

TEMPERATURA INTERNA DE CONFORTO E PORCENTAGEM DE INSATISFEITOS PARA ATIVIDADE ESCOLAR: DIFERENÇAS ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA.

Antonio Augusto de Paula Xavier, Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC e CEFET/PR-UNED/Pato Branco
Rodovia Amaro Antonio Vieira 2740, Bl.B aptº 303. CEP 88034-101 Florianópolis/SC
Tel. (048) 234-1475 E-mail: ecv3aau@ecv.ufsc.br

Roberto Lamberts, Dr. em Engenharia Civil - PhD
Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC
Centro Tecnológico - Núcleo de Pesquisa em Construção. CEP 88040-900 Florianópolis/SC
Tel. (048) 331-7090 ou (048) 231-9272 E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

A determinação de uma temperatura de conforto, bem como qual será o resultado da utilização dessa temperatura em um ambiente, sempre foi um objetivo dos estudos de conforto térmico. A Norma ISO 7730, propõe uma análise analítica para a obtenção dos índices, enquanto estudos de campo sugerem uma análise gráfica através de linhas de regressão linear. Esse artigo visa analisar os reais insatisfeitos de um ambiente, através de entendimento diferenciado de seus votos de sensação térmica, bem como determinar a temperatura de conforto por regressão não linear entre temperatura operativa e percentagem de insatisfeitos.

ABSTRACT

The determination of a comfort temperature in an environment as well as the results which can be obtained from it, has always been of interest to thermal comfort studies. The International Standard ISO 7730 proposes an analytical analysis to find the indices, while field studies suggest statistical graphic analysis, by the use of linear regression lines to find them. This article aims at analysing the really dissatisfied persons within an environment, through differentiated understanding of their thermal sensation votes, as well as determining the comfort temperature through non linear regression between operative temperature and percentage of dissatisfied.

INTRODUÇÃO

Os estudos relativos às condições de conforto térmico realizados através de pesquisas de campo ou câmaras climatizadas, tem buscado o estabelecimento de uma temperatura interna de conforto, ou seja, aquela que satisfaça o maior número de pessoas ocupantes de um ambiente.

A Norma Internacional ISO 7730 (1994), anexo D, valendo-se dos resultados encontrados por Fanger (1970) em estudos em câmaras climatizadas realizadas na Dinamarca, recomenda como requerimento para conforto térmico de um ambiente, que a percentagem de pessoas insatisfeitas com esse ambiente seja inferior a 10%. A mesma Norma apresenta a correlação entre a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) e o voto médio estimado (PMV), ou sensação de conforto, por intermédio da seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (1)$$

Para o estabelecimento dessa equação, foram considerados insatisfeitos, nos estudos de Fanger, as pessoas que votaram +3, +2, -2, -3 na escala sétima de sensações, ou seja, os que votaram +1, 0, -1 não foram considerados insatisfeitos. Essa consideração adotada por Fanger nos parece antagônica, pois se supusermos que todos os ocupantes de um ambiente votassem +1, ou -1, em uma pesquisa, não teríamos, pela hipótese de Fanger, a presença de pessoas insatisfeitas. Essa mesma situação nos forneceria, utilizando a equação (1) acima, um percentual de insatisfeitos da ordem de 26,12%, o que extrapola a recomendação do anexo D da ISO 7730, e não classifica o ambiente como termicamente confortável.

A temperatura operativa de conforto, ou temperatura interna de conforto, pode ser determinada de 2 maneiras distintas: *Análiticamente*, onde o voto médio estimado (PMV), segundo a ISO 7730 é determinado pela seguinte equação:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad (2)$$

onde:

M = taxa metabólica de calor gerado pelo organismo, em função da atividade desempenhada

L = carga térmica atuante sobre o corpo, ou seja, a diferença entre o calor gerado pelo organismo e a perda desse calor para o ambiente.

A temperatura para a qual a equação (2) acima seja igual a 0, isto é, PMV=0, é chamada de temperatura de conforto.

