponta Grossa

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

SALA S	INVERNO						VERÃO					
	T [°C]			% horas			T [°C]			% horas		
	Mín	Média	Máx	Frio	Conforto	Calor	Mín	Média	Máx	Frio	Conforto	Calor
D - 204	8,60	14,30	23,20	81,20	18,30	0,47	19,00	20,68	24,40	26,00	38,20	35,8
E - 203	10,60	14,80	21,70	80,80	18,80	0,47	19,80	21,23	26,50	7,32	43,10	49,6
G - 103	12,17	16,33	24,93	66,20	32,90	0,94	18,80	21,22	28,30	22,80	39,80	37,4
G - 106	12,90	17,09	25,13	67,10	31,00	1,88	20,50	21,89	25,90	0,0	85,40	14,6
Text	5,80	12,70	20,90	95,30	4,23	0,47	16,40	20,25	28,30	26,00	38,20	35,8

5. CONCLUSÕES

Principalmente no inverno, o efeito da transmitância das paredes no desempenho térmico das salas foi acentuado para os dois casos analisados, fazendo-se supôr que a orientação solar seja mais relevante, ou, no mínimo, que ambas estratégias sejam consideradas. Sendo Curitiba a capital mais fria do país, com 73% de suas horas anuais de frio (LAMBERTS, 1997), os resultados das medições parecem confirmar parcialmente as recomendações da Norma de Conforto para ambas as regiões. A estratégia sugerida de uso de inércia térmica, no entanto, para as situações medidas, não foi de grande valia. Neste caso, uma simulação computacional seria recomendável, para o teste de materiais de diferentes capacidades térmicas. Neste sentido, a continuidade do presente trabalho envolve uma modelagem das salas monitorados, ajuste do modelo de simulação e simulações com o ano estatístico (TRY), de modo que se obtenha uma melhor definição dos resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

CAPRA, Fritjof. A teia da vida: uma nova compreensão científica dos seres vivos. São Paulo : Cultrix, 1996.

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 Editores, 1997.

OLGYAY, V. Design with Climate. N.J. : Princeton University Press, 1963.

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.

AGRADECIMENTOS

Ao pessoal do Núcleo de Pesquisa em Construções, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (NPC/LABEEE) e do Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON) da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo empréstimo dos aparelhos de medição. Aos funcionários do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, pelos préstimos quando da instalação dos aparelhos de medição nas salas de aula, em especial aos jovens Jonas Abílio Sestrem Junior e Vitor Reinaldo Bordignon.