Graficamente, plotando-se em um gráfico o PMV no eixo das ordenadas e a temperatura operativa no eixo das abcissas. Através da linha de regressão, ou por intermédio da equação de regressão linear, a temperatura de conforto será aquela onde a linha de regressão cruzar o eixo das abcissas, ou o valor da temperatura para a qual o PMV seja igual a 0 na equação de regressão linear.

Exemplo: Em uma pesquisa qualquer realizada em um ambiente, foram realizadas 8 medições, onde os valores das temperaturas operativas e os respectivos PMVs calculados foram os seguintes:

T_o	26,20°	23,45°	21,12°	28,40°	25,40°	25,70°	22,18°	23,00°
PMV	0,72	-0,36	-0,57	1,31	0,41	0,52	-0,42	-0,40

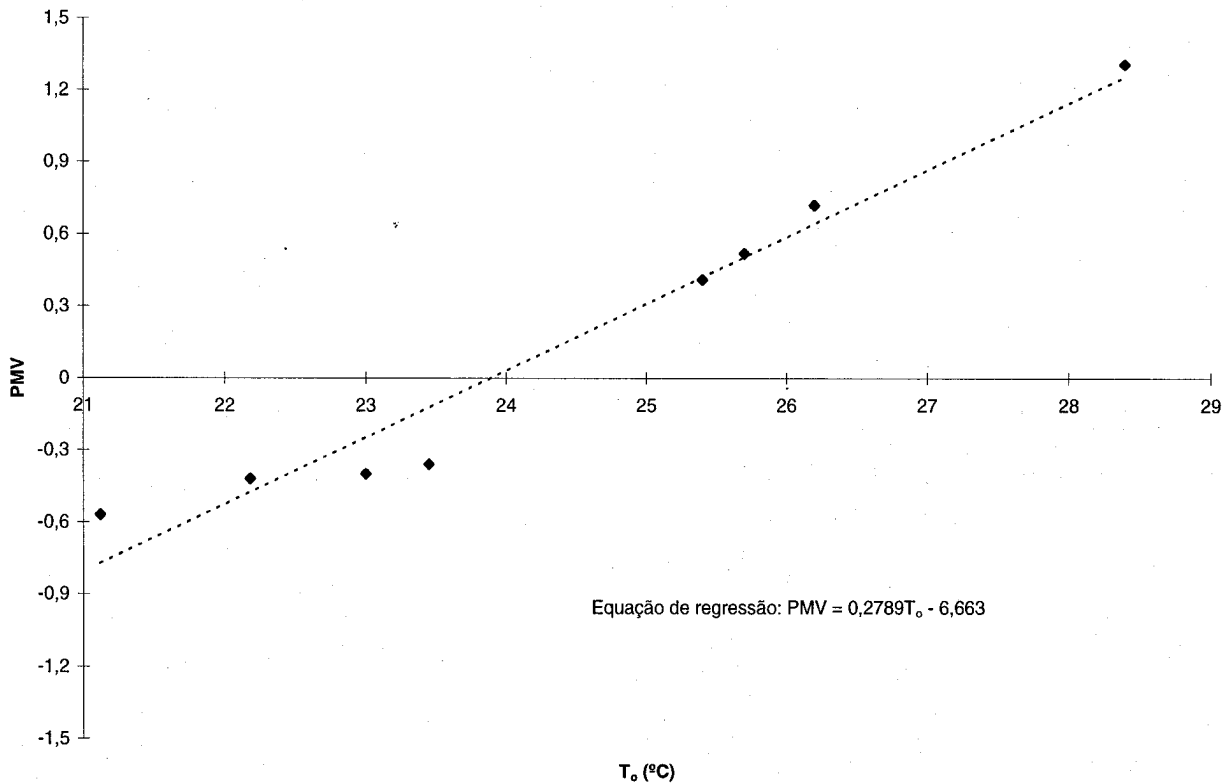


Figura 1. Gráfico de PMV em função da Temperatura Operativa

A temperatura de conforto da situação acima é: 23,89° C.

Esta maneira gráfica de se determinar a temperatura de conforto, também é recomendada por Nicol (1993), quando se realizam pesquisas de campo, apenas substituindo-se os valores do PMV das ordenadas, pelos valores das sensações térmicas coletadas nas entrevistas com os ocupantes dos ambientes.

Este artigo visa apresentar uma maneira de se determinar a percentagem de insatisfeitos em ambientes escolares, salas de aula, em pleno desenvolvimento de atividades normais, a partir de medições feitas no local, concomitantemente com respostas dos usuários dos ambientes fornecidas em questionários apropriados no mesmo horário das medições.

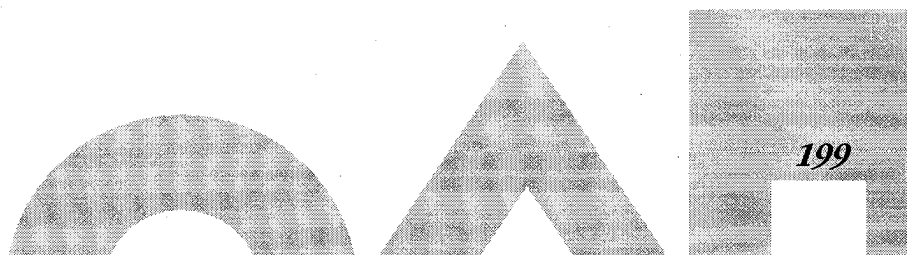
De posse dos dados relativos à percentagem de insatisfeitos, é apresentado o modo de se determinar a temperatura de conforto, através de regressão não linear entre a percentagem de insatisfeitos e a temperatura operativa, de tal maneira que essa temperatura encontrada seja a correspondente ao mínimo de insatisfeitos possível no ambiente.

Serão apresentados também dados comparativos entre o PPD determinado pela equação da ISO 7730 para as medições realizadas, e a percentagem de insatisfeitos encontrada nas pesquisas de campo, bem como as comparações entre as temperaturas de conforto encontradas pelas maneiras já citadas acima.

CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE E DAS VARIÁVEIS

AMBIENTE

O estudo em questão ocorreu na Escola Técnica Federal de Santa Catarina, Unidade de Ensino de São José, durante os meses de abril, maio, junho e julho, nos períodos da manhã e tarde, através de 25 medições realizadas em dias de plena atividade escolar, no interior de salas de aula.



VARIÁVEIS

Foram medidas as variáveis ambientais necessárias para o cálculo do conforto térmico, quais sejam: *Temperatura do ar*, *Temperatura Média Radiante*, *Velocidade do ar* e *Umidade Relativa do ar*, utilizando o equipamento "BABUC", do LSI - Itália, o qual é composto de um registrador de dados onde são conectados os sensores respectivos para a aquisição dos dados das variáveis já citadas. A temperatura operativa, ou seja, aquela temperatura final a que estão sujeitos os estudantes, foi considerada como sendo a média aritmética entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante, uma vez que é baixa a velocidade do ar no interior da sala. Após executadas as medições, o registrador de dados é então conectado a um micro computador, e por intermédio do programa computacional "Microclima", da própria LSI, os dados são lidos e analisados.

A atividade desempenhada pelos estudantes foi considerada constante e igual a 70 W/m^2 ou 1,2 Met, conforme preconiza a ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK (1993) e a tabela constante no próprio programa computacional "Microclima" ($1,0 \text{ Met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). As vestimentas utilizadas, nos foram apontadas pelos próprios estudantes, através de respostas nos questionários, sendo que os respectivos isolamentos térmicos foram obtidos através na tabela constante na ASHRAE (1993).

Os questionários respondidos pelos alunos, também apresentaram seus respectivos votos de sensação térmica, bem como suas preferências térmicas nos momentos da medição.

ESCALA DESCRITIVA UTILIZADA

Como você está se sentindo?

Com muito calor	3
Com calor	2
Com um pouquinho de calor	1
Bem, nem com calor nem com frio	0
Com um pouquinho de frio	-1
Com frio	-2
Com muito frio	-3

ESCALA DE PREFERÊNCIAS UTILIZADA

Como você gostaria de estar se sentindo?

Bem mais quente	-3
Mais quente	-2
Um pouquinho mais quente	-1
Assim mesmo, nem mais quente nem mais frio	0
Um pouquinho mais frio	1
Mais frio	2
Bem mais frio	3

Ao final das 25 medições citadas no item 2.1, obtivemos:

- 25 valores médios de cada uma das variáveis ambientais;
- 25 valores médios do PMV e PPD calculados pela ISO, obtidos de um universo de 573 alunos pesquisados;
- 25 valores médios de vestimentas, obtidos de um total de 573 questionários;
- 25 valores médios de sensações, obtidos de um total de 573 questionários;
- 25 valores médios de preferências, obtidos de um total de 573 questionários.

HIPÓTESES

As hipóteses que regeram esse trabalho, foram as seguintes:

- a) A atividade escolar é bem representada por uma geração metabólica de calor de 70 W/m^2 ;
- b) As amostras trabalhadas em cada medição foram representativas, apresentando distribuição normal;
- c) Os locais de medições (instalação do equipamento), foram representativos da totalidade da sala;
- d) Os votos de sensação térmica anotados pelos alunos na escala descritiva de sete pontos do questionário, tiveram o seguinte entendimento:

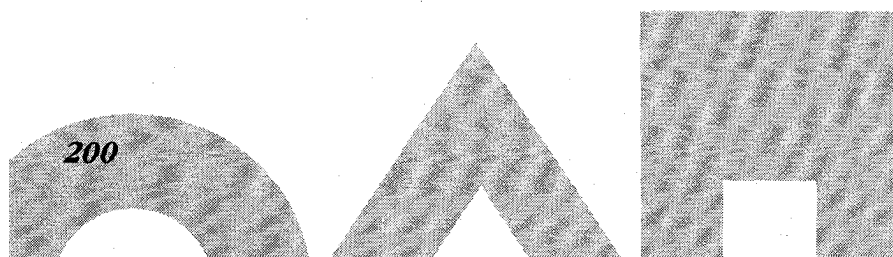


Tabela 1. Interpretação do voto dos alunos na escala descritiva de sensações

VOTO ANOTADO	INTERPRETAÇÃO DO VOTO
0	0 (Confortável)
1	0,1 a 1 (Confortável a levemente quente)
2	1,1 a 2 (Levemente quente a quente)
3	2,1 a 3 (Quente a muito quente)
-1	-0,1 a -1 (Confortável a levemente frio)
-2	-1,1 a -2 (Levemente frio a frio)
-3	-2,1 a -3 (Frio a muito frio)

DESENVOLVIMENTO

Conforme apresentado na tabela 1, os votos anotados nos questionários tiveram, com relação à satisfação, a seguinte classificação, em cada medição: (Conforme o anexo D da ISO 7730).

- * Voto 0 → 0% de insatisfeitos;
- * Voto 1 → 50% de 0,1 a 0,5 ou satisfeitos e 50% de 0,5 a 1 ou insatisfeitos;
- * Voto 2 → 100% de insatisfeitos;
- * Voto 3 → 100% de insatisfeitos;
- * Voto -1 → 50% de -0,1 a -0,5 ou satisfeitos e 50% de -0,5 a -1 ou insatisfeitos;
- * Voto -2 → 100% de insatisfeitos;
- * Voto -3 → 100% de insatisfeitos.

As 25 medições realizadas de abril a julho, apresentaram variações de temperatura operativa de 18,87° C a 27,44° C, não apresentando dessa forma, valores extremos, denotando época de clima ameno. Assim sendo, as 25 medições foram agrupadas em um só bloco, não diferenciando-se as medições de outono das de inverno.

Tendo em vista o exposto anteriormente, os dados foram então assim agrupados:

Tabela 2. Temperatura Operativa (T_o), PMVs, PPDs (%), Sensações (S) (%) e %de Insatisfeitos (PI) (%).

MEDIÇÃO	Nº ALUNOS	T_o	PMV(ISO)	PPD(ISO)	S (real)	PI (real)
1	29	26,53	0,322	8,27	0,448	29,31
2	29	26,90	0,488	10,68	0,517	32,76
3	32	24,54	0,278	8,43	-0,090	20,31
4	32	25,15	0,379	9,38	0,030	14,06
5	28	23,80	0,122	7,81	-0,530	30,36
6	32	24,52	0,275	8,30	-0,030	23,44
7	29	21,59	-0,126	6,77	-0,410	34,48
8	24	22,26	-0,120	7,25	-0,080	16,67
9	24	26,86	0,322	7,84	1,080	54,17
10	16	27,44	0,635	13,87	1,060	53,13
11	15	26,89	0,056	5,91	0,640	36,67
12	23	27,25	0,420	9,39	0,610	34,78
13	15	24,85	-0,047	6,44	0,200	13,33
14	21	22,74	-0,248	8,27	-0,050	16,67
15	23	22,62	-0,080	7,27	0,090	17,39
16	16	22,02	-0,741	19,97	0,125	18,75
17	10	23,81	-0,380	10,41	0,300	35,00
18	21	23,58	-0,908	24,47	-0,333	28,90
19	33	20,83	-0,150	7,62	-0,520	37,90
20	24	20,30	-0,460	10,05	-0,304	22,90
21	27	19,97	-0,280	9,03	-0,270	32,70
22	22	19,47	-0,320	12,17	-0,550	27,30
23	14	18,76	-0,660	16,12	-1,380	64,30
24	10	20,08	-0,850	22,98	-0,500	25,00
25	24	21,65	-0,160	6,94	-0,458	22,90

De posse desses dados, foram analisados graficamente:

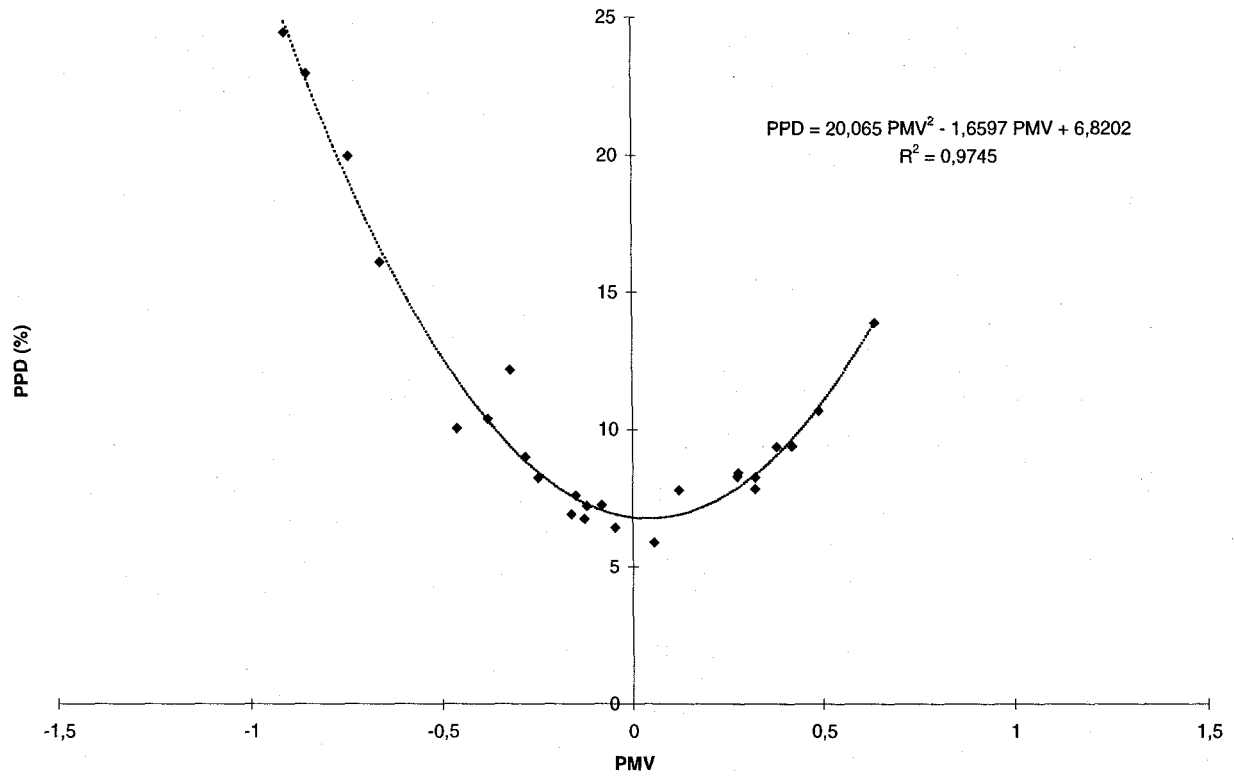


Figura2. Gráfico PMV x PPD

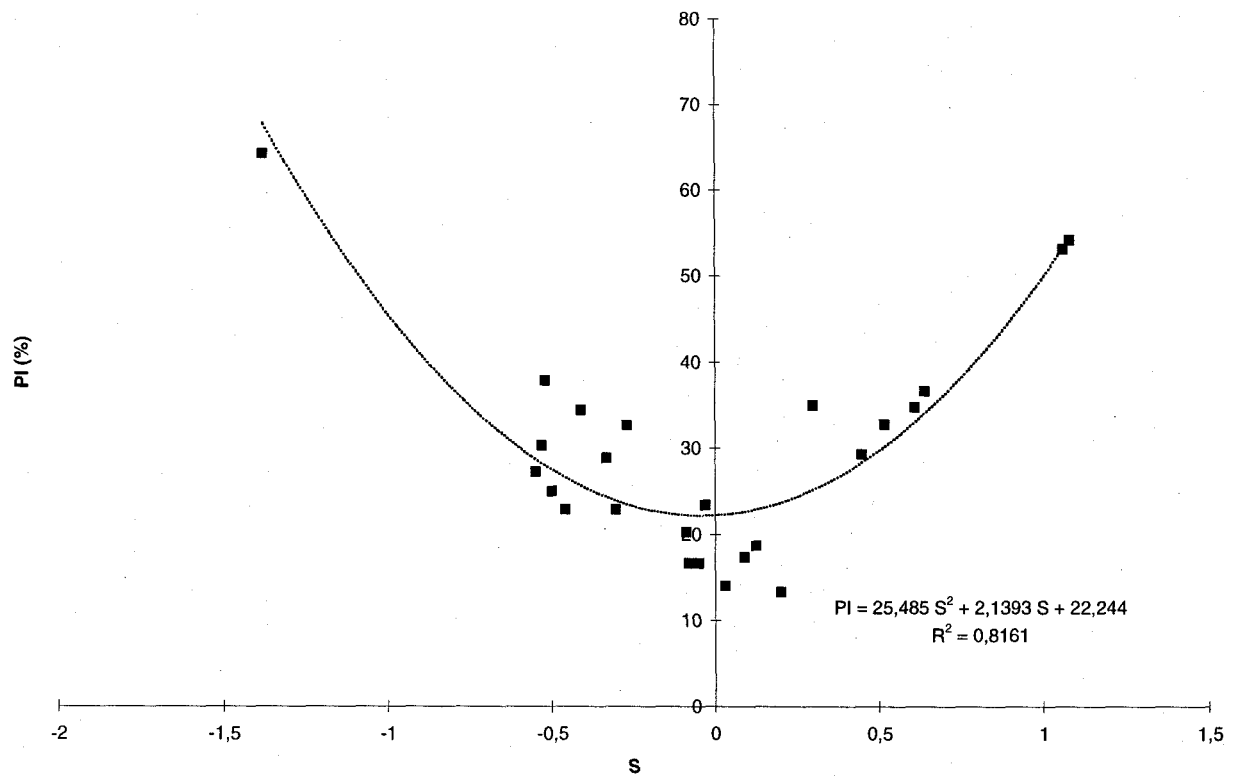
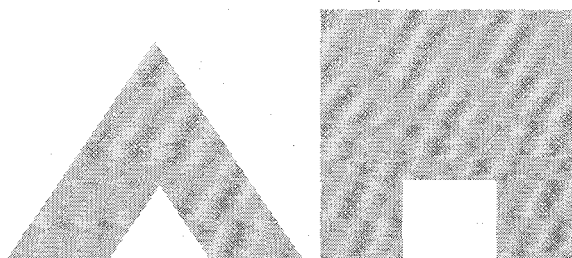


Figura 3. Gráfico SENSACÕES (S) x PI (%)

Do gráfico da figura 3, estabelecemos então uma equação que nos fornece a percentagem de alunos insatisfeitos com o ambiente térmico, qual seja:

$$PI = 25,485 \cdot S^2 + 2,1393 \cdot S + 22,244$$

(3)



Analisando também graficamente os dados da tabela 2, estabelecemos a expressão para a temperatura interna de conforto, em função da percentagem de insatisfeitos, ao plotarmos a temperatura operativa (T_o) contra a percentagem de insatisfeitos (PI) realmente verificada:

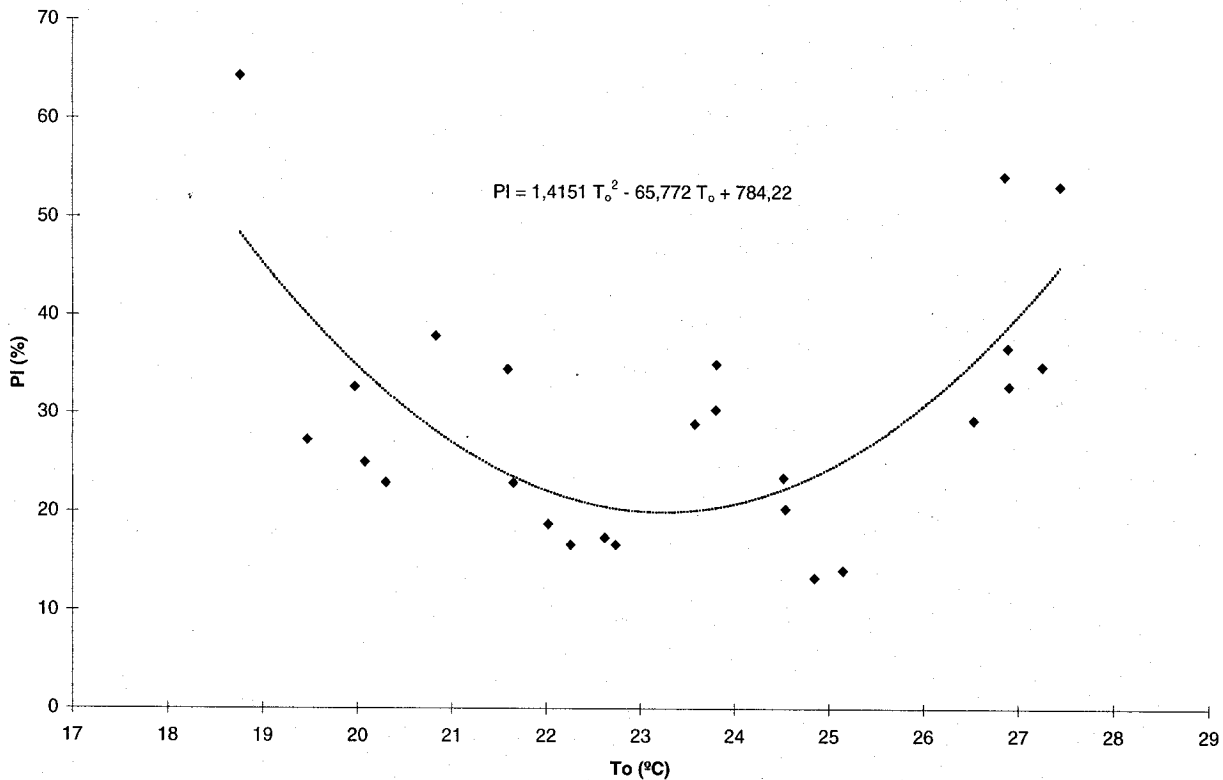


Figura 4. Gráfico de T_o x PI.

A equação da percentagem de insatisfeitos que fornece a temperatura de conforto, estabelecida pelo gráfico, é então escrita:

$$PI = 1,4151 \cdot T_o^2 - 65,772 \cdot T_o + 784,22 \quad (4)$$

A temperatura de conforto será aquela relativa ao ponto tangencial inferior à curva de tendência do gráfico da figura 4, ou seja, aquela para a qual houver a menor percentagem de insatisfeitos. No presente estudo de campo realizado encontramos:

T_o de conforto = 23,24° C, **para uma % mínima de insatisfeitos de 19,96%.**

Utilizando a recomendação da ISO 7730, equação (1), teríamos, para o mesmo caso:

T_o de conforto = 23,61° C

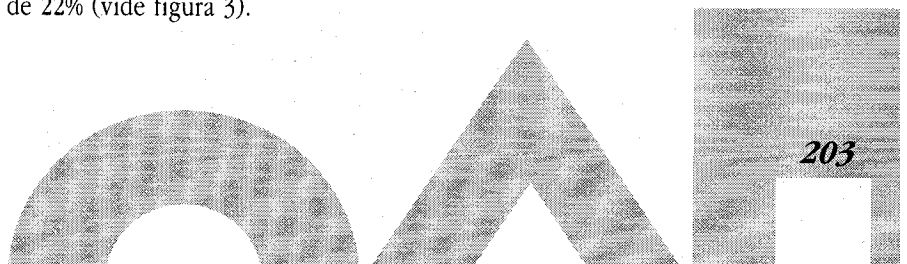
Utilizando a recomendação de Nicol (1993), para estudos de campo, teríamos:

T_o de conforto = 23,45° C.

CONCLUSÕES

Através desse estudo de campo, realizado com 573 alunos, desempenhando atividade exclusivamente escolar, podemos retirar as seguintes conclusões:

Com relação à percentagem de insatisfeitos: Como esse estudo realizou-se com os alunos desempenhando as atividades escolares normais, onde a rotina estudantil não foi alterada com a realização das pesquisas, nota-se claramente as diferenças individuais entre as pessoas, com as mesmas procurando seus próprios meios de atingir o estado de conforto térmico, através de vestimentas e maneira de desempenhar as atividades, diferentemente do ocorrido em câmaras climatizadas onde as vestimentas são padronizadas e a atividade totalmente controlada. Constatamos que na prática, a percentagem de insatisfeitos com um ambiente térmico, é superior ao preconizado pela Norma ISO 7730. Esse fato pode ter sua origem no entendimento da Norma, onde os usuários de um ambiente que descrevem sua sensação térmica como levemente quente ou levemente frio, não sejam considerados insatisfeitos. Tal constatação também pode ser percebida ao verificarmos que pela Norma, um estado de conforto, com PMV=0, corresponde a um PPD=5% (vide figura 2), enquanto na prática esse mesmo estado médio de conforto, com sensação=0, corresponde a uma percentagem de insatisfeitos em torno de 22% (vide figura 3).



Com relação à temperatura de conforto: Constatamos pelo estudo, uma proximidade muito grande entre a temperatura de conforto preconizada pela ISO 7730, através da utilização da equação do PMV; por Nicol, onde é efetuada uma análise de regressão linear entre a temperatura operativa e a sensação relatada pelas pessoas; e pela percentagem de insatisfeitos, apresentada acima e exemplificada pela equação 3, sendo respectivamente de, 23,61°C, 23,45°C e 23,24°C. Concluimos porém que torna-se vantajosa a utilização do método gráfico de determinação por intermédio da percentagem de insatisfeitos, pois dessa maneira se tem uma visão clara de qual será a temperatura de conforto na prática e além disso, se sabe qual percentagem mínima de insatisfeitos que haverá no ambiente, com essa temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK (1993) - Cap XII - Physiological Principles and Thermal Comfort - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc - E.U.A.
- Fanger, P.O. (1970) - Thermal Comfort - ed. Mc Graw-Hill Book Company - Nova Iorque
- ISO 7730 (1994) - Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort - International Organization for Standardization
- LSI - Multilogger (1996) - Analyser BABUC, User Manual - Itália
- Nicol, J.F. (1993) - Thermal Comfort - A Handbook for Field Studies toward an Adaptive Model - University of East London - Londres